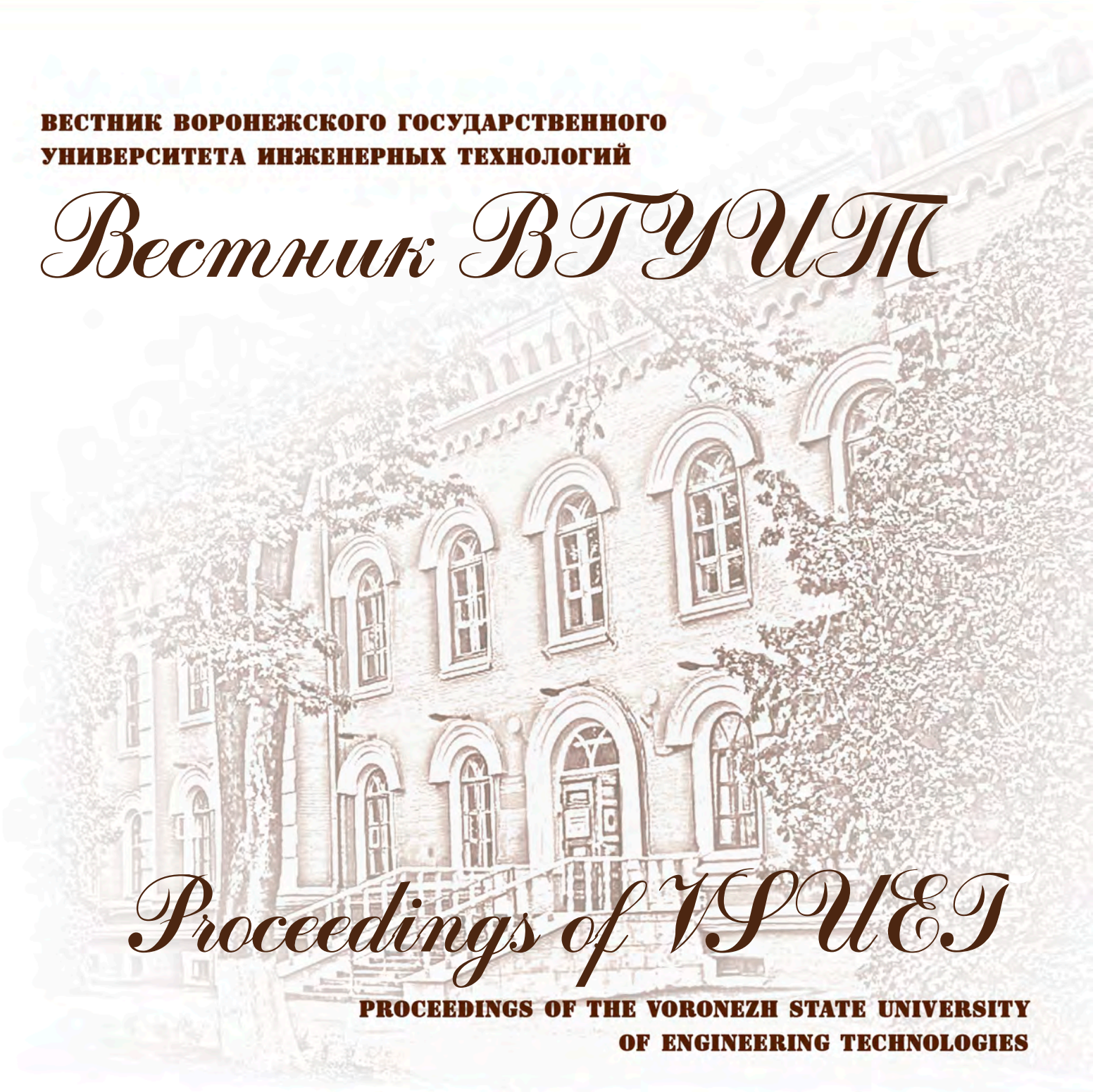
ISSN 2226-910X
E-ISSN 2310-1202

ВЕСТНИК ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Вестник ВГУИТ



Proceedings of VSUET

PROCEEDINGS OF THE VORONEZH STATE UNIVERSITY OF ENGINEERING TECHNOLOGIES

2021 № 1

16+

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

16+

ВЕСТНИК ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ВЕСТНИК ВГУИТ

2021, Том. 83, № 1

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В 1938 ГОДУ
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД

Воронеж
2021

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education

«VORONEZH STATE UNIVERSITY
OF ENGINEERING TECHNOLOGIES»

PROCEEDINGS OF THE VORONEZH STATE UNIVERSITY OF ENGINEERING TECHNOLOGIES

Proceedings of VSUET

2021, Vol. 83, No. 1

SCIENTIFIC AND THEORETICAL JOURNAL

FOUNDED IN 1938
COMES 4 TIMES PER YEAR

Voronezh
2021

Журнал включен в перечень изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства науки и высшего образования Российской Федерации для опубликования диссертационных исследований

Письмо о Перечне рецензируемых научных изданий от 28.12.2018 г. (https://goo-gl.ru/4XHR)

Материалы журнала размещаются в
БД РИНЦ, **БД AGRIS**– выборочно, **ЭБС Лань**, **ЭБС IPRbooks, ЭБ КиберЛенинка**, **БД ВИНИТИ РАН, НИС Соционет, БД Directory of Open Access Journals (DOAJ), БД Open Access scholarly Resources (ROAD), The European Library (TEL), БД AcademicKeys**, **Research Bible**, **БД EBSCO Publishing, Academic Keys**

В журнале представлены статьи по следующим научным специальностям:
05.18.00 – Технология продовольственных товаров;
05.17.00 – Химическая технология;
08.00.00 – Экономические науки

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

Председатель (Главный редактор):
ПОПОВ ВАСИЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ доктор биологических наук, профессор, профессор РАН, врио ректора, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0003-1294-8686

Заместители председателя (Зам. главного редактора):
КОРНЕЕВА ОЛЬГА СЕРГЕЕВНА доктор биологических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, проректор по научной и инновационной деятельности, зав. кафедрой биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-2863-0771

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ РУБРИК

Процессы и аппараты пищевых производств

ОСТРИКОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ (гл. ред.) доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

АЛЕКСЕЕВ ГЕННАДИЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, профессор факультета биотехнологий, научный руководитель образовательной программы «Процессы и аппараты пищевых производств», Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО (г. Санкт-Петербург, Россия) ORCID- 0000-0002-2867-108X

АНТИПОВ СЕРГЕЙ ТИХОНОВИЧ доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, заслуженный изобретатель РФ, зав. кафедрой машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-8932-5922

АХМЕДОВ МАГОМЕД ЭМИНОВИЧ доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой товароведения и экспертизы, Дагестанский государственный технический университет (Махачкала, Россия)

БРЕДИХИН СЕРГЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ доктор технических наук, профессор, кафедра процессы и аппараты перерабатывающих производств, Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

ВАСИЛЕНКО ВИТАЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ доктор технических наук, профессор, проректор по учебной работе, профессор кафедры технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, декан технологического факультета, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-1547-9814

ВИНЧЕНЦО СТОРНЕЛЛИ профессор, профессор кафедры электроники, Университет Л'Акуила (Аквила, Италия)

ДРАННИКОВ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ доктор технических наук, доцент, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств, декан факультета пищевых машин и автоматов, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

МАКСИМЕНКО ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе и инновациям, заместитель заведующего кафедры технологические машины и оборудование, Астраханский государственный технический университет (Астрахань, Россия)

ПАНФИЛОВ ВИКТОР АЛЕКСАНДРОВИЧ доктор технических наук, профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, профессор кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

ПРЕЙС ВЛАДИМИР ВИКТОРОВИЧ доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологические системы пищевых, полиграфических и упаковочных производств Тульский государственный университет, Политехнический институт, (Тула, Россия)

ЧЕРТОВ ЕВГЕНИЙ ДМИТРИЕВИЧ доктор технических наук, профессор, советник при ректорате, зав. кафедрой технической механики, почетный работник высшего профессионального образования РФ, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ШЕВЦОВ АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель РФ, профессор кафедры общепрофессиональных дисциплин, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (Воронеж, Россия)

Пищевая биотехнология

АГАФОНОВ ГЕННАДИЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

АКСЕНОВА ЛАРИСА МИХАЙЛОВНА доктор технических наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник ВНИИ кондитерской промышленности (Москва, Россия)

АМИРОВА ЭЛЛИ доктор наук, основатель и генеральный директор Succurro Inc. (Ла-Меса, США) ORCID: 0000-0002-9377-3875

АНТИПОВА ЛЮДМИЛА ВАСИЛЬЕВНА (гл. ред.) доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-1416-0297

БРЕНЧ АНДРЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ кандидат технических наук, доцент, декан инженерно-технологического факультета учреждения образования, Белорусский государственного аграрный технический университет (Минск, Беларусь) ORCID: 0000-0001-6604-9366

ВАЙБХАВКУМАР ГАВАЛИ доктор наук, постдокторант, фармакология, отделение внутренней медицины, Медицинский колледж (Цинциннати, США) ORCID: 0000-0002-7917-4913

ВИКТОРОВА ЕЛЕНА ПАВЛОВНА доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной и инновационной деятельности, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции (Краснодар, Россия)

ГОЛУБЕВА ЛЮБОВЬ ВЛАДИМИРОВНА доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, профессор кафедры технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ДОНЧЕНКО ЛЮДМИЛА ВЛАДИМИРОВНА доктор технических наук, профессор, профессор ВАК, профессор кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой продукции, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина (Краснодар, Россия)

ИЗТАЕВ АУЕЛБЕК доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии хлебопродуктов и перерабатывающих производств, директор НИИ пищевых технологий, Алматинский Технологический Университет (Алматы, Казахстан)

ЙОРДАНОВ ДИНКО ГЕОРГИЕВ доктор наук, доцент кафедры мясные и рыбные технологии, Университет пищевых технологий (Пловдив, Болгария) ORCID: 0000-0002-9300-6588

КАЧАНОВА МИРОСЛАВА доктор наук, профессор кафедры плодоводства, виноградарства и экологии, Словацкий сельскохозяйственный университет (Нитра, Словакия), отдел биоэнергетики и пищевых технологий, Жешувский университет (Жешув, Польша) ORCID: 0000-0002-4460-0222

КУЛЬНЕВА НАДЕЖДА ГРИГОРЬЕВНА доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ЛИСИЦЫН АНДРЕЙ БОРИСОВИЧ доктор технических наук, профессор, академик РАН, лауреат Государственной премии РФ, директор ФГБНУ "ВНИИМП им. В.М. Горбатова" (Москва, Россия)

МАГОМЕДОВ ГАЗИБЕГ ОМАРОВИЧ доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, зав. кафедрой технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

МАСЛОВ АЛЕКСАНДР доктор медицинских наук, доцент кафедры генетики, Медицинский колледж Альберта Эйнштейна (Нью-Йорк, США) ORCID 0000- 0001-5402-8891

ОСПАНОВ АБДЫМАНАП АБУБАКИРОВИЧ академик КазНАЕН, доктор технических наук, профессор, руководитель учебного научно-производственного Центра «Технология перерабатывающих производств», Казахский национальный аграрный университет (Алматы, Казахстан) ORCID: 0000-0002-3813-603X

ПАНДА ВАНДАНА доктор наук, доцент кафедры фармакологии, Ведущий фармацевтический колледж им. К. М. Кунднани (Мумбай, Индия) ORCID: 0000-0002-7016-7813

ПЕТРОВ АНДРЕЙ НИКОЛАЕВИЧ доктор технических наук, профессор, академик РАН, директор ФГБНУ ВНИИ Технологии консервирования (Видное, Московская обл., Россия)

РОДИОНОВА НАТАЛЬЯ СЕРГЕЕВНА доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой сервиса и ресторанного бизнеса, декан факультета экономики и управления, Воронежский государ-ственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-6940-7998

СУНДАРРАДЖАН ПРИЯ магистр наук, доктор наук, доцент кафедры естественных наук и биохимии, колледж Святого Ксавьера, Университет Мумбаи (Мумбаи, Индия)

ХАТКО ЗУРЕТ НУРБИЕВНА доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Майкопский государственный технологический университе, (Майкоп, Россия)

ЭСРА КАПАНОГЛУ доктор наук, доцент кафедры пищевой инженерии, Стамбульский технический университет (Стамбул, Турция) ORCID: 0000-0003-0335-9433

Химическая технология

КАРМАНОВА ОЛЬГА ВИКТОРОВНА (гл. ред.) доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой химии и химической технологии органических соединений и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

БИТЮКОВ ВИТАЛИЙ КСЕНОФОНТОВИЧ доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, советник при ректорате, профессор кафедры информационных и управляющих систем, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ВАНИЕВ МАРАТ АБДУРАХМАНОВИЧ доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой химия и технология переработки эластомеров, Волгоградский государственный технический университет, кафедра химия и технология переработки эластомеров (Волгоград, Россия)

ДОРМЕКШИН ОЛЕГ БОРИСОВИЧ доктор технических наук, профессор, лауреат Премии Национальной академии наук Беларуси, отличник народного образования Республики Беларусь, проректор по научной работе, зав. кафедрой технологии неорганических веществ и общей химической технологии, Учреждение образования "Белорусский государ-ственный технологический университет" (Минск, Беларусь)

КУЧМЕНКО ТАТЬЯНА АНАТОЛЬЕВНА доктор химических наук, профессор, профессор РАН, зав. кафедрой физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ЛЮСОВА ЛЮДМИЛА РОМУАЛЬДОВНА доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой химии и технологии переработки эластомеров имени Ф.Ф. Кошелева, Московский технологический университет МИРЭА, Московский государственный университет тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

МОКШИНА НАДЕЖДА ЯКОВЛЕВНА доктор химических наук, доцент, профессор кафедры физики и химии, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0001-8409-024X

НИКУЛИН СЕРГЕЙ САВВОВИЧ доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии органического синтеза и высокомолекулярных соединений, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ПРОКОПЧУК НИКОЛАЙ РОМАНОВИЧ доктор химических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, зав. кафедрой технологии нефтехимического синтеза и переработки полимеров, Учреждение образования "Белорусский государственный технологический университет" (Минск, Беларусь)

ПУГАЧЕВА ИННА НИКОЛАЕВНА доктор технических наук, доцент, профессор кафедры инженерной экологии, декан факультета экологии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

СУХАНОВ ПАВЕЛ ТИХОНОВИЧ доктор химических наук, профессор, советник при ректорате по научно-методической деятельности, профессор кафедры физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-2588-9286

ФРАНЧЕСКО ВЕЛЬО профессор, профессор кафедры теории развития химических процессов, Университет Л'Акуила (Аквила, Италия)

Экономика и управление

ХОРЕВ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ (гл. ред.) доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-8438-0607

АВЕЗОВ АЗИЗУЛЛО ХАБИБОВИЧ доктор экономических наук, профессор кафедры отраслевых рынков, Худжандский Политехнический институт Таджикского Технического университета им. Академика М.С. Осими (Худжанд, Таджикистан) ORCID: 0000-0002-5867-648X

БАЛЫХИН МИХАИЛ ГРИГОРЬЕВИЧ доктор экономических наук, доцент, и.о. ректора, Московский государственный университет пищевых производств (Москва, Россия)

БЕЛЯЕВА ГАЛИНА ВИКТОРОВНА доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой бухгалтерского учета и бюджетирования, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

БОГОМОЛОВА ИРИНА ПЕТРОВНА доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ВОРОНИН ВАЛЕРИЙ ПАВЛОВИЧ доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры теории экономики, товароведения и торговли, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ЗАКШЕВСКИЙ ВАСИЛИЙ ГЕОРГИЕВИЧ доктор экономических наук, профессор, академик РАН, почетный работник агропромышленного комплекса России, директор ФГБУ НИИЭОАПК ЦЧР России (Воронеж, Россия)

МЕРЗЛИКИНА ГАЛИНА СТЕПАНОВНА доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой экономики и управления, Волгоградский государственный технический университет (Волгоград, Россия)

МИТЯКОВ СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ доктор физико-математичеких наук, профессор, директор института экономики и управления, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (Нижний Новгород, Россия)

МОРКОВИНА СВЕТЛАНА СЕРГЕЕВНА доктор экономических наук, профессор, проректор по науке и инновациям профессор кафедры Менеджмента и экономики предпринимательства, Кафедра экономики и финансов Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова (Воронеж, Россия)

САЛИКОВ ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

СИБИРСКАЯ ЕЛЕНА ВИКТОРОВНА доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры статистики, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова (Москва, Россия) ORCID: 0000-0001-5496-1446

СОВИК ЛЮДМИЛА ЕГОРОВНА доктор экономических наук, профессор, кафедра экономики и бизнеса, Полесский государственный университет (Пинск, Беларусь) ORCID: 0000-0002-427-9789

Официальный сайт «Вестник ВГУИТ» www.vestnik-vsuet.ru
Подписной индекс издания в агентстве "Роспечать" 70927

Ответственный секретарь: ДЕРКАНОСОВА А.А. (эл. почта: post@vestnik-vsuet.ru)

Учредитель: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-56830 от 29 января 2014 г.

Адрес университета, редакции, издательства и отдела полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»
394036, Воронеж, пр. Революции д.19 ауд.11
тел./факс: (473) 255-37-16
E-mail: post@vestnik-vsuet.ru

Сдано в набор 09.03.2021. Подписано в печать 24.03.2021
Выход в свет: 31.03.2021
Формат 70×100 1/8.
Усл. печ. л. 57 Тираж 1500 экз. Заказ.
Цена – свободная.

© ФГБОУ ВО «Воронеж. гос. ун-т инж. технол.», 2021

The magazine is included in the list of publications recommended by the Higher Attestation Commission

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for the publication of dissertation research

Letter of the List of Peer-reviewed Scientific Publications from 28/12/2018. (https://goo-gl.ru/4XHR)

Journal materials are placed in

RSCI DB, AGRIS DB - selectively, EB Doe, EBR IPRbooks, EB CyberLenink, DB VINITI RAS, NIS Socionet, Directory of Open Access Journals (DOAJ) database, Open Access scholarly Resources (ROAD) database, The European Library (TEL), AcademicKeys database, Research Bible, EBSCO Publishing database, Academic Keys

The journal presents articles on the following scientific specialties:

05.18.00 – Food Technology;
05.17.00 – Chemical Technology;
08.00.00 – Economics

EDITORIAL COUNCIL

Chairman (Editor-in-chief):

POPOV, VASILIY NIKOLAEVICH Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Rector, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0003-1294-8686

Vice-chairman (Deputy Chief Editor):

KORNEEVA, OLGA SERGEEVNA Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Worker of Higher School of Russia, Vice Rector for scientific and innovative activity, Head of the Department of Biochemistry and Biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0002-2863-0771

EDITORIAL TEAM

Processes and devices for food production

OSTRIKOV, ALEKSANDR NIKOLAEVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of Russia, Head of Department Technology of fats, processes and equipment of chemical and food production, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

ALEKSEEV, GENNADY VALENTINOVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Professor of the Faculty of Biotechnology, Scientific Supervisor of the educational program "Processes and Apparatus for Food Production", St. Petersburg National Research University ITMO (St. Petersburg, Russia) ORCID- 0000-0002-2867-108X

ANTIPOV, SERGEY TIKHONOVICH Doctor of Technical Sciences, professor, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, honored inventor of the Russian Federation, Head of the Department of machines and equipment for the food industry, Voronezh state university of engineering technologies (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0002-8932-5922

AHMEDOV, MAGOMED EMINOVICH doctor of technical sciences, Professor, head. Department of Commodity Science and Expertise, Dagestan State Technical University (Makhachkala, Russia)

BREDIKHIN, SERGEY ALEKSEEVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Processes and Apparatuses of Processing Industries, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after them. K.A. Timiryazev (Moscow, Russia)

VASILENKO, VITALII NIKOLAEVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Academic Affairs. Professor of the Department of Fats technology, processes and apparatuses of chemical and food industries, the Dean of the Technology Faculty, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0002-1547-9814

VINCENZO STORNELLI Professor, Professor of the Department of Electronics, University of L'Aquila (L'Aquila, Italy)

DRANNIKOV, ALEKSEJ VIKTOROVICH Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Machines and Apparatuses of Food Production, Dean of the Faculty of Food Machines and Automata, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

MAKSIMENKO, YURI ALEKSANDROVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research and Innovation, Deputy Head of the Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University (Astrakhan, Russia)

PANFILOV, VIKTOR ALEKSANDROVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of RAS, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Honored Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Professor of the Department Processes and Apparatuses of Processing Industries, Russian State Agrarian University -Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev (Moscow, Russia)

PRICE, VLADIMIR VIKTOROVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technological Systems of Food, Printing and Packaging Production Tula State University, Polytechnic Institute, (Tula, Russia)

CHERTOV, EVGENY DMITRIEVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Advisor to the administration, Head of the Department of Technical Mechanics, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Voronezh state university of engineering technologies (Voronezh, Russia)

SHEVTCOV, ALEKSANDR ANATOLEVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Inventor of the Russian Federation, Professor of General Professional Disciplines, Air Force Academy named after Prof. N. E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin (Voronezh, Russia)

Food biotechnology

ANTIPOVA, LIUDMILA VASILEVNA Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor of the Department of technology of animal origin products, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

AGAFONOV, GENNADII VIACHESLAVOVICH Doctor of Technical Sciences, prof., Head of the Department of Technology of fermentation and sugar industries, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

AKSENOVA, LARISA MIKHAILOVNA Doctor of Technical Sciences, professor, Academician-secretary of the Russian Academy of Agricultural Sciences, Chief research officer at the Research Institute of Confectionery Industry (Moscow, Russia)

AMIROVA ELLIE DAOM, PhD, Diplomate of OM, LAc), Founder and CEO of Succurro Inc. (La Mesa, USA) ORCID: 0000-0002-9377-3875

BRENCH, ANDREY ALEXANDROVICH Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Engineering and Technology of the Educational Institution, Belarusian State Agrarian Technical University (Minsk, Belarus) ORCID: 0000-0001-6604-9366

VAIBHAVKUMAR, SHANTARAM GAWALI, M.Pharm., Ph.D., Postdoctoral Fellow, Pharmacology, Department of Internal Medicine, College of Medicine, India affiliated to University of Cincinnati. (Cincinnati, USA) ORCID: 0000-0002-7917-4913

VICTOROVA, ELENA PAVLOVNA Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Scientific and Innovation Activities North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture and Wine, Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products (Krasnodar, Russia)

GOLUBEVA, LIUBOV VLADIMIROVNA doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of the Higher School of Russia, Professor of the Department of technology of animal origin products, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

DONCHENKO, LYUDMILA VLADIMIROVNA Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of VAK, Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Plant Production, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina (Krasnodar, Russia)

IZTAEV AUELBEK Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technology of bakeries and processing industries, director of the Research Institute of Food Technologies, Almaty Technological University (Almaty, Kazakhstan)

YORDANOV DINKO GEORGIEV PhD., Associate Professor, meat and fish technology, University of Food Technologies (Plovdiv, Bulgaria) ORCID: 0000-0002-9300-6588

KACANIOVA MIROSLAVA PhD., Department of Fruit sciences, Viticulture and Enology, Faculty of Horticulture and Landscape Engineering, Slovak University of Agriculture (Nitra, Slovakia), full professor, Department of Bioenergy and Food Technology, Faculty of Biology and Agriculture, University of Rzeszow (Rzeszow, Poland) ORCID: 0000-0002-4460-0222

KULNEVA, NADEZHDA GRIGOREVNA Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technology of fermentation and sugar industries, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

LISITSYN, ANDREI BORISOVICH Doctor Of Technical Sciences, Professor, Academician Of The Russian Academy Of Sciences, Laureate Of The State Prize Of The Russian Federation, Director Of The All-Russian Research Institute Of Meat Industry Named After V. M. Gorbatov. (Moscow, Russia)

MAGOMEDOV, GAZIBEG OMAROVICH doctor of Technical Sciences, prof., Honored Worker of Higher Professional Education of the Russia, Head of the Department of Technology of bakery, confectionery, pasta and grain-processing industries, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

MASLOV ALEXANDER MD/PhD, Research Assistant Professor, Department of Genetics, Albert Einstein College of Medicine (New York, USA) ORCID 0000- 0001-5402-8891

OSPANOV, ABDYMANAP ABUBAKIROVICH Academician KazNAEN, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Educational Research and Production Center "Technology of Processing Industries", Kazakh National Agrarian University (Almaty, Kazakhstan) ORCID: 0000-0002-3813-603X

PANDA, SANJEEV VANDANA Ph.D., Associate Professor, Pharmacology, Prin. K. M. Kundnani College of Pharmacy (Mumbai, India) ORCID: 0000-0002-7016-7813

PETROV, ANREJ NIKOLAEVICH Doctor of Technical Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the All-Russian Scientific Research Institute of Preserving Technology (Vidnoe, Moscow Region, Russia)

RODIONOVA, NATALIA SERGEEVNA Doctor of Technical Science, Prof., Head of the Department of service and restaurant business, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

SUNDARRAJAN PRIYA M.Sc, Ph.D., Associate Professor, Department of Life Science and Biochemistry, St. Xavier's College, India affiliated to University of Mumbai. (Mumbai, India)

KHATKO, ZURET NURBIEVNA Doctor of Technical Sciences, associate professor, Head of the department of manufacturing technology and processing of agricultural products, Maikop State Technological University (Maikop, Russia)

ESRA CAPANOGLU Ph.D., Associate Professor, Istanbul Technical University, Food Engineering Department (Istanbul, Turkey) ORCID: 0000-0003-0335-9433

Chemical Technology

KARMANOVA, OLGA VIKTOROVNA doctor of Technical Sciences, prof., Head of the Department of Chemistry and Chemical Technology of organic compounds and Polymers processing, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

BITIUKOV, VITALII KSENOFONTOVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of Russia, Advisor to the administration, Professor of the Department of Information and Control Systems, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

VANIEV, MARAT ABDURAKHMANOVICH Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head. Department of Chemistry and Technology of Elastomer Processing, Volgograd State Technical University, Department of Chemistry and Technology of Elastomer Processing (Volgograd, Russia)

DORMEKSHIN, OLEG BORISOVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Laureate of the National Academy of Sciences of Belarus, Excellence in Public Education of the Republic of Belarus, Vice Rector for Research, head of the department of technology of inorganic substances and general chemical technology, Educational Establishment "Belarusian State Technological University" (Minsk, Belarus)

KUCHMENKO, TATIANA ANATOLEVNA doctor of Chemical Sciences, Prof., Head of the Department of Physical and Analytical Chemistry, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

LYUSOVA, LYUDMILA ROMUALDOVNA Doctor of Technical Sciences, Professor, Head. Department of Chemistry and Technology of Elastomers Processing named after F.F. Kosheleva, Moscow Technological University MIREA, Moscow State University of Fine Chemical Technologies. M.V. Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

MOKSHINA, NADEZHDA IAKOVLEVNA doctor of Chemical Sciences, associate professor, professor of the Department of Physics and Chemistry, Air Force Academy named after Prof. N. E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0001-8409-024X

NIKULIN, SERGEI SAVVOVICH doctor of Technical Sciences, prof., Professor of the Department of Technology of Organic Synthesis and macromolecular compounds, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

PROKOPCHUK, NIKOLAI ROMANOVICH Doctor of Chemical Sciences, Professor corresponding member of National Academy of Sciences of Belarus, Head of the department of Technology of petrochemical synthesis and polymers processing, Educational Establishment "Belarusian State Technological University" (Minsk, Belarus)

PUGACHEVA, INNA NIKOLAEVNA doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Environmental Engineering, Dean of the Faculty of Ecology and Chemical Technology, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

SUKHANOV, PAVEL TIKHONOVICH doctor of Chemical Sciences, Professor, Vice Rector for Research and Innovation. Professor of the Department of Physical and Analytical Chemistry, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

FRANCESCO VEGLIO Professor, Professor of the Department of Theory of Chemical Processes development, University of L'Aquila, (L'Aquila, Italy)

Economics and Management

KHOREV, ALEKSANDR IVANOVICH Doctor of Economic Science, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of the Department of economic security and financial monitoring, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

AVESOV, AZIZULL HABIBOVICH Doctor of Economics, Professor, Department of Industrial Markets, Khujand Polytechnic Institute of Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi (Khujand, Tajikistan) ORCID: 0000-0002-5867-648X

BALYKHIN, MIKHAIL GRIGORYEVICH doctor of economic sciences, associate professor, acting. Rector, Moscow State University of Food Production (Moscow, Russia)

BELIAEVA, GALINA VIKTOROVNA Doctor of Economic Science, Professor, Head of the Department of Accounting and budgeting, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

BOGOMOLOVA, IRINA PETROVNA Doctor of Economic Science, Professor, Head of the Department of management, organization of manufacture and branch economy, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

VORONIN, VALERII PAVLOVICH Doctor of Economic Science, Professor, Professor of the Department of Economics Theory, commodity research and commerce, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

ZAKSHEVSKY, VASILY GEORGIEVICH Doctor of Economics, Professor, Academician of the RAS, Honorary Worker of the Russian Agroindustrial Complex, Director of the "Research Institute of Economics and Organization of the Agro-Industrial Complex of the Central Black Earth Region of the Russian Federation" (Voronezh, Russia)

MERZLIKINA, GALINA STEPANOVNA Doctor of economic sciences, professor, head. Department of Economics and Management, Volgograd State Technical University (Volgograd, Russia)

MITYAKOV, SERGEY NIKOLAEVICH Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Director of the Institute of Economics and Management, Nizhny Novgorod State Technical University them. R.E. Alekseeva (Nizhny Novgorod, Russia)

MORKOVINA, SVETLANA SERGEYEVNA Doctor of Economics, Professor, Vice-Rector for Science and Innovations, Professor of the Department of Management and Economics of Entrepreneurship, Department of Economics and Finance Voronezh State Forestry University. G.F. Morozova (Voronezh, Russia)

SALIKOV, IURII ALEKSANDROVICH Doctor of Economic Science, Professor, Professor of the Department of economic security and financial monitoring, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

SIBIRSKAYA, ELENA VIKTOROVNA Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Statistics, Russian Economic University. G.V. Plekhanov (Moscow, Russia)

SOVIK, LYUDMILA EGOROVNA Doctor of Economic Science, Professor, Department of Economics and Business, Polessky State University (Pinsk, Belarus) ORCID: 0000-0002-427-9789

Official site: www.vestnik-vsuet.ru
Subscription index of the publication in the Rospechat agency 70927

Executive Secretary: DERKANOSOVA A.A. (email post office: post@vestnik-vsuet.ru)

Founder: Voronezh State University of Engineering Technologies

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications: Certificate of Registration ПИ № ФС77-56830 January 29, 2014

Address of the university, editorial office, publishing house and printing department of FSBEI HE "VGUIT"
394036, Voronezh, pr. Revolution 19, room 11
tel / fax: (473) 255-37-16
E-mail: post@vestnik-vsuet.ru

Put in set 09.03.2021. Signed to print 24.03.2021
The publication:31.03.2021
Format 70×100 1/8.
Conditional Print l. 57 Circulation 1500 copies.
Price - Free.

© FSBEI HE
"Voronezh State University
of Engineering
Technologies ", 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Тимакова Р.Т. Адаптивное моделирование экспериментальных условий при обработке пищевых продуктов (рыбы охлажденной) потоком ускоренных электронов **17**

Афанасьев В.А., Фролова Л.Н., Сизиков К.А., Остриков А.Н., Зобова С.Н. Математическая модель процесса экструзии зерновых культур при неизотермическом течении их расплава до температуры начала реакции Майяра **23**

Шишацкий Ю.И., Дерканосова А.А., Толстов С.А. Термодинамика фазового равновесия в системах твердое тело–жидкость и твердое тело–газ **30**

Родионов Д.А., Лазарев С.И., Протасов Д.Н., Абоносимов О.А., Полянский К.К. Математическая модель процесса ультрафильтрационного концентрирования вторичного молочного сырья в трубчатом мембранных аппаратах с фильтрующими элементами типа БТУ 05/2 **36**

Афанасьев В.А., Фролова Л.Н., Сизиков К.А., Остриков А.Н., Василенко В.Н., Богомолов И.С. Исследование кинетических закономерностей процесса экструдирования зерновых культур при производстве высокоусвояемых комбикормов с защищенным белком для крупного рогатого скота **44**

Ершов М.А., Ершов А.М., Лыжин Е.В., Гроховский В.А., Димова Ж.Г. Моделирование процессов обезвоживания провесной и вяленой рыбы **55**

Семенов Е.В., Славянский А.А., Грибкова В.А., Митрошина Д.П., Антипов С.Т. Моделирование процесса роста кристаллов сахарозы в сахарсодержащем растворе **62**

Зобова С.Н., Остриков А.Н., Фролова Л.Н., Копылов М.В., Богомолов И.С. Влияние технологических режимов на изменения состава свекловичного жома при его переработке на Боринском сахарном заводе **71**

Желтоухова Е.Ю., Клейменова Н.Л., Болгова М.А., Лесняк М.А., Тронза П.А. Оптимизация процесса производства соевого масла **78**

Кульнева Н.Г., Федорук В.А., Матвиенко Н.А., Пономарева Е.М. Совершенствование кристаллизации утфелей в сахарном производстве **86**

Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Богомолов И.С., Филипцов П.В., Фролова Л.Н. Разработка технологии высокоусвояемых комбикормов с вакуумным напылением жидких компонентов **94**

ПИЩЕВАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

Othman A.J., Елисеева Л.Г., Симина Д.В. Микрозелень: новый продукт, аспекты, перспективы и недостатки **102**

Нилова Л.П., Малютенкова С.М. Антиоксидантные комплексы облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides L.*) северо-запада России **108**

Бытяк Д.С., Корнеева О.С., Мотина Е.А. Разработка стратегии индукции AOX1 промотора при культивировании метилотрофных дрожжей *Komagataella phaffii* **115**

Попов В.Г., Хайруллина Н.Г., Садыкова Х.Н. Тенденции использования безглютеновых видов муки в производстве продукции функционального назначения **121**

Плотникова Р.Н. Применение нормативной базы по минимизации негативного воздействия на окружающую среду для развития биотехнологических подходов к ее оздоровлению **129**

Родионова Н.С., Попов Е.С., Захарова Н.А., Черкасова Н.С., Шолин А.В. Повышение эффективности газообмена при алиментарной биокоррекции пищевого статуса студентов и преподавателей инженерного ВУЗа **138**

Дерканосова А.А., Курчаева Е.Е., Востроилов А.В., Баженова Е.В., Попова Я.А., Матвиенко Н.А. Научные подходы к использованию молока коров красно-пестрой породы в производстве мягких сыров комбинированного состава **146**

Мелешкина Е.П., Коломиец С.Н., Жильцова Н.С., Бундина О.И. Современная оценка хлебопекарных свойств российской пшеницы **155**

Сумина А.В., Полонский В.И., Шалдаева Т.М. Функциональная ценность талгана, изготовленного из пророщенного зерна пшеницы и ячменя **163**

Дерканосова А.А., Курчаева Е.Е., Востроилов А.В., Звягин Р.Н., Звягин А.Н., Максимов И.В. Использование жома топинамбура и пробиотического препарата в составе полнорационных гранулированных комбикормов для кроликов **169**

Шкидюк М.В., Дон Т.А., Бедрицкая О.К. Комплексная оценка некурительной никотинсодержащей продукции **179**

Клейменова Н.Л. Разработка купажей растительных масел для здорового питания **187**

Лыжин Е.В., Гроховский В.А., Ершов М.А., Дубровин С.Ю., Дубровина С.С. Рыба вялено-провесная с улучшенными свойствами **192**

Глаголева Л.Э., Зацепилина Н.П., Копылов М.В., Родионов С.О. Биологически активные ингредиенты животного происхождения в технологии производства кисломолочных напитков **204**

Ковалева Т.С., Яковлев А.Н., Яковлева С.Ф., Тертычная Т.Н. Муравьев А.С. Оптимизация процесса осахаривания разваренной массы в производстве этанола **211**

Веснина А.Д., Просеков А.Ю., Козлова О.В., Курбанова М.Г., Козленко Е.А., Голубцова Ю.В. Разработка пробиотического консорциума для людей с онкологическими заболеваниями **219**

Заикина М.А., Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А., Овчинникова Е.В., Кобченко С.Н., Ткачева Е.Д. Исследование влияния яблочных выжимок и рисовой муки на качественные показатели хлеба пшеничного **233**

Шенцова Е.С., Лыткина Л.И., Муравьев А.С., Торшина А.А. Оптимизация процесса гранулирования комбикормов для пушных зверей **240**

Соколов А.Ю., Шишкина Д.И. Изучение структурно-механических свойств биополимеров с целью получения продукта типа капсул **248**
Щеглеватых А.Н., Овечкин С.А. Продукт увеличивающий выносливость спринтеров **253**
Занданова Т.Н., Иванова К.В., Мырьянова Т.П. Влияние закваски на аминокислотный состав кисломолочных продуктов **258**
Бытяк Д.С., Гладченко Ю.А., Ряполова А.В., Корнеева О.С., Мотина Е.А. Сравнительная экспрессия рекомбинантной фосфолипазы А2 в *Komagataella phaffii* в зависимости от модификации сигнального пептида альфа-фактора **263**

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Ольвера Берналь Р.А, Успенская М.В., Олехнович Р.О. Биополимеры и их применение в качестве электроактивных полимеров **270**
Домниченко Р.Г., Вострикова Г.Ю., Никулин С.С. Получение совмещенной эпоксидианово-акриловой дисперсии **278**
Зотов Н.И., Попов С.В., Хабибрахманова О.В. Повышение эффективности работы колонны частичного отбензинивания нефти **284**
Плотникова Р.Н. Исследование свойств бромированной фталатсодержащей системы и определение областей ее применения **290**
Шевцов С.А., Фетисов Е.В. Технология безопасного и энергоэффективного хранения сжиженного углеводородного газа на объектах стратегического назначения **297**
Натарова Е.С., Нечёсова Ю.М. Дисперсный наполнитель на основе синтетического карбоната кальция – требования к качеству применения **303**
Кузнецова И.В., Гетманская М.В., Черненко С.С. Получение и исследование алюмосиликатного сорбента **309**
Студеникина Л.Н., Домарева С.Ю., Голенских Ю.Е., Матвеева А.В. Особенности высоконаполненных композитов на основе различных марок поливинилового спирта **316**
Саранов И.А., Нифталиев С.И., Торопцев В.В., Кузнецов И.А. Исследование качества воды в процессе ее очистки с использованием ультрафильтрации методом дифференциально-сканирующей калориметрии **323**
Кротова О.А., Шашок Ж.С., Усс Е.П., Люштык А.Ю., Карманова О.В. Исследование упруго-гистерезисных свойств протекторных шинных резин с кремнекислотными наполнителями **330**

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Акбашева А.А., Дзахмишева И.Ш., Масалова Ю.В. Анализ эффективности производства сельскохозяйственной продукции **336**
Лящук Ю.О., Платонова О.В. Сравнительный анализ стратегий управления брендом **343**
Рогов Н.В., Казьмина И.В. Особенности управления собственностью корпораций оборонно-промышленного комплекса при производстве высокотехнологичной продукции **353**
Ендовицкая Е.В. Дивергентный подход в процессно-ориентированном кадровом контроллинге **360**
Житинская Л.О., Лутченко В.Г., Хорев А.И., Паршин Н.М., Беккиев А.Ю., Ионов С.В. Процесс инновационного развития предприятия в регионе **367**
Кручинина В.М., Рыжкова С.М. Рынок удобрений в России: состояние и направления развития **375**
Кострова Ю.Б., Лящук Ю.О., Черкашина Л.В., Шибаршина О.Ю. Бренд как психологическое средство рекламы и самовыражения личности **385**
Устюгова И.Е., Воронцова Ю.Н., Кривенда А.О., Черников В.В., Карпович М.А. Разработка организационно управленческих и экономических решений в управлении операционной деятельности организации с использованием метода функционально стоимостного анализа **394**
Рыжкова С.М., Кручинина В.М. Государственное регулирование рынка удобрений в России **410**
Шишкина Н.В., Мамистова Е.А., Сабетова Т.В. Взаимное влияние развития рынка труда и течения пандемии Covid-19 **421**
Лапшина М.Л., Лукина О.О. Возможность использования инновационных моделей при уточнении наиболее оптимального подхода по управлению поведением коммерческой организацией **429**
Горковенко Е.В., Платонова И.В. Социальная безопасность региона и направления ее обеспечения **435**
Кривцова Н.Н., Саликов Ю.А., Резникова Е.А., Карпович М.А. Комплексная интегральная оценка ресурсообеспеченности бизнес-организации на различных стадиях её жизненного цикла **443**
Степанова Ю.Н. Критериальная оценка инновационных разработок **455**
Серебрякова Н.А., Колмыкова Т.С., Гривачев Е.А., Клыкова С.В. Исследование возможностей национальной инновационной среды по внедрению финансовых технологий **460**
Бугаев Ю.В., Коробова Л.А., Гудков С.В. Методы оптимизации развозки грузов потребителям несколькими транспортными средствами **466**
Журкина Т.А., Наролина Ю.В., Пономаренко М.В. Особенности экономической безопасности предпринимательской деятельности **473**
Денисова Я.В., Сопин В.Ф., Качмаржик А.А. Построение инновационной СМК и ее функционирование с использованием цифровой платформы **483**
Степанова М.Н. Финансовая компетентность застрахованных в области социального страхования: особенности формирования **490**

CONTENTS

PROCESSES AND APPARATUSES OF FOOD ENGINEERING

Timakova R.T. Adaptive modeling of experimental conditions in the processing of food products (chilled fish) by the flow of accelerated electrons **17**

Afanasyev V.A., Frolova L.N., Sizikov K.A., Ostrikov A.N., Zobova S.N. Grain crops extrusion process mathematical model at a non-isothermal flow of their melt up to the temperature of the Maillard reaction start **23**

Shishackii Yu.I., Derkanosova A.A., Tolstov S.A. Thermodynamics of phase equilibrium in solid-liquid and solid-gas systems **30**

Rodionov D.A., Lazarev S.I., Protasov D.N., Abonosimov O.A., Polyansky K.K. Mathematical model of the process of ultrafiltration concentration of secondary milk raw materials in tubular membrane devices with filtering elements of BTU 05/2 type **36**

Afanasiev V.A., Frolova L.N., Sizikov K.A., Ostrikov A.N., Vasilenko V.N., Bogomolov I.S. Study ofthe kinetic regularities of the grain extrusion process in the production of highly digestible feed with protected protein for cattle **44**

Ershov M.A., Ershov A.M., Lyzhin E.V., Grohovskiy V.A., Dimova Zh.G. Modeling of mass transfer processes during dehydration of air-dried fish **55**

Semenov E.V., Slavyansky A.A., GribkovaV.A., Mitroshina D.P. Antipov S.T. Simulation of the growth of sucrose crystals in a sugarcontaining solution **62**

Zobova S.N., Ostrikov A.N., Frolova L.N., Kopylov M.V., Bogomolov I.S. Influence of technological modes on changes in the composition of beet pulp during its processing at the Borinsky sugar plant **71**

Zheltouhova E.Yu., Kleimenova N.L., Bolgova M.A., Lesnyak M.A., Tronza P.A. Optimization of the soybean oil production process **78**

Kulneva N.G., FedorukV.A., Matvienko N.A., Ponomareva E.M. Improving the massecuite crystallization in sugar production **86**

Afanasiev V.A., Ostrikov A.N., Bogomolov I.S., Filiptsov P.V., Frolova L.N. Development of technology of highly accessible compound feeds with vacuum spraying of liquid components **94**

FOOD BIOTECHNOLOGY

Othman A.J., Eliseeva L.G., Simina D.V. Microgreens: a newly merging product, aspects, prospectives, and disadvantages **102**

Nilova L.P., Malyutenkova S.M. Antioxidant complexes of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides L.*) of northwest Russia **108**

Bytyak D.S., Korneeva O.S., Motina E.A. Development of a strategy induction AOX1 promoter methylotrophic yeast *Komagataella phaffii* **115**

Popov V.G., Hajrullina N.G., Sadykova H.N. Trends in the use of gluten-free flours in the production of functional products **121**

Plotnikova R.N. Application of the regulatory framework to minimize negative impacts the impact on the environment for the development of biotechnological approaches to its improvement **129**

Rodionova N.S., Popov E.S., Zaharova N.A., Cherkasova N.S., Sholin A.V. Increasing the efficiency of gas exchange during alimentary biocorrection of the nutritional status of students and teachers of an engineering university **138**

Derkanosova A.A., Kurchaeva E.E., Vostroilov A.V., Bazhenova E.V., Popova Ya.A., Matvienko N.A. Scientific approaches to the application of red-and-white cows milk in the production of combined composition soft cheeses **146**

Meleshkina E.P., Kolomiets S.N., Zhiltsova N.S., Bundina O.I. Modern assessment of bakery properties of Russian wheat **155**

Sumina A.V., Polonskiy V.I., Shaldaeva T.M. Functional value of a talgan made from sprouted wheat and barley **163**

Derkanosova A.A., Kurcheva. E.E., Vostroilov A.V., Zvyagin, R.N., Zvyagin A.N., Maksimov I.V. The use of artichoke pulp and probiotic preparation in the composition of complete granular feed for rabbits **169**

Shkidyuk M.V., Don T.A., Bedritskaya O.K. Complex estimation system for smokeless nicotine containing products **179**

Kleymenova N.L. Development of blends of vegetable oils for a healthy diet **187**

Lyzhin E.V., Grohovskiy V.A., Ershov M.A., Dubrovin S.Yu., Dubrovina S.S. Half-dried fish with improved properties **192**

Glagoleva L.E., Zatsepilina N.P., Kopylov M.V., Rodionov S.O. Optimization of the process of mixing liquid-phase heterogeneous products **204**

Kovaleva T.S., Yakovlev A.N., Yakovleva S.F., Tertychnaya T.N., Muravev A.S. Optimization of the process of saccharification in ethanol production **211**

Vesnina A.D., Prosekov A.Yu., Kozlova O.V., Kurbanova M.G., Kozlenko E.A., Golubtsova Yu.V. Development of a probiotic consortium for people with cancer **219**

Zaikina M.A., Kovaleva A.E., Pyanikova E.A., Ovchinnikova E.V., Kobchenko S.N., Tkacheva E.D. Study of the influence of apple pomace and rice flour on the quality factors of wheat bread **233**

Shentsova E.S., Lytkina L.I., Muravev A.S., Torshina A.A. Optimization of the process of compound feed pelleting for fur animals **240**
Sokolov A.Y., Shishkina D.I. Study of the structural and mechanical properties of biopolymers in order to obtain a capsule-type product **248**
Shcheglevatykh A.N., Ovechkin S.A. Endurance product for sprinters **253**
Zandanova T.N., Ivanova K.V, Myryuanova T.P. The effect of starter on amino acid composition of fermented milk **258**
Bytyak D.S., Gladchenko Yu.A., Ryapolova A.V., Korneeva O.S., Motina E.A. Comparative expression of recombinant phospholipase A2 in *Komagataella phaffii* depending on the modification of the alpha-factor signaling peptide **263**

CHEMICAL TECHNOLOGY

Olvera Bernal R.A., Uspenskaya M.V., Olekhnovich R.O. Biopolymers and its application as electroactive polymers **270**
Domnichenko R.G., Vostrikova G.Ju., Nikulin S.S. Obtaining a combined epoxy-acrylic dispersion **278**
Zotov N.I., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V. Increasing the efficiency of the partial oil removal column **284**
Plotnikova R.N. Investigation of the properties of the brominated phthalate-containing system and determination of its application areas **290**
Shevtsov S.A., Fetisov E.V Technology for safe and energy-efficient storage of liquefied petroleum gas at strategic facilities **297**
Natarova E.S., Nehcesova Yu.M. Dispersed filler based on synthetic calcium carbonate – requirements for applications quality **303**
Kuznetsova I.V., Getmanskaya M.V., Chernenko S.S. Obtaining and research of aluminosilicate sorbent **309**
Studenikina L.N., Domareva S.Ju., Golenskih Ju.E., Matveeva A.V. Features of high-filled composites based on various brands of polyvinyl alcohol **316**
Saranov I.A., Niftaliev C.I., Toroptsev V.V., Kuznetsov I.A. Investigation of the quality of water in the process of its purification using ultrafiltration by the method of differential scanning calorimetry **323**
Krotova O.A., Shashok Zh.S., Uss E.P., Lyushtyk A.Yu., Karmanova O.V. Investigation of the elastic and hysteresis properties of tread rubber tires with silica **330**

ECONOMICS AND MANAGEMENT

Akbasheva A.A., Dzakhmisheva I.S., Masalova Y.V. Analysis of the efficiency of agricultural production **336**
Lyashchuk Yu.O., Platonova O.V. Comparative analysis of brand management strategies **343**
Rogov N.V., Kazmina I.V. Features of property management of corporations of the military-industrial complex in the production of high-tech products **353**
Endovitskaya E.V. Divergent approach in process-oriented HR controlling **360**
Zhitinskaja L.O., Lutchenko V.G., Horev A.I., Parshin N.M., Bekkiev A.Y., Ionov S.V. The process of innovative development of an enterprise in the region **367**
Kruchinina V.M., Ryzhkova S.M. Fertilizer market in Russia: state and direction of development **375**
Kostrova Y.B., Lyashchuk Yu.O., Cherkashina L.V., Shibarshina O.Y. Comparative analysis of brand management strategies **385**
Ustjugova I.E., Vorontsova Yu.N., Krivenda A.O., Chernikov V.V., Karpovich M.A. Development of organizational management and economic solutions in the management of the organization's operational activities using the method of functional cost analysis **394**
Ryzhkova S.M., Kruchinina V.M. State regulations the market of fertilizers in Russia **410**
Shishkina N.V., Mamistova E.A., Sabetova T.V. Mutual effect of labour market development and COVID-19 pandemic progression **421**
Lapshina M.L., Lukina O.O. The possibility of using innovative models to refine the most optimal approach to managing the behavior of a commercial organization **429**
Gorkovenko E.V., Platonova I.V. Social security of the region and directions of its provision **435**
Krivtsova N.N., Salikov Yu.A., Reznikova E.A., Karpovich M.A. Comprehensive integrated assessment of the resource availability of a business organization at various stages of its life cycle **443**
Stepanova Y.N. Criteria-based assessment of innovative developments **455**
Serebryakova N.A., Kolmykova T.S., Grivachev E.A., Klykova S.V. Research of the possibilities of the national innovative environment for the implementation of financial technologies **460**
Bugaev Y.V., Korobova L.A., Gudkov S.V. Methods for optimizing the delivery of goods to consumers by several vehicles **466**
Zhurkina T.A., Narolina Ju.V., Ponomarenko M.V. Specifics of economic security of entrepreneurship **473**
Denisova Y.V., Sopin V.F., Kachmarzhik A.A. Building an innovative QMS and its functioning using a digital platform **483**
Stepanova M.N. Financial competence of the field of social insurance: formation features **490**

Процессы и аппараты пищевых производств

Processes and devices for food production

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-17-22 Оригинальная статья/Research article

УДК 51-7, 613.281, 639.2, 664-4, 664.8 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Адаптивное моделирование экспериментальных условий при обработке пищевых продуктов (рыбы охлажденной) потоком ускоренных электронов

Роза Т. Тимакова [1] trt64@mail.ru 0000-0002-4777-1465

1 Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия

Аннотация. Применение математического моделирования в разных отраслях пищевой промышленности, как действенный инструмент политики ресурсосбережения пищевых систем, является инновационным решением в области повышения эффективности существующих технологий производства пищевой продукции на основе установленных закономерностей в процессе производства. Вопросы контроля операционного качества при осуществлении обработки пищевых продуктов потоком ускоренных электронов при отсутствии регламентированных стандартами доз излучения, кроме некоторых видов пряностей, для обеспечения безопасности и качества пищевой продукции, в частности рыбы охлажденной, требуют конструктивного подхода при общей прогнозируемости технологических параметров в специализированных радиационных центрах – операторах облучателя. Установлено, что поглощенная образцами чешуи карпа обыкновенного доза с высокой степенью корреляции 0,94 зависит от собственно дозы излучения и увеличивается до 7,51±0,04 кГр при облучении дозой 12 кГр или в 25,9 раза по сравнению с образцами, обработанными потоком ускоренных электронов дозой излучения 1 кГр. Выявлено, что операционное качество определяется воспроизводимостью результатов в установленных условиях производственного процесса обработки. В результате опытных апробаций разработаны математические модели разного типа для прогнозирования поглощенной дозы от экспериментальных условий на примере образцов чешуи карпа охлажденного: полиномиальная, 3D-график и arccos. Практическая значимость определяется возможностью проектирования экспериментальных условий при обработке охлажденной рыбы потоком ускоренных электронов без осуществления пробной обработки небольших партий пищевой продукции в радиационных центрах и использованием в качестве макета при технологических прогонах излучателей.

Ключевые слова: математическое моделирование, arccos, карп охлажденный, доза излучения, поглощенная доза, технологические параметры, чешуя

Adaptive modeling of experimental conditions in the processing of food products (chilled fish) by the flow of accelerated electrons

Roza T. Timakova [1] trt64@mail.ru 0000-0002-4777-1465

1 Ural State Economic University, St. 8-e Marta/Narodnoy voli, 62/45, Ekaterinburg, 620144, Russia

Abstract. The use of mathematical modeling in various branches of the food industry as an effective tool for the policy of resource conservation of food systems is an innovative solution in the field of improving the efficiency of existing food production technologies based on established patterns in the production process. The issues of operational quality control in the process of processing food products with a stream of accelerated electrons in the absence of radiation doses regulated by standards, except for certain types of spices, to ensure the safety and quality of food products, in particular chilled fish, require a constructive approach with the general predictability of technological parameters in specialized radiation centers – operators of the irradiator. It was found that the dose absorbed by the samples of common carp scales with a high degree of correlation of 0.94 depends on the actual radiation dose and increases to 7.51±0.04 kGy when irradiated with a dose of 12 kGy or 25.9 times compared to samples treated with a stream of accelerated electrons with a radiation dose of 1 kGy. It is revealed that the operational quality is determined by the reproducibility of the results under the established conditions of the production processing process. As a result of experimental testing, mathematical models of various types were developed to predict the absorbed dose from experimental conditions on the example of samples of chilled carp scales: polynomial, 3D-graph and arccos. The practical significance is determined by the possibility of designing experimental conditions for processing chilled fish with a stream of accelerated electrons without performing trial processing of small batches of food products in radiation centers and using emitters as a model for technological runs.

Keywords: mathematical modeling, arccos, cooled carp, radiation dose, absorbed dose, technological parameters, scales

Введение

Технология обработки пищевой продукции потоком ускоренных электронов определяется требованиями стандартов ГОСТ ISO 14470–2014 «Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения пищевых продуктов ионизирующим излучением» и ГОСТ 34157–2017 «Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов электронными пучками и рентгеновским (тормозным) излучением», исходя из целей проведения обработки: уменьшение микробиологической обсемененности, уничтожение вредителей и патогенной микрофлоры, продление срока хранения и др.

Пищевая продукция относится к биологическим объектам живой природы, соответственно для сохранения качественных характеристик и обеспечения безопасности согласно требованиям технических регламентов параметры обработки ионизирующим излучением применяются, исходя

Для цитирования

Тимакова Р.Т. Адаптивное моделирование экспериментальных условий при обработке пищевых продуктов (рыбы охлажденной) потоком ускоренных электронов //Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 17–22. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-17-22

For citation

Timakova R.T. Adaptive modeling of experimental conditions in the processing of food products (chilled fish) by the flow of accelerated electrons. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 17–22. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-17-22

© 2021, Тимакова Р.Т. / Timakova R.T.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

из вида пищевой продукции для установления минимальной и максимальной дозы излучения, чтобы, с одной стороны, обеспечить достижение установленных целей, с другой – не допустить ухудшения качества.

Исследования зарубежных и отечественных ученых направлены на установление оптимальных доз ионизирующего излучения для разных видов пищевой продукции. Так, например, только промысловых рыб известно более 700 видов, отличающихся размерно-массовыми характеристиками, технохимическими свойствами, морфометрическими и морфологическими характеристиками. При этом отмечается вариабельность диапазона доз в разных литературных источниках, что может быть обусловлено рядом причин: разные виды облучателей и технические параметры их работы, неоднородность пищевых продуктов в разных партиях товаров (термическое состояние продукта и его размер, органолептические показатели и др.) [1].

В разных странах определены различные оптимальные дозы излучения, используемые для обработки охлажденной рыбы. В настоящее время многочисленными исследованиями установлено, в результате облучения дозами от 1 кГр до 3 кГр увеличиваются сроки годности охлажденной рыбы: карпа охлажденного – до 30 суток при температуре хранения 0 + 4 °С; морского окуня – до 25–28 суток при температуре + 0,6 °С; сардины в вакуумной упаковке – до 24 суток при температуре + 4 °С; сельди – до 10–14 суток при температуре + 2 °С; скумбрии – до 30–35 суток при температуре + 0,6 °С. Для сига оптимальной дозой излучения является доза 0,83–1,22 кГр, что при температуре + 3 °С обеспечивает срок годности 17–21 день. Увеличение дозы излучения до 2,5–5,0 кГр приводит к сокращению сроков годности морского окуня до 15–17 суток [2–5]. Облучение дозами свыше 4,5 кГр может приводить к окислительной порче рыбы, что подтверждается результатами исследований [2, 3, 6]. При увеличении дозы до 9 кГр происходит повреждение ДНК [7].

В настоящее время ввиду отсутствия регламентированных стандартами доз излучения в специализированных радиационных центрах – операторах облучателя предлагается осуществление пробной обработки минимальной партии пищевой продукции, исходя из достижения установленных целей.

Основополагающим вопросом в методологии построения СМК в радиационных центрах согласно требований ГОСТ Р ИСО 9001–2015 «Системы менеджмента качества. Требования» является структура документации системы, включающая документированные процедуры для обеспечения качества и безопасности пищевых продуктов и для минимизации отклонений от запланированных результатов [8].

Одним из важнейших решений для подбора технологических параметров без многочисленных экспериментальных апробаций при осуществлении обработки пищевой продукции потоком ускоренных электронов для достижения установленных целей является математическое моделирование, которое, по мнению [9,10] позволяет изучить реальный процесс и / или, продукт с помощью современных информационных технологий в результате создания физической, символической или абстрактной модели ситуации. При этом математическая модель, как некоторый набор формальных соотношений между показателями объекта исследования, разделяемыми на параметры и переменные, должна обеспечить адекватное описание процессов функционирования объекта и получить оптимальный вариант искомого решения [11, 12].

Математическое моделирование позволяет исследовать оптимальным образом и описывать разные технологические процессы с использованием инновационных приемов обработки сырьевых компонентов пищевой продукции, которые способствуют установлению требуемого значения уровня качества исследуемых видов продукции, а также осуществлять прогнозирование любых процессов, например теплообменных, и оптимальных условий ведения этих процессов, результат которых выражается в математической и графической формах, и обосновывать оптимальные условия ведения этих процессов [13–18].

Вопросы унификации и нивелирования отдельных стандартизированных процессов для обеспечения операционного качества при осуществлении процедуры облучения имеют важное значение для обеспечения безопасности и качества пищевой продукции, в частности рыбы охлажденной, обработанной потоком ускоренных электронов.

Цель работы – разработка математических моделей зависимости поглощенной дозы обработанного разными дозами ионизирующего излучения карпа обыкновенного охлажденного от экспериментальных условий.

Материалы и методы

Обработка карпа обыкновенного охлажденного прудового хозяйства осуществлялась дозами до 12 кГр линейным ускорителем электронов модели УЭЛР-10–10С2 с энергией до 10 МэВ в ЦРС УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина в соответствии с требованиями ГОСТ 34154–2017 «Руководство по облучению рыбы и морепродуктов с целью подавления патогенных и вызывающих порчу микроорганизмов» и последующей оценкой операционного

качества (OQ) для определения базовых данных при проведении оценки прогнозируемости работы линейного ускорителя и воспроизводимости результатов в планируемом диапазоне условий работы с точки зрения ключевых рабочих параметров, оказывающих влияние на поглощенную в продукте дозу. Характеристика электронного пучка и его рассеивания и способ транспортирования пищевых продуктов, характеризующие облучательное оборудование и не зависящие от вида пищевой продукции, относятся к рабочими параметрами согласно п. 8.3 ГОСТ Р ИСО/АСТМ 51431–2012 «Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов электронными пучками и рентгеновским (тормозным) излучением». Основными характеристиками пучка электронов и его рассеивания, относящиеся к технологическим параметрам самой установки, являются:

- максимальная энергия ускоренных электронов – 10 МэВ;
- максимальный размер поля облучения на расстоянии 10,0 см от выпускной фольги – 60,0 х 2,0 см;
- равномерность поля облучения – ±5%;
- частота сканирования электронного пучка – 1–3 Гц.

Транспортировка карпа охлажденного, размещенного в один слой в технологической загрузке, осуществлялась на конвейере со скоростью движения (5 ± 0,1) м/мин, геометрия облучения – двухсторонняя при однократном прохождении (рисунок 1).

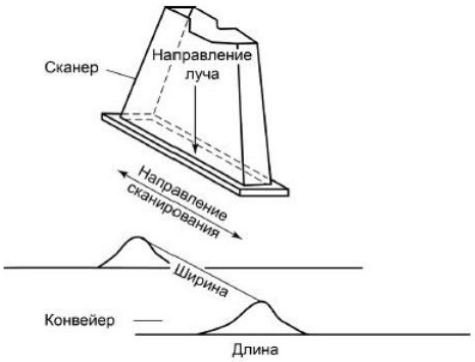


Рисунок 1. Зона облучения технологической загрузки сканирующим пучком по ГОСТ 34154–2017

Figure 1. Irradiation zone of technological loading by scanning beam according to GOST 34154–2017

До и после процедуры облучения осуществлялся температурный контроль карпа – 0 ± 2 °С. Плотность рыбы составляла 0,987 ± 0,004 кг/м^3.

ЭПР-спектроскопия осуществлялась по образцам циклоидной чешуи карпа, представленной костными образованиями в виде крупных «лепестков» и являющейся защитным барьером, в том числе от проникновения ионизирующего излучения, при этом аккумулирующей и поглощающей излучение, в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52529–2016 «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясопродуктов, содержащих костную ткань», согласно адаптированной автором методики пробоподготовки для последующей качественной и количественной идентификации методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) согласно расчетной формулы определения поглощенных доз [5].

Исследования проводились в 10-кратной повторности. Полученные экспериментальные результаты обработаны с использованием стандартных статистических методов анализа с использованием пакета прикладных программ Microsoft Office Excel и Stat Soft Statistica.

Результаты и обсуждение

Проектирование ресурсосберегающих дифференцированных технологий, к которым можно отнести радиационные технологии, возможно при целенаправленном использовании математических моделей на основе первичных опытных данных. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что после обработки карпа охлажденного разными дозами ионизирующего излучения наблюдается изменение основных параметров ЭПР-сигнала: амплитуды, ширины и площади в образцах чешуи карпа. С увеличением дозы излучения происходит усиление цепной реакции возбуждения свободных радикалов и интенсивности регистрируемого ЭПР-сигнала, при этом выявлено увеличение величины поглощенной дозы в образцах чешуи в 25,9 раза: с 0,29 ± 0,01 кГр при облучении дозой 1,0 кГр до 7,51 ± 0,04 кГр при облучении дозой 12 кГр с высокой степенью корреляции 0,94 (рисунок 2)

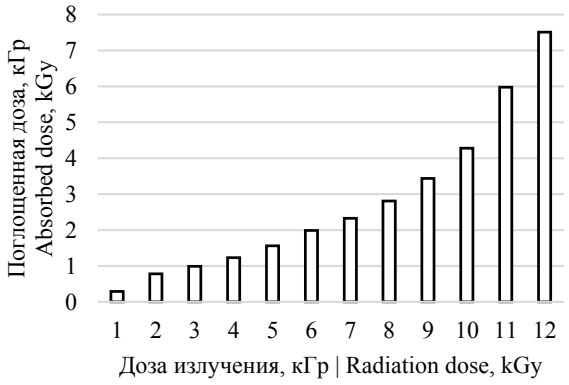


Рисунок 2. Динамика изменения поглощенной дозы в образцах чешуи карпа обыкновенного, обработанного разными дозами излучения, кГр

Figure 2. Dynamics of changes in the absorbed dose in samples of common carp scales treated with different radiation doses, kGy

Математическая модель зависимости поглощенной дозы от дозы излучения вобразцах чешуи карпа обыкновенного после обработки разными дозами ионизирующего излучения представлена в виде аппроксимирующего полинома третьего порядка с высоким коэффициентом аппроксимации $R^2 = 0{,}997$:

$$Y = 0{,}9\times10^{-2}X^3 - 1{,}2\times10^{-1}X^2 + 0{,}7625X - 0{,}383 \quad (1)$$

Для обоснования зависимости поглощенной дозы от дозы излучения и площади ЭПР-сигнала, как обобщающего параметра ЭПР-сигнала, использован метод матричного структурирования с построением исходной матрицы и представленной математической моделью в виде трехмерного графика поверхности (рисунок 3).

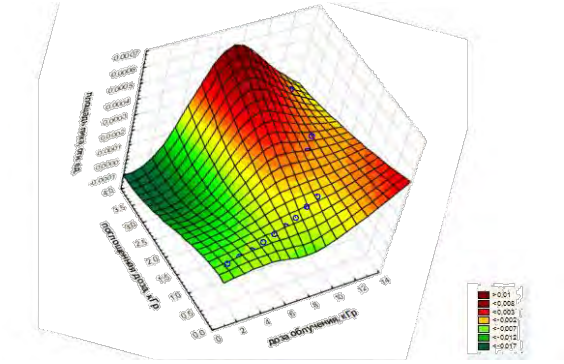


Рисунок 3. Поверхность отклика

Figure 3. Surface plot

Проведенные исследования позволили установить регрессионную зависимость изменения поглощенной дозы (Z) от дозы облучения *(X)* и площади ЭПР-сигнала (Y) для образцов чешуи рыбы, представленную уравнением ($R^2 = 0{,}87$) :

$$Z = 8{,}386 - 0{,}2246X + 11522{,}34Y + 8301{,}42XY \quad (2)$$

Используя разработанные модели зависимости поглощенной дозы (полиномиальная модель, модель: 3D-график) от отдельных параметров и численные массивы поглощенной дозы в разных точках технологической загрузки, построена математическая модель нелинейного типа следующего вида (коэффициент корреляции 0,901):

$$\arccos = 0{,}2481 + 0{,}00411 \cdot \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2}, \quad (3)$$

где δx и δy – изменение размерных характеристик объекта исследования.

Выбор нелинейной функции (arccos) для моделирования зависимой переменной (доза) был выполнен на основе анализа реальных значений исследуемого показателя в сопоставлении с картиной поведения массива нелинейных функций. Построенная модель является качественной и может быть использована для прогнозирования поглощенной дозы.

Заключение

Применение в радиационных центрах пробной обработки потоком ускоренных электронов минимальной партии пищевых продуктов является частным случаем для установления рациональных доз ионизирующего излучения, что не всегда целесообразно с точки зрения формирования логистических потоков и ограниченности сроков хранения непереработанного пищевого сырья ввиду удаленности производственных объектов от радиационных центров. При соблюдении установленных и закрепленных в Технических соглашениях технологических параметров: параметров излучателя и параметров процесса облучения, а также при предоставлении характеристик каждого конкретного вида продуктов, его размеров, плотности, насыпной плотности в технологической загрузке, термического состояния и целей обработки целесообразно осуществление математического моделирования, исходя из относительно неизменных экспериментальных условий. Разработанные в результате апробаций прогностические математические модели разного типа могут быть применены в практических целях для расчета рациональных поглощенных доз ионизирующего излучения и обеспечения безопасности и качества обработанного потоком ускоренных электронов карпа охлажденного, а также для моделирования продукта (макета, имитатора) в качестве замены реального продукта, используемого в технологических прогонах при изучении характеристик излучателя.

Литература

1 Тимакова Р.Т. SOPs: формализованный подход к применению радиационных технологий // Пища. Экология. Качество: тр. XVII Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург: Изд-во УрГЭУ, 2020. С. 638–641.

2 Arvanitoyannis I.S., Stratakos A., Mente E. Impact of irradiation on fish and sea food shelf life: A comprehensive review of applications and irradiation detection // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2009. V. 49(1). P. 68–112.

3 Erkan N., Günlü A., Genc I. Alternative seafood preservation technologies: ionizing radiation and high pressure processing // Journal of Fisheries Sciences. com. 2014. V. 8(3). P. 238–251.

4 Özden Ö.M., Erkan N. Effect of different dose gamma radiation and refrigeration on the chemical and sensory properties and microbiological status of aqua cultured sea bass (Dicentrarchuslabrax) // Radiation Physics and Chemistry. 2007. V. 76. P. 1169–1178.

5 Timakova R.T., Tikhonov S.L., Tikhonova N.V. Ionizing radiation treatment as an innovative process approach in food storage technology for modern agriculture // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia. 2020. С. 22015.

6 Genc İ.Y., Diler A. Elimination of foodborne pathogens in seafoods by irradiation: Effects on quality and shelf-life // Journal of Food Science and Engineering. 2013. V 3. P. 99–106.

7 Sakalar E., Mol S. Determination of irradiation dose and distinguishing between irradiated and non irradiated fish meat by real-time PCR // Food chemistry. 2015. V. 182. P. 150–155.

8 Тихонов Б.Б., Тихонова Н.А. Особенности документирования систем менеджмента качества в пищевой промышленности // В сб. научных трудов II Международной научной конференции: Современное состояние экономических систем: экономика и управление. 2020. С. 332–336.

9 Сундукова Т.О., Ваныкина Г.В. Математическое моделирование и моделирование компетенций // Парадигмы современной науки. 2017. № 2(4). С. 12–21.

10 Sriraman B. Conceptualizing the model-eliciting perspective of mathematical problem solving // Proceedings of the Fourth Congress of the European Society for research in Mathematics Education (CERME 4). 2006. P. 1686–1695.

11 Суходолов А.П., Марченко В.А. Системный анализ, моделирование, математическое моделирование. Иркутск: Байкальский государственный университет, 2018. 144 с.

12 Тарасик В.П. Физические основы структурно-матричного метода математического моделирования технических систем // Вестник Белорусско-Российского университета. 2016. № 1(50). С. 87–99

13 Кокарев М.А., Бутерус Н.С. Моделирование процессов тепломассообмена и их математическое описание // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. № 6(42). С. 179–181.

14 Кретова Ю.И., Цирульниченко Л.А. Математическое моделирование как эффективный инструмент прогнозирования и управления производственными процессами // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2018. Т. 6. № 1. С. 5–13.

15 Остриков А.Н., Богомолов И.С., Филипцов П.В. Математическое моделирование процесса диффузии жидких добавок внутрь экструдированных гранул комбикорма для рыб ценных пород // Вестник ВГУИТ. 2020. № 82(3). С. 19–23. doi: 10.20914/2310–1202–2020–3–19–23

16 Dehdari L., Amani M.J., Parsaei R. Prediction of water solubility in ill-defined hydrocarbons at high temperatures: Modeling with the CPA-EoS // Fluid Phase Equilibria. 2017. V. 454. P. 11–21. doi:10.1016/j.fluid.2017.09.009

17 Lambert C., Laulan B., Decloux M. Simulation of a sugar beet factory using a chemical engineering software (ProSimPlus®) to perform Pinch and exergy analysis // Journal of Food Engineering. 2018. V. 225. P. 1–11. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.01.004

18 Onwude D.I., Hashim N., Abdan K. Modelling of coupled heat and mass transfer for combined infrared and hotairdrying of sweet potato // Journal of Food Engineering. 2018. V. 228. P. 12–24. doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.02.006

References

1 Timakova R.T. SOPs: a formalized approach to the application of radiation technologies. Food. Ecology. Quality: proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference. Ekaterinburg: Publisher of USUE, 2020. pp. 638–641. (in Russian).

2 Arvanitoyannis I.S., Stratakos A., Mente E. Impact of irradiation on fish and sea food shelf life: A comprehensive review of applications and irradiation detection. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2009. vol. 49(1). pp. 68–112.

3 Erkan N., Günlü A., Genc I. Alternative seafood preservation technologies: ionizing radiation and high pressure processing. Journal of Fisheries Sciences. com. 2014. vol. 8(3). pp. 238–251.

4 Özden Ö.M., Erkan N. Effect of different dose gamma radiation and refrigeration on the chemical and sensory properties and microbiological status of aqua cultured sea bass (Dicentrarchuslabrax). Radiation Physics and Chemistry. 2007. vol. 76. pp. 1169–1178.

5 Timakova R.T., Tikhonov S.L., Tikhonova N.V. Ionizing radiation treatment as an innovative process approach in food storage technology for modern agriculture. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia. 2020. C. 22015.

6 Genc İ.Y., Diler A. Elimination of foodborne pathogens in seafoods by irradiation: Effects on quality and shelf-life. Journal of Food Science and Engineering. 2013. vol. 3. pp. 99–106.

7 Sakalar E., Mol S. Determination of irradiation dose and distinguishing between irradiated and non irradiated fish meat by real-time PCR. Food chemistry. 2015. vol. 182. pp. 150–155

8 Tikhonov B.B., Tikhonova N.A. Features of documenting quality management systems in the food industry. In the collection of scientific works of the II International Scientific Conference: The Current state of economic systems: Economics and Management. 2020. pp. 332–336. (in Russian).

9 Sundukova T.O., Wanykina G.V. Mathematical simulation and modeling competency. Paradigm of modern science. 2017. no. 2(4). pp. 12–21. (in Russian).

10 Sriraman B. Conceptualizing the model-eliciting perspective of mathematical problem solving. Proceedings of the Fourth Congress of the European Society for research in Mathematics Education (CERME 4). 2006. pp. 1686–1695.

11 Sukhodolov A.P., Marchenko V.A. System analysis, modeling, mathematical modeling. Irkutsk, Baikal State University, 2018. 144 p. (in Russian).

12 Tarasik V.P. Physical bases of the structural-matrix method of mathematical modeling of technical systems. Bulletin of the Belarusian-Russian University. 2016. no. 1(50). pp. 87–99. (in Russian).

13 Kokarev M.A., Buterus N.S. Modeling of heat and mass transfer processes and their mathematical description. Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2018. no. 6 (42). pp. 179–181. (in Russian).

14 Kretova Yu.I., Tsirulnichenko L.A. Mathematical modeling as an effective tool for forecasting and managing production processes. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology. 2018. vol. 6. no. 1. pp. 5–13. (in Russian).

15 Ostrikov A.N., Bogomolov I.S., Filiptsov P.V. Mathematical modeling of the diffusion process of liquid additives into extruded pellets of feed stuff for prime fish species. Proceedings of VSUET. 2020. no. 82(3). pp. 19–23. (in Russian) doi:10.20914/2310–1202–2020–3–19–23

16 Dehdari L., Amani M.J., Parsaei R. Prediction of water solubility in ill-defined hydrocarbons at high temperatures: Modeling with the CPA-EoS. Fluid Phase Equilibria. 2017. vol. 454. pp. 11–21. doi:10.1016/j.fluid.2017.09.009

17 Lambert C., Laulan B., Decloux M. Simulation of a sugar beet factory using a chemical engineering software (ProSimPlus®) to perform Pinch and exergy analysis //Journal of Food Engineering. 2018. vol. 225. pp. 1–11. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.01.004

18 Onwude D.I., Hashim N., Abdan K. Modelling of coupled heat and mass transfer for combined infrared and hotairdrying of sweet potato. Journal of Food Engineering. 2018. vol. 228. pp. 12–24. doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.02.006

Сведения об авторах

Роза Т. Тимакова д.т.н., доцент, кафедра пищевой инженерии, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия, trt64@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4777-1465

Information about authors

Roza T. Timakova Doc. Sci. (Tech.), assistant professor, food engineering department, Ural State Economic University, St. 8-e Marta/Narodnoy voli, 62/45, Ekaterinburg, 620144, Russia, trt64@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4777-1465

Вклад авторов

Роза Т. Тимакова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Roza T. Timakova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Поступила 11/01/2021	**После редакции** 15/02/2021	**Принята в печать** 04/03/2021

Received 11/01/2021	**Accepted in revised** 15/02/2021	**Accepted** 04/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-23-29 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.8/.9:636.085.55 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Математическая модель процесса экструзии зерновых культур при неизотермическом течении их расплава до температуры начала реакции Майяра

Валерий А. Афанасьев [1] vnii_kp@vmail.ru
Лариса Н. Фролова [1] Fln-84@mail.ru 0000-0002-6505-4136
Константин А. Сизиков [1] ska@combikorm.ru
Александр Н. Остриков [1] ostrikov27@yandex.ru 0000-0002-2335-0017
Светлана Н. Зобова [1] ostrikov27@yandex.ru

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Для описания неизотермического течения расплава зерновых культур в экструдере в качестве исходных уравнений были выбраны уравнения движения, уравнение неразрывности, уравнение энергии (теплового баланса), реологическое уравнение. Для решения модели приняты следующие допущения: течение движущейся вязкой среды принимается ламинарным и установившимся; силы инерции и гравитации по сравнению с силами трения и давления настолько малы, что ими можно пренебречь; вязкая среда (расплав) представляет собой несжимаемую жидкость, характеризующуюся постоянными теплопроводностью и температуропроводностью; изменением теплопроводности в продольном направлении пренебрегали в связи с тем, что конвективный перенос теплоты в направлении течения выше, чем перенос теплоты теплопроводностью; теплопередача в направлению перпендикулярном течению расплава происходит только за счет теплопроводности. Для решения системы уравнений с учетом конвективной теплопередачи был использован численный метод конечных разностей, сущность использования которого заключалась в том, что рассматриваемая область (канал экструдера) разбивается на расчетные ячейки с помощью сетки. Сетка состояла из прямоугольных ячеек с постоянным шагом между узлами, которые точно лежат на границах области интегрирования. При этом дифференциальные уравнения преобразовывались в разностные уравнения путем замены производных в точке конечными разностями по границам ячейки. В результате решения получена математическая модель неизотермического течения расплава в канале экструдера. Для решения математической модели процесса экструзии зерновых культур при неизотермическом течении их расплавов составлена программа на алгоритмическом языке С++. Получена неизотермическая математическая модель процесса экструзии зерновых культур при температурах начала реакции Майяра, т. е. до 120–125 °С, которая позволяет выявить характер изменения температуры по длине экструдера. Сравнительный анализ результатов численного решения и экспериментальных данных показал хорошую сходимость: среднеквадратичное отклонение не превышало 12,7%.

Ключевые слова: математическая модель, неизотермическое течение, расплав, зерновые культуры, экструзия, комбикорм, защищенный белок, крупный рогатый скот

Grain crops extrusion process mathematical model at a non-isothermal flow of their melt up to the temperature of the Maillard reaction start

Valerii A. Afanasiev [1] vnii_kp@vmail.ru
Larisa N. Frolova [1] Fln-84@mail.ru 0000-0002-6505-4136
Konstantin A. Sizikov [1] ska@combikorm.ru
Alexsandr N. Ostrikov [1] ostrikov27@yandex.ru 0000-0002-2335-0017
Svetlana N. Zobova [1] ostrikov27@yandex.ru

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The equations of motion, the equation of continuity, the equation of energy (heat balance), the rheological equation were chosen to describe the non-isothermal flow of the cereals melt in the extruder as the initial equations. The following assumptions were made to solve the model: the flow of a moving viscous medium is assumed to be laminar and steady; the forces of inertia and gravity are so small compared to the forces of friction and pressure that they can be neglected; a viscous medium (melt) is an incompressible liquid characterized by constant thermal conductivity and thermal diffusivity; the change in thermal conductivity in the longitudinal direction was neglected due to the fact that convective heat transfer in the flow direction is higher than the heat transfer by thermal conductivity; heat transfer in the direction perpendicular to the flow of the melt occurs only due to thermal conductivity. The numerical finite difference method was used to solve a system of equations taking into account convective heat transfer. Its essence of use lies in the fact that the considered area (extruder channel) is divided into calculated cells using a grid. The grid consisted of rectangular cells with a constant step between nodes, which exactly lie on the boundaries of the integration region. In this case, the differential equations were transformed into difference equations by replacing the derivatives at a point with finite differences along the cell boundaries. The mathematical model of non-isothermal melt flow in the extruder channel was obtained as a result of the solution. To solve a mathematical model of the process of grain crops extrusion with a non-isothermal flow of their melts, a program in the algorithmic language C ++ was compiled. A non-isothermal mathematical model of the process of extrusion of grain crops at temperatures of the beginning of the Maillard reaction, i.e., up to 120–125 °C, was obtained. It allows us to identify the nature of the temperature change along the length of the extruder. Comparative analysis of the results of the numerical solution and experimental data showed good convergence: the standard deviation did not exceed 12.7%.

Keywords: mathematical model, non-isothermal flow, melt, grain crops, extrusion, compound feed, "protected" protein, cattle

Для цитирования
Афанасьев В.А., Фролова Л.Н., Сизиков К.А., Остриков А.Н., Зобова С.Н. Математическая модель процесса экструзии зерновых культур при неизотермическом течении их расплава до температуры начала реакции Майяра // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 23–2929. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-23-29

For citation
Afanasyev V.A., Frolova L.N., Sizikov K.A., Ostrikov A.N., Zobova S.N. Grain crops extrusion process mathematical model at a non-isothermal flow of their melt up to the temperature of the Maillard reaction start. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 23–29. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-23-29

© 2021, Афанасьев В.А. и др. / Afanasyev V.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Для повышения продуктивности крупного рогатого скота (КРС) необходимо увеличить в сыром протеине долю защищенного белка, т. е. белка, устойчивого к воздействию ферментов микрофлоры и неспособного к распаду на составляющие – аммиак и углеродную цепочку [2, 7, 9, 11].

Отличительной особенностью моделирования процесса экструдирования зерновых культур при производстве комбикормов с защищенным белком для крупного рогатого скота является то, что смесь белка и редуцирующих сахаров нагревают до температуры начала реакции Майяра, т. е. до 120–125 °С, не допуская при этом ее развитие [1, 5, 6, 8, 10, 13, 14]. Баротермомеханическая обработка исходных компонентов в экструдере позволяет поучить комбикорма с защищенным белком.

Методы

При выборе математической модели были выбраны следующие ограничения и допущения: течение движущейся вязкой среды принимается ламинарным и установившимся; силы инерции и гравитации по сравнению с силами трения и давления настолько малы, что ими можно пренебречь; вязкая среда (расплав) представляет собой несжимаемую жидкость, характеризующуюся постоянными теплопроводностью и температуропроводностью; изменением теплопроводности в продольном направлении пренебрегали в связи с тем, что конвективный перенос теплоты в направлении течения выше, чем переноса теплоты теплопроводностью; теплопередача в направлению перпендикулярном течению расплава происходит только за счет теплопроводности;

Математическая модель неизотермического течения расплава зерновых культур включала:

уравнения движения

$$\begin{aligned}
\rho\left(\frac{\partial v_x}{\partial \tau}+v_x\frac{\partial v_x}{\partial x}+v_y\frac{\partial v_x}{\partial y}+v_z\frac{\partial v_x}{\partial z}\right)&=-\frac{\partial p}{\partial x}-\left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y}+\frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z}\right)+\rho g_x\\
\rho\left(\frac{\partial v_y}{\partial \tau}+v_x\frac{\partial v_y}{\partial x}+v_y\frac{\partial v_y}{\partial y}+v_z\frac{\partial v_y}{\partial z}\right)&=-\frac{\partial p}{\partial y}-\left(\frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x}+\frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y}+\frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial z}\right)+\rho g_y\\
\rho\left(\frac{\partial v_z}{\partial \tau}+v_x\frac{\partial v_z}{\partial x}+v_y\frac{\partial v_z}{\partial y}+v_z\frac{\partial v_z}{\partial z}\right)&=-\frac{\partial p}{\partial z}-\left(\frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x}+\frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial y}+\frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z}\right)+\rho g_z
\end{aligned} \tag{1}$$

уравнение неразрывности

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial \rho}{\partial \tau}+v_x\frac{\partial \rho}{\partial x}+v_y\frac{\partial \rho}{\partial y}+v_z\frac{\partial \rho}{\partial z}=\\
&=-\rho\left(\frac{\partial v_x}{\partial x}+\frac{\partial v_y}{\partial y}+\frac{\partial v_z}{\partial z}\right)
\end{aligned} \tag{2}$$

уравнение энергии (теплового баланса)

$$\begin{aligned}
&\rho c_p\left(\frac{\partial T}{\partial \tau}+v_x\frac{\partial T}{\partial x}+v_y\frac{\partial T}{\partial y}+v_z\frac{\partial T}{\partial z}\right)=-\left(\frac{\partial q_x}{\partial x}+\frac{\partial q_y}{\partial y}+\frac{\partial q_z}{\partial z}\right)-T\left(\frac{\partial \rho}{\partial T}\right)_p\left(\frac{\partial v_x}{\partial x}+\frac{\partial v_y}{\partial y}+\frac{\partial v_z}{\partial z}\right)-\\
&-\left(\sigma_{xx}\frac{\partial v_x}{\partial x}+\sigma_{yy}\frac{\partial v_y}{\partial y}+\sigma_{zz}\frac{\partial v_z}{\partial z}\right)-\left[\sigma_{xy}\left(\frac{\partial v_x}{\partial y}+\frac{\partial v_y}{\partial x}\right)+\sigma_{zx}\left(\frac{\partial v_x}{\partial z}+\frac{\partial v_z}{\partial x}\right)+\sigma_{yz}\left(\frac{\partial v_y}{\partial z}+\frac{\partial v_z}{\partial y}\right)\right].
\end{aligned} \tag{3}$$

Результаты и обсуждение

С учетом ранее принятых допущений уравнения неразрывности (1), движения (2) и энергии (3) можно упростить, так как компоненты течения в направлении одной или двух осей координат можно считать несущественными. Для неизотермического течения расплава в кольцевом канале экструдера значимыми являются только компоненты скорости в направлении оси x, а градиенты скорости и температуры имеют ненулевые значения только в направлении оси y. Это означает, что члены уравнений (1)–(3) с компонентами v_y, v_z и их производными по координатам x и z можно пренебречь.

Поэтому уравнение движения (1) [4] с учетом того, что $\partial v_x / \partial x = 0$, так как движение является установившимся; $v_y \partial v_x / \partial x = 0$, так как $v_y = 0$; $v_z \partial v_x / \partial z = 0$, так как $v_z = 0$; $\partial \sigma_{xx} / \partial x = 0$, так как нормальными напряжениями вследствие деформации сдвига пренебрегаем; $\partial \sigma_{zx} / \partial z = 0$, поскольку ширина кольцевого канала *B* значительно больше высоты кольцевого канала *H*, то влиянием боковых стенок на величину напряжений сдвига σ_{zx} пренебрегаем; $\rho g_x = 0$, так как влиянием сил гравитации пренебрегаем, можно записать следующим образом

$$\rho\left(v_x \frac{\partial v_x}{\partial x}\right) = -\frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y}. \quad (4)$$

Уравнение неразрывности (2) [4] с учетом того, что $\partial \rho / \partial x = 0$ – так как плотность постоянна и не меняется со временем; $\partial / \partial y(\rho v_y) = 0$ – так как $v_y = 0$; $\partial / \partial z(\rho v_z) = 0$, поскольку $v_z = 0$; если член уравнения (2) $\partial / \partial x(\rho v_x) = 0 \hat{=} \rho \partial v_x / \partial x + v_x / \partial \rho / \partial x$, а в нем $v_x / \partial \rho / \partial x = 0$ – так как ρ = const, то из него следует, что $\rho \partial v_x / \partial x = 0$ и поэтому $\partial v_x / \partial x = 0$. Принимая допущение о несжимаемости расплава (т. е. о постоянной плотности расплава), левая часть уравнение неразрывности (2) становится равной нулю, и оно приводится к виду:

$$\rho\left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x}\right) = -\frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y}. \quad (5)$$

Решая совместно упрощенные с учетом принятых допущений уравнение неразрывности (4) и уравнение движения (5), получаем

$$-\frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} = 0. \quad (6)$$

Таким образом, для уравнения энергии (5) были приняты следующие упрощающие допущения как течение является: $\partial T / \partial t = 0$ – так установившимся; $v_y \partial T / \partial y = 0$ – так как v_y= 0; $v_z \partial T / \partial z = 0$ – так как v_z= 0; $\partial q_x / \partial x = 0$ – вследствие того что $T \neq f(x) \rightarrow q_x = 0$; $\partial q_z / \partial z = 0$ – так как $\partial T / \partial z = 0$; по условиям задачи предполагается, что все члены уравнений (1)–(3), содержащие v_z и v_y и их производные по *x* и *y*, равны нулю.

После упрощения уравнения (5) получаем

$$0 = -\frac{\partial q_y}{\partial y} - \partial \sigma_{xy} \frac{\partial v_x}{\partial z} \quad (7)$$

Учитывая, что $\sigma_{xy} = \sigma_{yx}$ и $q_y = -\lambda \partial T / \partial y$ (закон Фурье), имеем:

$$\lambda \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right) = \sigma_{xy} \frac{\partial v_x}{\partial y} \quad (8)$$

Уравнения (5–8) дополним начальными условиями

$$v_{x_0} = v_x(x, y, \tau = 0),$$
$$v_{y_0} = v_y(x, y, \tau = 0), \quad (9)$$
$$T_0 = T(x, y, \tau = 0)$$

и граничным условием по температуре: при прилипании расплава к стенкам канала тепловой поток в слое, прилегающем к стенке, определяется следующей формулой

$$\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)_{\text{ст}} = \text{Bi} \frac{T_{\text{к}} - T_{\text{ст}}}{\delta}. \quad (10)$$

Температура расплава, контактирующего со стенкой, принимается равной температуре стенки, то есть $T_{\text{к}} = T_{\text{ст}}$.

Вязкость зернового расплава при неизотермическом течении его в витках экструдера описывается уравнением в виде обобщенного степенного закона [4]

$$\sigma_{yx} = \left(\frac{1}{\phi}\right)^{\frac{1}{m}} \left(\frac{\partial v_x}{\partial y}\right)^{\frac{1}{m}}, \quad (11)$$

где ϕ – эффективная вязкость расплава при начальных условиях; m – постоянных коэффициент расплава зерновых культур.

С учетом уравнений (8) и (11) изменение температуры расплава по высоте канала шнека описывается следующим уравнением

$$\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right) = -\frac{\varphi}{\lambda}\left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)^{m+1} y^{m+1} \quad (12)$$

Интегрируя уравнение (12) и учитывая, что при $y = 0$ $(\partial T / \partial y)$ (профиль температуры по высоте канала шнека является симметричным), получаем

$$\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right) = -\frac{\varphi}{\lambda}\left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)^{m+1} \frac{y^{m+2}}{m+2} \quad (13)$$

Интегрируя уравнение (13) и определяя постоянную интегрирования, получаем

$$T = T_{\text{ст}} + \frac{\varphi}{\lambda}\left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)^{m+1} \frac{(0{,}5H)^{m+3} - y^{m+3}}{(m+2)(m+3)}, \quad (14)$$

где $T_{\text{ст}}$ – температура стенки, °С; *x, y* – координаты, м; *H* – высота канала шнека, м; λ – теплопроводность расплава, Вт / (м×К).

Однако, учитывая, что теплота уносится вместе с потоком расплава, т. е. необходимостью учитывать передачу теплоты конвекцией, а также принимая во внимание закон теплопроводности Фурье и уравнение (11), окончательно получаем

$$\rho c_p v_x \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right) = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \eta(y)\left(\frac{\partial v_x}{\partial y}\right)^2, \qquad (15)$$

В уравнении (15) член в левой части уравнения описывает конвективную теплопередачу в направлении *x*, первый член в правой части уравнения – теплопередачу в направлении *y* за счет теплопроводности, и второй член в правой части уравнения – диссипационную энергию вязкого течения за счет существования градиента скорости в направлении *y*.

Для решения системы уравнений движения (4) и энергии (15) с учетом конвективной теплопередачи был использован численный метод конечных разностей, сущность использования которого заключалась в том, что рассматриваемая область (в данном случае канал экструдера) разбивается на расчетные ячейки с помощью сетки. Сетка состояла из прямоугольных ячеек с постоянным шагом между узлами, которые точно лежат на границах области интегрирования. При этом дифференциальные уравнения преобразовывались в разностные уравнения путем замены производных в точке конечными разностями по границам ячейки [3, 4, 12, 15–20].

Это означает, что касательная в точке заменяется хордой. Тангенс угла наклона касательной, который соответствует частной производной, заменяется тангенсом угла наклона секущей, то есть конечно-разностным отношением. Такие разностные схемы аппроксимируют производные более точно, чем так называемые граничные схемы – конечно-разностные схемы для передней или задней границы и точки внутри расчетной области [4]. Центральная разностная схема может быть построена, только если доступны узлы сетки по обе стороны от текущего (центрального) узла. Если точка сетки x_n лежит на границе или так близко к ней, что точки сетки по другую ее сторону не существует, то производная аппроксимируется с помощью передней или задней разностных схем (соответственно с шагом вперед или назад):

Порядок решения математической модели (5)–(15) рассматривается на равномерной сетке. С этой целью разобьѐм область $D = \{0 \le X \le 1,\ 0 \le Y \le 1\}$ на сетку с шагом h_X и h_Y по переменным X и Y соответственно, с размерностью 13×17.

Для решения математической модели процесса экструзии зерновых культур при неизотермическом течении их расплавов составлена программа на алгоритмическом языке Turbo Pascal 7,0. Исходные данные для расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Исходные данные для расчета процесса экструзии зерновых культур при неизотермическом течении их расплавов

Table 1.

Initial data for calculating the process of extrusion of grain crops in the non-isothermal flow of their melts

Переменная	Variable	Значение Value
Шаг, м	Step, m	0,0180
Глубина винтового канала, м	Screw channel depth, m	0,014
Диаметр шнека, м	Screw diameter, m	0,0220
Зазор между корпусом и шнеком, м	Clearance between body and auger, m	0,0005
Частота вращения шнека, 1/с	Screw speed, 1 / s	1,0000
Удельная теплоемкость продукта, Дж / (кг×К)	Specific heat capacity of the product, J / (kg × K)	1590,0000
Плотность расплава продукта, кг/м^3	Density of product melt, kg / m3	1270,0000
Коэффициент теплопроводности, Вт / (м×К)	Thermal conductivity coefficient, W / (m × K)	0,2210
Вязкость, Па×с	Viscosity, Pa × s	20000,0000
Избыточное давление, МПа	Overpressure, MPa	4,5000
Начальная температура продукта, °С	Initial product temperature, °C	20,0000
Температура стенки винтового канала, °С	Screw channel wall temperature, °C	135,0000
Внутренний диаметр корпуса, м	Inner diameter of body m	0,0225
Угол подъема винтового канала рад	The angle of elevation of the screw channel is rad	0,2379
Угловая скорость (V_o) м/с	Angular velocity (Vo), m / s	0,0660
Скорость по оси Z (W_Z), м/с	Z-axis speed ,(W_Z) m / s	0,0641
Скорость по оси X (W_X), м/с	X-axis speed, (W_X) m / s	0,0155
Число Рейнольдса	Reynolds number	6,4 E-0005
Число Эйлера	Euler's number	8,80 E + 0005
Число Эккерта	Eckert number	1,79 E-0008
Число Пекле	Peclet number	-

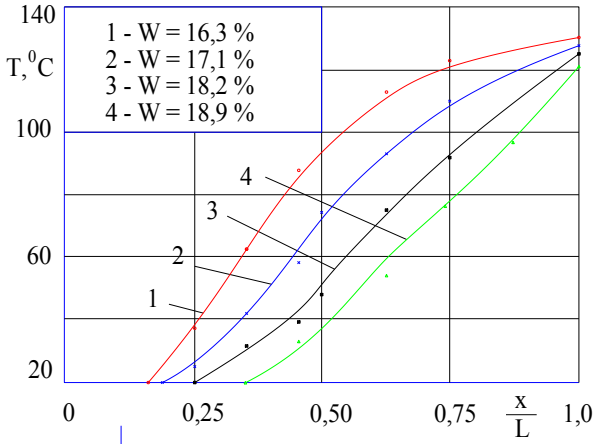


Рисунок 1. Изменение температур расплава зерновых культур по относительной длине рабочей камеры экструдера при различной начальной влажности зерновых культур

Figure 1. Changes in the melt temperatures of grain crops along the relative length of the working chamber of the extruder at different initial moisture content of grain crops

Учитывая тот факт, что повышение температуры расплава зерновых культур происходит за счет эффекта диссипации, т. е. преобразования механической энергии в тепловую за счет сил трения, то максимальная температура расплава наблюдается у поверхности шнека. Температура расплава у неподвижной стенки корпуса рабочей камеры может быть ниже, чем у шнека, на 10 °С. Температура расплава в пристенной зоне (у боковых стенок корпуса рабочей камеры) возрастает, что вызвано влиянием эффекта охлаждения расплава в центральной части канала вследствие адиабатического расширения.

Сравнительный анализ расчетных значений температуры по модели (5)–(15) с аналогичными моделями других авторов [3, 4] показал, более высокую точность описания поля температур расплава при его неизотермическом течении в экструдере: среднеквадратичное отклонение не превышало 12,7% (рисунок 1).

Заключение

1. Получена неизотермическая математическая модель процесса экструзии зерновых культур при температурах начала реакции Майяра, т. е. до 120–125 °С, которая позволяет выявить характер изменения температуры по длине экструдера.

2. Сравнительный анализ результатов численного решения и экспериментальных данных показал хорошую сходимость: среднеквадратичное отклонение не превышало 12,7%, что позволило сделать вывод о возможности получения экструдата с защищенным белком и использования полученной модели при разработке и проектировании экструдеров.

Литература

1 Kamau E.H., Nkhata S.G., Ayua E.O. Extrusion and nixtamalization conditions influence the magnitude of change in the nutrients and bioactive components of cereals and legumes // Food science & nutrition. 2020. V. 8. № 4. P. 1753-1765. doi: 10.1002/fsn3.1473

2 Золотарèв А., Седюк И., Золотарèва С. Продуктивность дойных коров при использовании новейшей технологии кормления // Научно-технический бюллетень Института животноводства Национальной академии аграрных наук Украины. 2020. № 124. С. 79–88.

3 Moreno C.R., Fernández P.C.R., Rodríguez E.O.C., Carrillo J.M. et al. Changes in nutritional properties and bioactive compounds in cereals during extrusion cooking // Extrusion of Metals, Polymers and Food Products. 2018. P. 104-124. doi: 10.5772/intechopen.68753

4 Микаэли В. Экструзионные головки для пластмасс и резины: Конструкции и технические расчеты; пер. с англ. яз.; под ред. В.П. Володина. СПб: Профессия, 2007. 472 с.

5 Чуприна Е.Г., Власов А.Б., Юрин Д.А., Юрина Н.А. Кормовой продукт в рационах новотельных коров, состоящий из защищенного соевого и подсолнечного белка // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2020. № 10 (183). С. 24–32. doi: 10.33920/sel-05-2010-03

6 Василенко В.Н., Фролова Л.Н., Дерканосова А.А., Михайлова Н.А. и др. Математическое обеспечение процесса экструдирования аномально-вязких сред методами планирования эксперимента // Вестник ВГУИТ. 2018. № 3. С. 37–42. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-37-42

7 Nikmaram N., Leong S.Y., Koubaa M., Zhu Z. et al. Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview // Food control. 2017. V. 79. P. 62-73. doi: 10.1016/j.foodcont.2017.03.027

8 Николаев В. Н., Яворский В.И. Анализ процесса экструзии кормов и совершенствование экструдера // Вестник ЧГАА. 2015. Т. 71. С. 61-66.

9 Мартынова Д.В. и др. Разработка математической модели экструзии зернового белково-клетчатко-крахмалосодержащего сырья на шнековом пресс-экструдере // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. №. 1 (63).

10 Янова М. А. Влияние технологических параметров на изменение содержания белка при производстве муки методом экструдирования // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2015. № 4. С. 25-28.

11 Bordoloi R., Ganguly S. Extrusion technique in food processing and a review on its various technological parameters // Indian Journal of Scientific Research and Technology. 2014. V. 2. № 1. P. 1-3.

12 Bader Ul Ain H., Saeed F., Khan M.A., Niaz B. et al. Comparative study of chemical treatments in combination with extrusion for the partial conversion of wheat and sorghum insoluble fiber into soluble // Food science & nutrition. 2019. V. 7. № 6. P. 2059-2067. doi: 10.1002/fsn3.1041

13 Peng W.X., Marchal J.L.M., Van der Poel A.F.B. Strategies to prevent and reduce mycotoxins for compound feed manufacturing // Animal Feed Science and Technology. 2018. V. 237. P. 129-153. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.01.017

14 Kaur G.J. et al. Development of multigrain breakfast cereal using extrusion technology // Asian Journal of Dairy and Food Research. 2015. V. 34. № 3. P. 219. doi: 10.5958/0976-0563.2015.00043.3

15 Meza S.L.R. et al. Production of innovative gluten-free breakfast cereals based on red and black rice by extrusion processing technology // Journal of food science and technology. 2019. V. 56. № 11. P. 4855-4866. doi: 10.1007/s13197-019-03951-y

16 Alqaisi O., Moraes L.E., Ndambi O.A., Williams R.B. Optimal dairy feed input selection under alternative feeds availability and relative prices // Information Processing in Agriculture. 2019. V. 6. № 4. P. 438-453. doi: 10.1016/j.inpa.2019.03.004

17 Amid S., Gundoshmian T.M., Shahgoli G., Rafiee S. Energy use pattern and optimization of energy required for broiler production using data envelopment analysis // Information Processing in Agriculture. 2016. V. 3. № 2. P. 83-91. doi: 10.1016/j.inpa.2016.03.003

18 Fu Q., Shen W., Wei X., Zheng P. et al. Prediction of the diet nutrients digestibility of dairy cows using Gaussian process regression // Information Processing in Agriculture. 2019. V. 6. № 3. P. 396-406. doi: 10.1016/j.inpa.2018.11.005

19 Zeyner A., Kirchhof S., Susenbeth A., Südekum K.H. et al. A new protein evaluation system for horse feed from literature data // Journal of nutritional science. 2015. V. 4. doi: 10.1017/jns.2014.66

20 Chakraborty P., Shivhare U. S., Basu S. Effect of milk composition on sensory attributes and instrumental properties of Indian Cottage Cheese (chhana) // NFS Journal. 2021. V. 23. P. 8-16. doi: 10.1016/j.nfs.2021.02.002

References

1 Kamau E.H., Nkhata S.G., Ayua E.O. Extrusion and nixtamalization conditions influence the magnitude of change in the nutrients and bioactive components of cereals and legumes. Food science & nutrition. 2020. vol. 8. no. 4. pp. 1753-1765. doi: 10.1002/fsn3.1473

2 Zolotarev A., Sedyuk I., Zolotareva S. Productivity of dairy cows using the latest feeding technology. Scientific and technical bulletin of the Institute of Livestock of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. 2020. no. 124. pp. 79–88. (in Russian).

3 Moreno C.R., Fernández P.C.R., Rodríguez E.O.C., Carrillo J.M. et al. Changes in nutritional properties and bioactive compounds in cereals during extrusion cooking. Extrusion of Metals, Polymers and Food Products. 2018. pp. 104-124. doi: 10.5772/intechopen.68753

4 Mikaeli V. Extrusion heads for plastics and rubber: Designs and technical calculations. SPb, Profession, 2007. 472 p. (in Russian).

5 Chuprina E.G., Vlasov A.B., Yurin D.A., Yurina N.A. Forage product in the diets of fresh cows, consisting of protected soy and sunflower protein. Feeding agricultural animals and fodder production. 2020. no. 10 (183). pp. 24–32. doi: 10.33920/sel-05-2010-03 (in Russian).

6 Vasilenko V.N., Frolova L.N., Derkanosova A.A., Mikhailova N.A. et al. Mathematical support of the extrusion process of anomalously viscous media by methods of experiment planning. Proceedings of VSUET. 2018. no. 3. pp. 37–42. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-37-42 (in Russian).

7 Nikmaram N., Leong S.Y., Koubaa M., Zhu Z. et al. Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. Food control. 2017. vol. 79. pp. 62-73. doi: 10.1016/j.foodcont.2017.03.027

8 Nikolaev V.N., Yavorskiy V.I. Analysis of the process of extrusion of feed and improvement of the extruder // Bulletin of ChGAA. 2015. vol. 71. pp. 61-66. (in Russian).

9 Martynova D.V. et al. Development of a mathematical model for extrusion of grain protein-fiber-starch-containing raw materials on a screw press extruder. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. 2017. no. 1 (63). (in Russian).

10 Yanova M.A. Influence of technological parameters on the change in protein content during the production of flour by the extrusion method. Bulletin of higher educational institutions. Food technology. 2015. no. 4. pp. 25-28. (in Russian).

11 Bordoloi R., Ganguly S. Extrusion technique in food processing and a review on its various technological parameters. Indian Journal of Scientific Research and Technology. 2014. vol. 2. no. 1. pp. 1-3.

12 Bader Ul Ain H., Saeed F., Khan M.A., Niaz B. et al. Comparative study of chemical treatments in combination with extrusion for the partial conversion of wheat and sorghum insoluble fiber into soluble. Food science & nutrition. 2019. vol. 7. no. 6. pp. 2059-2067. doi: 10.1002/fsn3.1041

13 Peng W.X., Marchal J.L.M., Van der Poel A.F.B. Strategies to prevent and reduce mycotoxins for compound feed manufacturing. Animal Feed Science and Technology. 2018. vol. 237. pp. 129-153. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.01.017

14 Kaur G.J. et al. Development of multigrain breakfast cereal using extrusion technology. Asian Journal of Dairy and Food Research. 2015. vol. 34. no. 3. pp. 219. doi: 10.5958/0976-0563.2015.00043.3

15 Meza S.L.R. et al. Production of innovative gluten-free breakfast cereals based on red and black rice by extrusion processing technology. Journal of food science and technology. 2019. vol. 56. no. 11. pp. 4855-4866. doi: 10.1007/s13197-019-03951-y

16 Alqaisi O., Moraes L.E., Ndambi O.A., Williams R.B. Optimal dairy feed input selection under alternative feeds availability and relative prices. Information Processing in Agriculture. 2019. vol. 6. no. 4. pp. 438-453. doi: 10.1016/j.inpa.2019.03.004

17 Amid S., Gundoshmian T.M., Shahgoli G., Rafiee S. Energy use pattern and optimization of energy required for broiler production using data envelopment analysis. Information Processing in Agriculture. 2016. vol. 3. no. 2. pp. 83-91. doi: 10.1016/j.inpa.2016.03.003

18 Fu Q., Shen W., Wei X., Zheng P. et al. Prediction of the diet nutrients digestibility of dairy cows using Gaussian process regression. Information Processing in Agriculture. 2019. vol. 6. no. 3. pp. 396-406. doi: 10.1016/j.inpa.2018.11.005

19 Zeyner A., Kirchhof S., Susenbeth A., Südekum K.H. et al. A new protein evaluation system for horse feed from literature data. Journal of nutritional science. 2015. vol. 4. doi: 10.1017/jns.2014.66

20 Chakraborty P., Shivhare U.S., Basu S. Effect of milk composition on sensory attributes and instrumental properties of Indian Cottage Cheese (chhana). NFS Journal. 2021. vol. 23. pp. 8-16. doi: 10.1016/j.nfs.2021.02.002

Сведения об авторах

Валерий А. Афанасьев д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vnii_kp@vmail.ru

Лариса Н. Фролова д.т.н., профессор, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, Fln-84@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6505-4136

Константин А. Сизиков экстерн, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ska@combikorm.ru

Александр Н. Остриков д.т.н., заведующий, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ostrikov27@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-2335-0017

Светлана Н. Зобова экстерн, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ostrikov27@yandex.ru

Information about authors

Valerii A. Afanasiev Dr. Sci. (Engin.), professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vnii_kp@vmail.ru

Larisa N. Frolova Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, Fln-84@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6505-4136

Konstantin A. Sizikov external student, technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ska@combikorm.ru

Alexsandr N. Ostrikov Dr. Sci. (Engin.), head of department, , technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ostrikov27@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-2335-0017

Svetlana N. Zobova external student, technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ostrikov27@yandex.ru

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 12/01/2021	**После редакции** 09/02/2021	**Принята в печать** 02/03/2021

Received 12/01/2021	**Accepted in revised** 09/02/2021	**Accepted** 02/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-30-35 Оригинальная статья/Research article
УДК 640 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Термодинамика фазового равновесия в системах твердое тело–жидкость и твердое тело–газ

Юлиан И. Шишацкий [1]
Анна А. Дерканосова [1] aa-derk@ya.ru 0000-0002-9726-9262
Сергей А. Толстов [2] serezha.tolstoff@ya.ru

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых Большевиков, 54 «А», г. Воронеж, 394064, Россия

Аннотация. Термодинамическое равновесие двухфазной системы описывается уравнением Гиббса, включающее параметры состояния. На основе уравнения Гиббса и объединенного уравнения первого и второго законов термодинамики записаны термодинамические потенциалы: внутренней энергии, энтальпии и свободной энергии Гиббса. Если две фазы находятся в равновесии, то температуры, давления и химические потенциалы этих фаз равны между собой. Равенства выражают условия термического и механического равновесия, а также условие отсутствия движущей силы для переноса компонента через границу раздела фаз. Для двухфазной системы уравнение Гиббса-Дюгема связывает объем и энтропию 1 моля смеси, содержание любого компонента, выраженное в мольных долях. Рассмотрено экстрагирование из частиц люпина подсырной сывороткой (система твердое тело-жидкость). Движущей силой процесса экстрагирования в системе твердое тело-жидкость является разность между концентрацией растворяющего вещества у поверхности твердого тела C и его средней концентрацией C_0 в основной массе раствора. Концентрация на границе раздела фаз обычно принимается равной концентрации насыщенного раствора $C_н$, поскольку вблизи поверхности твердого тела равновесие устанавливается довольно быстро. Тогда движущая сила процесса выражается как $C_н–C_0$. Построена кривая извлечения экстрактивных веществ из люпина подсырной сывороткой наложением низкочастотных механических колебаний.

Ключевые слова: равновесие, устойчивость фаз, термодинамические потенциалы, движущие силы, экстрагирование, сушка

Thermodynamics of phase equilibrium in solid-liquid and solid-gas systems

Yulian I. Shishatskii [1]
Anna A. Derkanosova [1] aa-derk@ya.ru 0000-0002-9726-9262
Sergey A. Tolstov [2] serezha.tolstoff@ya.ru

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
2 Air Force Academy named after Professor N.Ye. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, st. Old Bolsheviks, 54 "A", Voronezh, 394064, Russia

Abstract. The thermodynamic equilibrium of a two-phase system is described by the Gibbs equation, which includes state parameters. On the basis of the Gibbs equation and the combined equation of the first and second laws of thermodynamics, thermodynamic potentials are written: internal energy, enthalpy and Gibbs free energy. If the two phases are in equilibrium, then the temperatures, pressures and chemical potentials of these phases are equal to each other. Equalities express the conditions of thermal and mechanical equilibrium, as well as the condition for the absence of a driving force for the transfer of a component across the interface. For a two-phase system, the Gibbs-Duhem equation connects the volume and entropy of 1 mole of the mixture, the content of any component, expressed in mole fractions. Extraction from lupine particles with cheese whey (solid-liquid system) is considered. The driving force of the extraction process in the solid-liquid system is the difference between the concentration of the solvent at the surface of the solid C and its average concentration C0 in the bulk of the solution. The concentration at the interface is usually taken to be equal to the concentration of a saturated solution of Cn, since equilibrium is established rather quickly near the surface of a solid. Then the driving force of the process is expressed as Cn – C0. A curve for the extraction of extractives from lupine with cheese whey was plotted by superimposing low-frequency mechanical vibrations.

Keywords: equilibrium, phase stability, thermodynamic potentials, driving forces, extraction, drying

Введение

Процессы экстрагирования (система твердое тело–жидкость) и сушка (система твердое тело–газ) нашли широкое применение в пищевой промышленности и смежных отраслях. В данной работе использованы общие условия термодинамического равновесия и устойчивости различных систем.

Методы

Для системы твердое тело–жидкость и твердое тело-газ применимо уравнение Гиббса в виде [6]

$$TdS = dU + pdV - \Sigma\mu_i dN_i \qquad (1)$$

где: T – температура, S –энтропия, U – внутренняя энергия, p – давление, V – объем системы, N_i, μ_i – химический потенциал и число молей компонента i.

Для цитирования
Шишацкий Ю.И., Дерканосова А.А., Толстов С.А. Термодинамика фазового равновесия в системах твердое тело–жидкость и твердое тело–газ // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 30–35. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-30-35

For citation
Shishackii Yu.I., Derkanosova A.A., Tolstov S.A. Thermodynamics of phase equilibrium in solid-liquid and solid-gas systems. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 30–35. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-30-35

© 2021, Шишацкий Ю.А. и др. / Shishackii Yu.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

На основе уравнения Гиббса и объединенного уравнения I и II законов термодинамики можно записать термодинамические потенциалы:

внутренняя энергия U

$$dU = TdS - pdV + \Sigma\mu_i dN_i \qquad (2)$$

энтальпия H

$$dH = TdS + Vdp + \Sigma\mu_i dN_i \qquad (3)$$

свободная энергия Гиббса G

$$dG = -SdT + Vdp + \Sigma\mu_i dN_i \qquad (4)$$

Система равновесна не только, когда все параметры постоянны во времени, но и в том случае, когда нет никаких стационарных потоков за счет действия каких-либо внешних источников. Система выводится из равновесного состояния, если подвести к ней вещество или энергию. При этом перенос массы и энергии в пространстве может происходить как принудительно, так и самопроизвольно. В конечном счете, система приходит в состояние динамического равновесия.

Для изолированной системы характерно постоянство макроскопических параметров вещества во времени и в пространстве. В соответствии со вторым законом термодинамики энтропия изолированной системы стремится к максимуму. В состоянии равновесия энтропия системы имеет максимально возможное для данной системы значение, то есть в равновесной изолированной системе $dS = 0$. Действительно, для этой системы $dU = 0$ и $dV = 0$.

Исходя из технической термодинамики для открытой системы равновесное состояние достигается только при ее равновесии с окружающей средой в результате тепло-и массообменного взаимодействия. Вследствие отклонения от равновесия в самой системе или в окружающей среде возникает движущая сила процессов, приводящих к изменению свойств системы. Если внешние условия неизменные, то состояние равновесия удерживается в системе сколь угодно долго.

Состояние устойчивого равновесия (стабильное состояние) характерно тем, что если каким-либо внешним воздействием вывести из него рассматриваемую систему, а затем снять это внешнее воздействие, то система возвратится в исходное состояние равновесия [3].

Устойчивое равновесие достигается при условии минимальных значений внутренней энергии U, энтальпии H и свободной энергии Гиббса G.

Результаты и обсуждение

В [1] отмечено, что для устойчивой системы должно соблюдаться неравенство:

$$\left(\frac{\partial^2 G}{\partial N_i^2}\right)_{T,\,p,N_k\neq 1} = \left(\frac{\partial \mu_i}{\partial N_i}\right)_{T,\,p,N_k\neq 1} > 0 \qquad (5)$$

Предел существования устойчивой фазы достигается при $\left(\partial\mu_i/\partial N_i\right)_{T,\,p,N_k\neq 1} = 0.$

Если система находится в состоянии неустойчивого равновесия (лабильное состояние) и из него ее вывести, то система уже не возвратится в исходное состояние, а перейдет в новое состояние устойчивого равновесия. Даже очень малые внешние воздействия выводят систему из лабильного состояния [8–20].

При условии $\left(\partial\mu_i/\partial N_i\right)_{T,\,p,N_k\neq 1} < 0.$ система неустойчива вследствие возникновения движущей силы для разделения на две равновесные фазы различного состава.

Исходя из условия устойчивости (5) для двухфазной системы запишем:

$$T_1 = T_2; p_1 = p_2; \mu_{i1} = \mu_{i2}, \qquad (6)$$

где индексы 1 и 2 относятся к разным фазам, а T, p и μ – их температуры, давления и химические потенциалы.

Таким образом, если две фазы находятся в равновесии, то температуры, давления и химические потенциалы эти фаз равны между собой. Равенства (6) выражают условия термического и механического равновесия, а также условие отсутствия движущей силы для переноса компонента через границу раздела фаз.

В [1] отмечено, что для однофазной системы уравнение Гиббса-Дюгема имеет вид

$$\Sigma X_i\, d\mu_i = 0 \text{ при T и p= const.}$$

При этих условиях для двухфазной системы уравнение принимает вид:

$$(V_2 - V_1)dp = (S_2 - S_1)dT + \Sigma(X_{i2} - X_{i1})d\mu_i, \qquad (7)$$

где V и S – объем и энтропия 1 моля смеси; X – содержание любого компонента, выраженное в мольных долях.

Рассмотрим экстрагирование из частиц люпина подсырной сывороткой (система твердое тело–жидкость). В определенные моменты процесса может наступить состояние, близкое к равновесию. В условиях равновесия открытой системы концентрация экстрагента в парах приобретает постоянное значение, равное концентрации экстрагента в аппарате.

Запишем иное толкование равновесия: равновесие в рассматриваемой системе наступает тогда, когда химический потенциал растворенного вещества становится равным величине химического потенциала в исходном твердом материале.

Движущей силой процесса экстрагирования в системе твердое тело–жидкость является разность между концентрацией растворяющегося вещества у поверхности твердого тела C и его средней концентрацией C_0 в основной массе раствора. Концентрация на границе раздела фаз

обычно принимается равной концентрации насыщенного раствора $C_н$, поскольку вблизи поверхности твердого тела равновесие устанавливается довольно быстро. Тогда движущая сила процесса выражается как разность ($C_н$-C_0). Скорость процесса определяется по уравнению массоотдачи [2].

Изложенные выше рассуждения иллюстрируются рисунком 1. Кинетическая кривая, построенная в координатах $C(\tau)$, показывает изменение концентрации экстрагента во времени. В качестве экстрагента использовалась подсырная сыворотка, с целью извлечения целевых компонентов (белков) из сырья растительного происхождения – люпина, наложением низкочастотных механических колебаний [7].

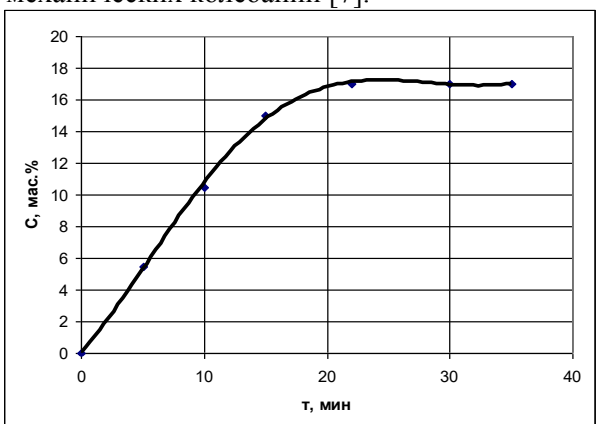


Рисунок 1. Кривая кинетики извлечения экстрактивных веществ из люпина подсырной сывороткой наложением низкочастотных механических колебаний: частота колебаний n = 10 кол/с; амплитуда колебаний A = 5,5 мм; температура t = 50 °С; форма тела – крупка

Figure 1. Kinetic curve of extraction of extractive substances from lupine with cheese whey by superimposing low-frequency mechanical vibrations: vibration frequency n = 10 count/s; vibration amplitude A = 5.5 mm; temperature t = 500 °C; body shape – grains

Низкочастотные механические колебания использовались как один из методов интенсификации экстрагирования. Процесс сокращался до 2,5 раз по сравнению с эстрагированием в плотном слое.

Фазовое равновесие в системе твердое тело–жидкость наступало через 18 минут (рисунок 1), то есть в частицах люпина и в подсырной сыворотке концентрации были равными. В данном случае условия устойчивости двухфазной системы выражаются равенствами (6).

Движущей силой процесса конвективной сушки является разность между равновесной и рабочей концентрациями сушильного агента. Она может быть также выражена разностью температур, парциальных давлений или энтальпий паро – газовой смеси в потоке и на поверхности материала.

Как отмечается в [4], вследствие выравнивания концентраций и температур в процессе сушки сила изменяется вдоль сушильного тракта, поэтому при расчете необходимо принимать среднее значение движущей силы Δ или выражать ее через число единиц переноса m.

В период внутреннего испарения температура центра образца материала повышается с течением времени, но немного медленнее, чем температура поверхности материала. Вследствие этого внутри материала возникает температурный градиент. Последний постепенно уменьшается и при достижении равновесного влагосодержания становится равным нулю. В равновесном состояния убыли влагосодержания не происходит, а температура материала равна температуре воздуха.

Движущая сила выражается также как разность парциальных давлений пара над поверхностью материала $p_м$ и превышающим его парциальное давление в воздухе или газе $p_п$, то есть при $p_м > p_п$.

В процессе сушки параметр $p_м$ уменьшается и приближается к пределу $p_м = p_п$. При этом наступает термодинамическое равновесие, которому соответствует предельное влагосодержание материала, то есть равновесное влагосодержание $u_р$. В свою очередь $u_р$ зависит от парциального давления водяного пара над материалом $p_п$ или пропорциональной ему параметру относительной влажности воздуха φ.

Характер изменения влагосодержаний в процессе сушки представлен на рисунке 2. Здесь $G_н$ – удельная нагрузка на опорно-газораспределительную решетку; $T_{гн}$ – температура воздуха начальная; $\varphi_н$ – относительная влажность воздуха; υ – скорость воздуха; u^*-критическое влагосодержание, кг воды/кг сухого материала; τ^* – продолжительность периода поверхостного испарения (первого периода сушки), мин.

Как показано на рисунке 2, когда влагосодержание материала, уменьшаясь при сушке, переходит через значение критического влагосодержания u^* (максимального гигроскопического состояния), начинается период внутреннего испарения – период падающей (убывающей) скорости сушки.

Второй период характеризуется тем, что возрастает внутридифффузионное сопротивление, поэтому количество влаги, подводимой к поверхности испарения, уменьшается и интенсивность процесса убывает. Температура материала, изменяясь во времени, непрерывно увеличивается от значения, равного температуре мокрого термометра, до температуры окружающего сушильного агента – при достижении материалом состояния, равновесного с состоянием воздуха. Равновесное состояние влажного воздуха и материала определяется

сопряженными значениями относительной влажности воздуха и равновесного влагосодержания материала.

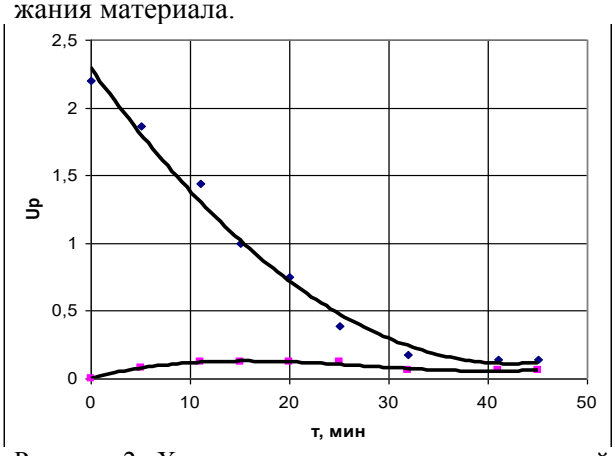


Рисунок 2. Характер изменения влагосодержаний $u(\tau)$ и $u_р(\tau)$ в процессе сушки хлебопекарных дрожжей в псевдоожиженном слое при начальных размерах гранул: диаметр 2 мм, длина 6 мм и параметрах процесса: $G_н$ = *45 кг/м*^{2}; $T_{гн}$ = 40 °С; $\varphi_н$ = 24 %; υ = 2,93 м/с; $T_н$ = 20 °С; 1 – $u(\tau)$; 2 – $u_р(\tau)$

Figure 2. The nature of the change in the moisture content $u(\tau)$ and $u_p(\tau)$ during the drying of baker's yeast in a fluidized bed with the initial size of the granules: diameter 2 mm, length 6 mm and process parameters: $G_н$ = *45 kg/m*^{2}; T_g = *400 °C;* $\varphi_н$ = *24%;* υ = *2.93 m/s;* $T_п$ = *200 °C;* 1 – $u(\tau)$; 2 – $u_p(\tau)$

При сушке термочувствительных материалов (система твердое тело–воздух) их конечное значение влагосодержания, всегда больше равновесного. В этом случае термодинамика неравновесной системы и ее устойчивость выражаются неравенством:

$$T_1 \neq T_2; p_1 \neq p_2; \mu_{i1} \neq \mu_{i2}, \qquad (8)$$

то есть температуры, давление и химические потенциалы фаз не равны между собой, равно как и их градиенты.

Заключение

При достижении экстрагированием фазового равновесия система характеризуется как равновесная и устойчивая. Решается важная технологическая задача: максимальное извлечение из твердого тела целевых компонентов.

При сушке термолабильных материалов система твердое тело–воздух является неравновесной и неустойчивой. Специфика сушки термочувствительных материалов имеет непосредственное отношение к задаче получения необходимых наилучших технологических свойств гороховых продуктов.

Литература

1 Праздникова Е.М. Исследование процесса твердофазной экстракции в лабораторном экстракторе-центрифуге // Результаты современных научных исследований и разработок. 2019. С. 30-33.

2 Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи). ХИМИЗДАТ, 2017. С. 544-544.

3 Кудинов В. А., Карташов Э. М., Стефанюк Е. В. Техническая термодинамика и теплопередача. М.: Юрайт. 2011.

4 Подгорный С.А., Кошевой Е.П., Косачев В.С. Термодинамический подход в теории сушки // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2015. №. 4. С. 88-91.

5 Подгорный С.А. и др. Постановка задачи описания переноса тепла, массы и давления при сушке // Новые технологии. 2014. № 3.

6 Каданов Л., Бейм Г. Квантовая статистическая механика. Рипол Классик, 2013.

7 Шишацкий Ю.И., Никель С.А., Буданов А.В., Власов Ю.Н. Влияние наложения низкочастотных механических колебаний на эффективность экстрагирования // Вестник ВГУИТ. 2018. Т.80. № 1. С. 25–29. doi: 10.20914/2310-1202-2018-1-25-29

8 Qasem N.A.A. et al. The impact of thermodynamic potentials on the design of electrodialysis desalination plants // Energy Conversion and Management. 2020. V. 205. P. 112448. doi: 10.1016/j.enconman.2019.112448

9 Amaku M., Coutinho F.A.B., Oliveira L.N. Thermodynamic Potentials and Natural Variables // Revista Brasileira de Ensino de Física. 2020. V. 42. doi: 10.1590/1806-9126-rbef-2019-0127

10 Hyeon C., Hwang W. Physical insight into the thermodynamic uncertainty relation using Brownian motion in tilted periodic potentials // Physical Review E. 2017. V. 96. № 1. P. 012156. doi: 10.1103/PhysRevE.96.012156

11 Solon A.P., Stenhammar J., Cates M.E., Kafri Y. et al. Generalized thermodynamics of motility-induced phase separation: phase equilibria, Laplace pressure, and change of ensembles // New Journal of Physics. 2018. V. 20. № 7. P. 075001.

12 Hansen F.A., Pedersen-Bjergaard S. Emerging extraction strategies in analytical chemistry // Analytical chemistry. 2019. V. 92. № 1. P. 2-15. doi: 10.1021/acs.analchem.9b04677

13 Zhang Q.W., Lin L.G., Ye W.C. Techniques for extraction and isolation of natural products: A comprehensive review // Chinese medicine. 2018. V. 13. № 1. P. 1-26. doi: 10.1186/s13020-018-0177-x

14 Saini R.K., Keum Y.S. Carotenoid extraction methods: A review of recent developments // Food chemistry. 2018. V. 240. P. 90-103. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.07.099

15 Armenta S. et al. Green extraction techniques in green analytical chemistry // TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2019. V. 116. P. 248-253. doi: 10.1016/j.trac.2019.03.016

16 Bleakley S., Hayes M. Algal proteins: extraction, application, and challenges concerning production // Foods. 2017. V. 6. № 5. P. 33. doi: 10.3390/foods6050033

17 Anjomshoae S.T., Rahim M.S.B.M. Feature extraction of overlapping hevea leaves: A comparative study // Information processing in agriculture. 2018. V. 5. № 2. P. 234-245. doi: 10.1016/j.inpa.2018.02.001

18 Veneziani G. et al. Extra-virgin olive oil extracted using pulsed electric field technology: Cultivar impact on oil yield and quality // Frontiers in nutrition. 2019. V. 6. P. 134. doi: 10.3389/fnut.2019.00134

19 Deflaoui L., Setyaningsih W., Palma M., Mekhoukhe A. et al. Phenolic compounds in olive oil by solid phase extraction–Ultra performance liquid chromatography–Photodiode array detection for varietal characterization // Arabian Journal of Chemistry. 2021. V. 14. № 4. P. 103102. doi: 10.1016/j.arabjc.2021.103102

20 Hewavitharana G.G. Perera D.N., Navaratne S.B., Wickramasinghe I. Extraction methods of fat from food samples and preparation of fatty acid methyl esters for gas chromatography: A review // Arabian J. Chem. 2020. V. 13. № 8. P. 6865-6875. doi: 10.1016/j.arabjc.2020.06.039

References

1 Prazdnikova E.M. Investigation of the process of solid-phase extraction in a laboratory extractor-centrifuge. Results of modern research and development. 2019. pp. 30-33. (in Russian).

2 Romankov P.G., Frolov V.F., Flisyuk O.M. Methods for calculating processes and devices of chemical technology (examples and tasks). KHIMIZDAT, 2017. 544 p. (in Russian).

3 Kudinov V. A., Kartashov E. M., Stefanyuk E. V. Technical thermodynamics and heat transfer. Moscow, Yurayt. 2011. (in Russian).

4 Podgorny S.A., Koshevoy E.P., Kosachev V.S. Thermodynamic approach in the theory of drying. News of higher educational institutions. Food technology. 2015. no. 4. pp. 88-91. (in Russian).

5 Podgorny S.A. et al. Formulation of the problem of describing the transfer of heat, mass and pressure during drying. New technologies. 2014. no. 3. (in Russian).

6 Kadanov L., Beim G. Quantum Statistical Mechanics. Ripol Classic, 2013. (in Russian).

7 Shishatsky Yu.I., Nickel S.A., Budanov A.V., Vlasov Yu.N. Influence of superposition of low-frequency mechanical vibrations on the extraction efficiency. Proceedings of VSUET. 2018. vol. 80. no. 1. pp. 25–29. doi: 10.20914/2310-1202-2018-1-25-29 (in Russian).

8 Qasem N.A.A. et al. The impact of thermodynamic potentials on the design of electrodialysis desalination plants. Energy Conversion and Management. 2020. vol. 205. pp. 112448. doi: 10.1016/j.enconman.2019.112448

9 Amaku M., Coutinho F.A.B., Oliveira L.N. Thermodynamic Potentials and Natural Variables. Revista Brasileira de Ensino de Física. 2020. vol. 42. doi: 10.1590/1806-9126-rbef-2019-0127

10 Hyeon C., Hwang W. Physical insight into the thermodynamic uncertainty relation using Brownian motion in tilted periodic potentials. Physical Review E. 2017. vol. 96. no. 1. pp. 012156. doi: 10.1103/PhysRevE.96.012156

11 Solon A.P., Stenhammar J., Cates M.E., Kafri Y. et al. Generalized thermodynamics of motility-induced phase separation: phase equilibria, Laplace pressure, and change of ensembles. New Journal of Physics. 2018. vol. 20. no. 7. pp. 075001.

12 Hansen F.A., Pedersen-Bjergaard S. Emerging extraction strategies in analytical chemistry. Analytical chemistry. 2019. vol. 92. no. 1. pp. 2-15. doi: 10.1021/acs.analchem.9b04677

13 Zhang Q.W., Lin L.G., Ye W.C. Techniques for extraction and isolation of natural products: A comprehensive review. Chinese medicine. 2018. vol. 13. no. 1. pp. 1-26. doi: 10.1186/s13020-018-0177-x

14 Saini R.K., Keum Y.S. Carotenoid extraction methods: A review of recent developments. Food chemistry. 2018. vol. 240. pp. 90-103. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.07.099

15 Armenta S. et al. Green extraction techniques in green analytical chemistry. TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2019. vol. 116. pp. 248-253. doi: 10.1016/j.trac.2019.03.016

16 Bleakley S., Hayes M. Algal proteins: extraction, application, and challenges concerning production. Foods. 2017. vol. 6. no. 5. pp. 33. doi: 10.3390/foods6050033

17 Anjomshoae S.T., Rahim M.S.B.M. Feature extraction of overlapping hevea leaves: A comparative study. Information processing in agriculture. 2018. vol. 5. no. 2. pp. 234-245. doi: 10.1016/j.inpa.2018.02.001

18 Veneziani G. et al. Extra-virgin olive oil extracted using pulsed electric field technology: Cultivar impact on oil yield and quality. Frontiers in nutrition. 2019. vol. 6. pp. 134. doi: 10.3389/fnut.2019.00134

19 Deflaoui L., Setyaningsih W., Palma M., Mekhoukhe A. et al. Phenolic compounds in olive oil by solid phase extraction–Ultra performance liquid chromatography–Photodiode array detection for varietal characterization. Arabian Journal of Chemistry. 2021. vol. 14. no. 4. pp. 103102. doi: 10.1016/j.arabjc.2021.103102

20 Hewavitharana G.G., Perera D.N., Navaratne S.B., Wickramasinghe I. Extraction methods of fat from food samples and preparation of fatty acid methyl esters for gas chromatography: A review. Arabian J. Chem. 2020. vol. 13. no. 8. pp. 6865-6875. doi: 10.1016/j.arabjc.2020.06.039

Сведения об авторах

Юлиан И. Шишацкий д.т.н., профессор, кафедра физики, теплотехники и теплоэнергетики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Information about authors

Yulian I. Shishatskii Dr. Sci. (Engin.), professor, physics, heatengineering and heat power engineering department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Анна А. Дерканосова к.т.н., доцент, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, А пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, aa-derk@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-9726-9262

Сергей А. Толстов к.т.н., доцент, кафедра авиационных двигателей, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54 «А», г. Воронеж, 394064, Россия, serezha.tolstoff@ya.ru

Anna A. Derkanosova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, aa-derk@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-9726-9262

Sergey A. Tolstov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Department of Aircraft Engines, Military Training and Research Center of the Air Force Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», 54 "A" Starykh Bolshevikov str., Voronezh, 394064, Russia, serezha.tolstoff@ya.ru

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 14/01/2021	**После редакции** 19/02/2021	**Принята в печать** 03/03/2021

Received 14/01/2021	**Accepted in revised** 19/02/2021	**Accepted** 03/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-36-43 Оригинальная статья/Research article
УДК 66.06 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Математическая модель процесса ультрафильтрационного концентрирования вторичного молочного сырья в трубчатом мембранных аппаратах с фильтрующими элементами типа БТУ 05/2

Дмитрий А. Родионов [1] dimok-407@mail.ru 0000-0001-6686-2007
Сергей И. Лазарев [1] sergey.lazarev.1962@mail.ru 0000-0003-0746-5161
Дмитрий Н. Протасов [1] dnprotasov.75@mail.ru 0000-0002-6779-316X
Олег А. Абоносимов [1] abontam@inbox.ru 0000-0002-5105-7782
Константин К. Полянский [2] kaf-kit@vfreu.ru 0000-0003-0617-3271

1 Тамбовский Государственный Технический Университет, ул. Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия
2 Воронежский филиал РЭУ им. Г. В. Плеханова, г. Воронеж, 394000, Россия

Аннотация. Для качественного применения ультрафильтрационных процессов концентрирования и очистки пищевых растворов требуется как экспериментальные исследования, так и математическое описание процессов мембранного процесса разделения растворов с позиций разработке расчетных математических моделей. В данной работе путем аналитического решения уравнений, то есть методом конечных разностей решены математические уравнения. Для получения системы, решались уравнения неразрывности потока, уравнения конвективной диффузии, уравнений Навье-Стокса и уравнения расхода с граничными условиями с целью построения математической модели процесса ультрафильтрационного концентрирования белка в подсырной сыворотки при производстве сычужных сыров. В результате аналитического решения уравнений получена система математических уравнений, позволяющих строить профиль изменения скоростей течения раствора по сечению межмембранного канала и определять концентрацию белка в подсырной сыворотке по длине трубчатого ультрафильтрационного элемента БТУ 05/2 промышленного типа. Полученная математическая модель позволяет теоретически описывает процесс ультрафильтрационного концентрирования белка в подсырной сыворотке по всей длине мембранного канала трубчатого элемента при ламинарном и переходном режимах течения раствора. Полученная система математических уравнений позволяет находить численные значения массового расхода подсырной сыворотки, дают возможность рассчитать удельный выходной поток при изменении трансмембранного давления и рассчитывать концентрации растворенных веществ во вторичном молочном сырье на левой и правой ультрафильтрационной мембране межмембранного канала. Проведена адекватность разработанной математической модели путем сравнения расчетных и экспериментальных данных по удельному выходному потоку при изменении трансмембранного давления в межмембранном канале от 0,1 до 0.25 МПа при ультрафильтрационном концентрировании подсырной сыворотке. Отклонение расчетных данных найденных по математической модели от экспериментальных исследований, полученных на полупромышленной ультрафильтрационной установке трубчатого типа БТУ 05/2 с применением полупроницаемых мембран, у которых активный слой выполнен из фторопласта, полусульфоона и полиэфирсульфона, не превышало 10%.

Ключевые слова: математическая модель, мембрана, ультрафильтрация, адекватность модели, молочное сырье, подсырная сыворотка

Mathematical model of the process of ultrafiltration concentration of secondary milk raw materials in tubular membrane devices with filtering elements of BTU 05/2 type

Dmitriy A. Rodionov [1] dimok-407@mail.ru 0000-0001-6686-2007
Sergei I. Lazarev [1] sergey.lazarev.1962@mail.ru 0000-0003-0746-5161
Dmitriy N. Protasov [1] dnprotasov.75@mail.ru 0000-0002-6779-316X
Oleg A. Abonosimov [1] abontam@inbox.ru 0000-0002-5105-7782
Konstantin K. Polyansky [2] kaf-kit@vfreu.ru 0000-0003-0617-3271

1 Tambov State Technical University, Sovetskaya., 106 Tambov, 392000, Russia
2 Voronezh branch of REU named after G.V. Plekhanov, st. Karl Marx, 67A, Voronezh, 394000, Russia

Abstract. For the qualitative application of ultrafiltration processes for the concentration and purification of food solutions, both experimental studies and a mathematical description of the processes of the membrane separation process of solutions from the standpoint of the development of computational mathematical models are required. In this work, by analytical solution of equations, that is, by the method of finite differences, mathematical equations are solved. To obtain the system, the flow continuity equations, convective diffusion equations, Navier-Stokes equations and flow equations with boundary conditions were solved in order to build a mathematical model of the process of ultrafiltration protein concentration in cheese whey in the production of rennet cheeses. As a result of the analytical solution of the equations, a system of mathematical equations was obtained that allows one to construct a profile of changes in the flow rates of the solution along the cross-section of the intermembrane channel and to determine the protein concentration in cheese whey along the length of the tubular ultrafiltration element BTU 05/2 of industrial type. The obtained mathematical model makes it possible to theoretically describe the process of ultrafiltration protein concentration in cheese whey along the entire length of the membrane channel of the tubular element under laminar and transient regimes of solution flow. The resulting system of mathematical equations makes it possible to find the numerical values of the mass flow rate of cheese whey, make it possible to calculate the specific output flow when the transmembrane pressure changes and to calculate the concentration of solutes in the secondary milk raw materials on the left and right ultrafiltration membrane of the intermembrane channel. The adequacy of the developed mathematical model was carried out by comparing the calculated and experimental data on the specific output flow when the transmembrane pressure in the intermembrane channel changes from 0.1 to 0.25 MPa with ultrafiltration concentration of cheese whey. The deviation of the calculated data found by the mathematical model from experimental studies obtained on a semi-industrial tubular ultrafiltration plant BTU 05/2 using semipermeable membranes, in which the active layer is made of fluoroplastic, hemisulphone and polyethersulfone, did not exceed 10%.

Keywords: mathematical model, membrane, ultrafiltration, model adequacy, raw milk, cheese whey

Для цитирования
Родионов Д.А., Лазарев С.И., Протасов Д.Н., Абоносимов О.А., Полянский К.К. Математическая модель процесса ультрафильтрационного концентрирования вторичного молочного сырья в трубчатом мембранных аппаратах с фильтрующими элементами типа БТУ 05/2 // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 36–43. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-36-43

For citation
Rodionov D.A., Lazarev S.I., Protasov D.N., Abonosimov O.A., Polyansky K.K. Mathematical model of the process of ultrafiltration concentration of secondary milk raw materials in tubular membrane devices with filtering elements of BTU 05/2 type. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 36–43. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-36-43

© 2021, Родионов Д.А. и др. / Rodionov D.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Рассматривается задача оптимального планирования проекта. Для управления техническими системами и технологическими процессами применяются методы математического моделирования и оптимизации технологических процессов производства. При построении системы автоматического управления мембранным процессом рекомендуется использовать усовершенствованную математическую модель, позволяющую прогнозировать параметры мембранного разделения.

В работе [1] авторы описывают процесс ультрафильтрации молочной сыворотки для выделения белков с раздельным отводом части потока концентрата и математические модели этого процесса. Приведена формула расчета коэффициента обогащения концентрата. Построена математическая модель процесса уменьшения производительности мембраны из-за блокирования пор сгустками геля.

Авторами [2], на основе балансных соотношений разработана эмпирическая модель процесса ультрафильтрационного концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки с учетом величины осмотического давления вторичного раствора молочной сыворотки, позволяющая рассчитывать значения концентрации и объемы пермеата и ретентата в промежуточных камерах и на выходе из плоскокамерного ультрафильтрационного аппарата.

Для описания процесса ультрафильтрации с учетом гелеобразования в условиях периодической очистки мембраны авторы [3] Строили математическую модель следующим образом: 1) толщина образующегося слоя геля δ считается постоянной вдоль мембраны и меняется только с течением времени; 2) свойства геля считаются постоянными; 3) количество пор мембраны, засоряемых за время dt, пропорционально плотности потока; 4) Механическая очистка поверхности мембраны приводит как к частичному удалению слоя геля, так и к частичной очистке пор мембраны; 5) время, затрачиваемое на очистку поверхности мембраны, не учитывается; считается, что изменение характеристик процесса, связанное с очисткой, происходит скачкообразно.

Авторами [4] разработана математическая модель процесса электрогиперфильтрационного разделения промышленных растворов, позволяющая рассчитывать объемные расходы ретентата, а следовательно, и пермеата, по камерам и текущий объем раствора в промежуточной емкости.

В своей работе [5] авторами представлена математическая модель массопереноса многокомпонентных растворов в баромембранных аппаратах рулонного типа. Результатом полученной математической модели является распределение полей концентраций веществ в межмембранном канале.

При моделировании процесса мембранного концентрирования белков молочного сырья авторы [6] Пришли к следующим выводам увеличение концентрации раствора до наибольшего значения состоит в увеличении скорости отвода растворителя, что можно гарантировать только при стабильно высокой селективности мембраны. На практике выполнения этого условия добиться достаточно тяжело, что объясняется наличием концентрационной поляризации, которая начинает проявлять свое негативное влияние достаточно быстро при концентрировании растворов высокомолекулярных соединений. Таким образом, значения параметров β1, β2 зависят от вида и конструктивных особенностей оборудования, а также селективности мембраны в нем.

Авторы в работе [7] предложили математическую модель плоского обратноосмотического канала с двумя полупроницаемыми стенками. В своей работе решают взаимосвязанные системы уравнений, включающая уравнения гидродинамики и конвективной диффузии с соответствующими граничными условиями. Получили распределение скоростей и концентраций растворенного вещества по длине и высоте межмембранного канала. Показали возрастание концентрации в примембранной области по длине межмембранного канала. Авторами проведена проверка адекватности математической модели.

Для прогнозирования процессов разделения эмульсий, выбора оптимальных условий проведения этих процессов необходимы соответствующие математические описания. В связи с этими авторами [8] разработана комбинированная краевая задача для непрерывного процесса конвективной диффузии в пространстве между непроницаемой стенкой и мембраной и молекулярной диффузии в мембране в виде аналитического решения соответствующей системы дифференциальных уравнений нестационарной диффузии для переноса вещества в движущейся жидкости и в мембране, обеспечивающей из-за своих свойств селективной проницаемости разделение веществ.

В работе [9] авторами Получены зависимости для описания работы мембранного модуля. С использованием полученных зависимостей про – ведено сравнение противоточной и прямоточной схем контактирования. При достаточно

длинных мембранах различие между схемами контактирования незначительно.

Авторами [10] представлена математическая модель, учитывающая эффекты температурной и концентрационной поляризаций, депрессию пара над раствором. Для пленочных мембран МФФК2, МФФК3, МФФК4 экспериментально определен и проанализирован коэффициент паропроводности. Получены уравнения для расчета температур горячей и холодной поверхностей мембраны, необходимые для определения эффекта температурной поляризации. Предложено модифицированное уравнение паропроводности, с выделением эффекта депрессии пара над раствором и концентрационной поляризации. Для мембранной дистилляции морской воды экспериментально определен и проанализирован параметр, отражающий данный эффект. Разработана методика инженерного расчета мембранно-дистилляционного аппарата.

Автором в работе [11] предлагается модель для расчета концентраций кубовых красителей в разделяемой сточной воде в зависимости от увеличения сопротивления и слоя геля. Результаты экспериментальных данных и расчетных значений имеют отклонение в пределах 2,7–3,1 %.

В работе [12] Предложена новая модель процесса мембранного концентрирования, дополненная не учтенными ранее входными воздействиями, возмущающими воздействиями, выходными параметрами и обратной связью. Это позволяет оперативно вносить необходимые изменения в значения возмущающих воздействий в результате несоответствия полученных значений выходных параметров диапазонам допустимых значений параметров, либо приближения к границам этих диапазонов. Проведен анализ дальнейших перспектив развития математического моделирования мембранных процессов с использованием элементов теории автоматического управления.

Авторами [13] предложена методика моделирования процессов мембранного концентрирования жидких пищевых сред на основе передаточных функций. Проведена структурная и параметрическая идентификация модели процесса концентрирования в мембранном аппарате с отводом примембранного пограничного слоя. Экспериментально подтверждена адекватность модели.

В работе [14] предложена математическая модель процесса мембранного концентрирования молочных сред в ультрафильтрационном аппарате с отводом поляризационного слоя, разработанная на основе методов информационного моделирования и методики, включающей: анализ процесса как объекта моделирования и выявление основных входных и выходных параметров объекта, выбор вида входных воздействий, структурную идентификацию объекта моделирования, выбор критерия близости (функции невязки), определение значений параметров модели (параметрическую идентификацию), проверку адекватности и непротиворечивости модели. Описаны устройство и принцип работы ультрафильтрационного аппарата с отводом поляризационного слоя. Математическая модель процесса мембранного концентрирования реализована программными средствами. Приведены результаты оценки адекватности и непротиворечивости модели экспериментальным данным, на основе которых сделаны выводы о точности математической модели.

Математическое описание мембранных процессов разделения, рассмотренных в работах [1–20], не полностью учитывает кинетику мембранного процесса, включающую диффузионные, осмотические и гидродинамические процессы. Поэтому целью данной работы является, разработать математическую модель, основанную на решении уравнений конвективной диффузии, на основе уравнения Навье-Стокса и уравнения неразрывности потока. Проверить адекватность разработанной математической модели путем сравнения расчетных и экспериментальных данных по кинетическим зависимостям.

Результаты и обсуждение

Математическая запись задачи:

$$\frac{\partial U}{\partial x}+\frac{\partial V}{\partial y}=0; \qquad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial \tau}+U\frac{\partial U}{\partial x}+V\frac{\partial U}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}+\nu\left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}\right); \qquad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial \tau}+U\frac{\partial V}{\partial x}+V\frac{\partial V}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y}+\nu\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 V}{\partial y^2}\right); \qquad (3)$$

$$U\frac{\partial C}{\partial x}+V\frac{\partial C}{\partial y}=D\frac{\partial^2 C}{\partial y^2}. \qquad (4)$$

Начальные условия:

$$C(0,y)=C_{исх}. \qquad (5)$$

Граничные условия для уравнений гидродинамики:

$$U(x,+R)=0;\ U(x,-R)=0. \qquad (6)$$

Граничные условия с учетом модифицированного выражения для уравнения конвективной диффузии, скорость фильтрации:

$$\left(1+\left(\frac{1}{k_1\cdot\varepsilon}-1\right)\left[1-exp\,J\left(-\frac{k_2}{D_o\cdot}-k_3\right)\right]\right)^{-1}\times$$
$$\times C(x,R)\cdot V(x,R)=D\frac{\partial C(x,R)}{\partial y}; \qquad (7)$$

$$\left(1+\left(\frac{1}{k_1\cdot\varepsilon}-1\right)\left[1-\exp J\left(-\frac{k_2}{D_o\cdot}-k_3\right)\right]\right)^{-1}\times$$
$$\times C(x,-R)\cdot V(x,-R)=D\frac{\partial C(x,-R)}{\partial y} \quad (8)$$

Рассмотрим решения уравнений гидродинамики:

$$\frac{\partial U}{\partial\tau}+U\frac{\partial U}{\partial x}+V\frac{\partial U}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}+\nu\left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}\right); \quad (9)$$

$$\frac{\partial V}{\partial\tau}+U\frac{\partial V}{\partial x}+V\frac{\partial V}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y}+\nu\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 V}{\partial y^2}\right); \quad (10)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x}+\frac{\partial V}{\partial y}=0. \quad (11)$$

Так как мы рассматриваем стационарный процесс, то можно записать

$$\frac{\partial U}{\partial\tau}+\frac{\partial V}{\partial\tau}=0. \quad (12)$$

Тогда система уравнений примет вид:

$$U\frac{\partial U}{\partial x}+V\frac{\partial U}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}+\nu\left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}\right); \quad (13)$$

$$U\frac{\partial V}{\partial x}+V\frac{\partial V}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y}+\nu\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 V}{\partial y^2}\right); \quad (14)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x}+\frac{\partial V}{\partial y}=0. \quad (15)$$

По высоте в сечении канала давление не изменяется, то есть

$$\frac{\partial P}{\partial y}=0 \quad (16)$$

В итоге система уравнений гидродинамики имеет вид:

$$U\frac{\partial U}{\partial x}+V\frac{\partial U}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}+\nu\left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}\right); \quad (17)$$

$$\frac{\partial V}{\partial\tau}+U\frac{\partial V}{\partial x}+V\frac{\partial V}{\partial y}=\nu\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 V}{\partial y^2}\right); \quad (18)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x}+\frac{\partial V}{\partial y}=0. \quad (19)$$

Уравнений гидродинамики примет вид:

$$\nu\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}=\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}. \quad (20)$$

Граничные условия:

$$U(x, R)=0;\ U(x, -R)=0. \quad (21)$$

Решать данное уравнение будем относительно *P=f(x)*, т. к. давление изменяется только вдоль канала.

Тогда, учитывая, что $\mu=\nu\cdot\rho$, имеем:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}=\frac{1}{\mu}\frac{\partial P}{\partial x}; \quad (22)$$

$$\frac{\partial U}{\partial y}=\frac{1}{\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)y+C_1; \quad (23)$$

$$U=\frac{1}{2\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)y^2+C_1y+C_2; \quad (24)$$

где C_1, C_2 – постоянные интегрирования.

Найдем C_1 и C_2 из уравнений (23–24):

$$U(x,R)=\frac{1}{2\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)R^2+C_1R+C_2 \quad (25)$$

$$U(x,R)=\frac{1}{2\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)R^2+C_1R+C_2=0; \quad (26)$$

$$U(x,-R)=\frac{1}{2\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)R^2-C_1R+C_2=0; \quad (27)$$

$$\frac{1}{\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)R^2+2C_2=0; \quad (28)$$

$$C_2=-\frac{1}{2\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)R^2; \quad (29)$$

$$-\frac{1}{2\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)R^2+\frac{1}{2\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)R^2+C_1R=0; \quad (30)$$

$$C_1=0. \quad (31)$$

Интегрируя по *dx* и подставляя значения граничных условий *U(x, R)=0, U(x, – R)*=0 получим решение данного дифференциального уравнения в виде:

$$U(x,y)=\frac{1}{2\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)y^2-\frac{1}{2\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)R^2; \quad (32)$$

или

$$U(x,R)=\frac{1}{2\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)\left(R^2-y^2\right); \quad (33)$$

Далее определим расход жидкости через канал как:

$$Q=b\int_{-R}^{R}U(x,R)=$$
$$=-b\int_{-R}^{R}\frac{1}{2\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)\left(R^2-y^2\right)dy= \quad (34)$$
$$=-\frac{b}{2\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)\int_{-R}^{R}\left(R^2-y^2\right)dy$$

$$Q=\frac{b}{2\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)\left(R^2y-\frac{y^3}{3}\right)\Bigg|_{-R}^{+R}=$$
$$=-\frac{b}{2\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)\left[R^3-\frac{R^3}{3}+R^3-\frac{R^3}{3}\right] \quad (35)$$

$$Q=-\frac{2bR^3}{3\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right), \quad (36)$$

где *b* высота межмембранного канала.

Рассматриваем дифференциальное уравнение для водопроницаемости с учетом осмотического потока (рисунок 1):

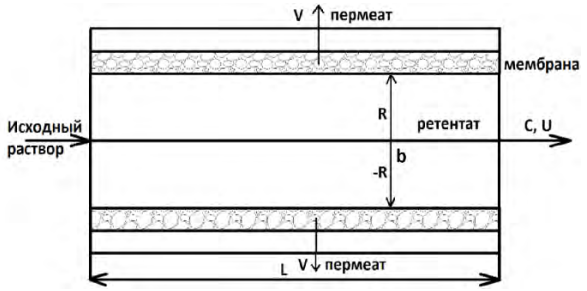


Рисунок 1. Схема основных потоков в баромембранном процессе
Figure 1. Diagram of the main flows in the baromembrane process

Тогда

$$J = \kappa \cdot \left(\Delta P - \Delta V_p\right) = \kappa \cdot \left(P_0 - P\left(x\right) - \Delta\pi\right), \quad (37)$$

где J – выходной удельный поток; k – эмпирические коэффициенты; ΔP – перепад рабочего давления в межмембранном канале до и после мембраны; ΔV_p – удельный поток растворителя за счет перепада давления до и после мембраны, которые определяются по следующей зависимости.

$$\Delta V_p = B \cdot \exp(n \cdot \Delta C) \cdot \exp\left(\frac{A}{T}\right). \quad (38)$$

Тогда дифференциальное уравнение для изменения расхода в межмембранном канале с учетом осмотического потока:

$$Q_{x+dx} - Q_x = dQ = bJdx \quad (39)$$

Отсюда получаем:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = -b \cdot J \quad (40)$$

Приравняем уравнения для расходов (36) и (40) получим:

$$-\frac{2bR^3}{3\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right) = -b \cdot J \quad (41)$$

Граничные условия:

$$\Delta P\left(0\right) = \Delta P_0; \quad (42)$$

$$\Delta P\left(L\right) = \Delta P_\kappa; \quad (43)$$

Далее, обозначив $3\mu/2R^3 = a$ и $3\mu J/2R^3 = \varpi$, получим дифференциальное уравнение для перепада давления в виде:

$$\frac{\partial^2 \Delta P}{\partial x^2} - a\Delta P + \varpi = 0 \quad (44)$$

Решение данного дифференциального уравнения в общем виде будет:

$$P \rightleftarrows \left(x\right) = C_1 \cdot e^{\sqrt{a}\cdot x} + C_2 \cdot e^{-\sqrt{a}\cdot x} + \frac{\varpi}{a} \quad (45)$$

Найдем постоянные интегрирования C_1 и C_2 в начальный $P\left(0\right) = P_0$

И конечный момент

$$P\left(L\right) = P_k \quad (46)$$

$$P_0 = C_1 \cdot e^0 + C_2 \cdot e^0 + \frac{\varpi}{a} \quad (47)$$

$$P_0 = C_1 + C_2 + \frac{\varpi}{a}) \quad (48)$$

$$C_2 = P_0 - C_1 - \frac{\varpi}{a} \quad (49)$$

$$P_\kappa = C_1 \cdot e^{\sqrt{a}\cdot L} + C_2 \cdot e^{-\sqrt{a}\cdot L} + \frac{\varpi}{a}. \quad (50)$$

$$P_\kappa = C_1 \cdot e^{\sqrt{a}\cdot L} + \left(\mathrm{P}_0 - C_1 - \frac{\varpi}{a}\right) \cdot e^{-\sqrt{a}\cdot L} \quad (51)$$

$$P_\kappa = C_1 \cdot e^{\sqrt{a}\cdot L} + \mathrm{P}_0 \cdot e^{-\sqrt{a}\cdot L} - \\ -C_1 \cdot e^{-\sqrt{a}\cdot L} - \frac{\varpi}{a} e^{-\sqrt{a}\cdot L} \quad (52)$$

$$C_1 = \frac{\mathrm{P}_K - \mathrm{P}_0 \cdot e^{-\sqrt{a}\cdot L} + \frac{\varpi}{a} e^{-\sqrt{a}\cdot L}}{e^{\sqrt{a}\cdot L} - e^{-\sqrt{a}\cdot L}} \quad (53)$$

$$C_2 = P_0 - \frac{\mathrm{P}_K - \mathrm{P}_0 \cdot e^{-\sqrt{a}\cdot L} + \frac{\varpi}{a} e^{-\sqrt{a}\cdot L}}{e^{\sqrt{a}\cdot L} - e^{-\sqrt{a}\cdot L}} - \frac{\varpi}{a} \quad (54)$$

Подставим найденные C_1 и C_2 в (45) и получим выражение для расчета давления по длине канала:

$$\mathrm{P}\left(x\right) = \frac{\mathrm{P}_K - \mathrm{P}_0 \cdot e^{-\sqrt{a}\cdot L} + \frac{\varpi}{a} e^{-\sqrt{a}\cdot L}}{e^{\sqrt{a}\cdot L} - e^{-\sqrt{a}\cdot L}} \cdot e^{\sqrt{a}\cdot x} + \\ + \left(P_0 - \frac{\mathrm{P}_K - \mathrm{P}_0 \cdot e^{-\sqrt{a}\cdot L} + \frac{\varpi}{a} e^{-\sqrt{a}\cdot L}}{e^{\sqrt{a}\cdot L} - e^{-\sqrt{a}\cdot L}} - \frac{\varpi}{a}\right) \cdot e^{-\sqrt{a}\cdot x} \quad (55)$$

Подставив найденные значения давления в межмембранном канале в формулы для проницаемости мембран (55), рассчитаем значение продольной составляющей скорости потока.

Подставим найденные значения $P = f\left(x\right)$ в уравнения для определения продольной (37) и поперечной скоростей (34), обозначив $f_1\left(x\right) = \kappa \cdot \left(\Delta P - \Delta\pi\right)$ и $f_2\left(x,y\right) = \left(2\mu\right)^{-1}\left(\partial P/\partial x\right)\left(R^2 - y^2\right)$, получим следующую систему уравнений, решением которой является распределение поля концентрации вещества в межмембранном канале:

$$f_2\left(x,y\right)\frac{\partial C}{\partial x} + f_1\left(x\right)\frac{\partial C}{\partial y} = D\frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \quad (56)$$

$$C\left(0,y\right) = C_{исх}; \quad (57)$$

$$\left(1 + \left(\frac{1}{k_1 \cdot \varepsilon} - 1\right)\left[1 - exp\,J\left(-\frac{k_2}{D_o \cdot} - k_3\right)\right]\right)^{-1} \times \\ \times C\left(x,R\right) \cdot f_1\left(x\right) = D\frac{\partial C\left(x,R\right)}{\partial y}; \quad (58)$$

$$\left(1+\left(\frac{1}{k_1\cdot\varepsilon}-1\right)\left[1-\exp J\left(-\frac{k_2}{D_o\cdot}-k_3\right)\right]\right)^{-1}\times$$
$$\times C(x,-R)\cdot f_2(x)=D\frac{\partial C(x,-R)}{\partial y} \quad ; (59)$$

Для проверки адекватности математической мы сравнивали экспериментальные данные с теоретическими результаты экспериментальных данных представлены на рисунке 2.

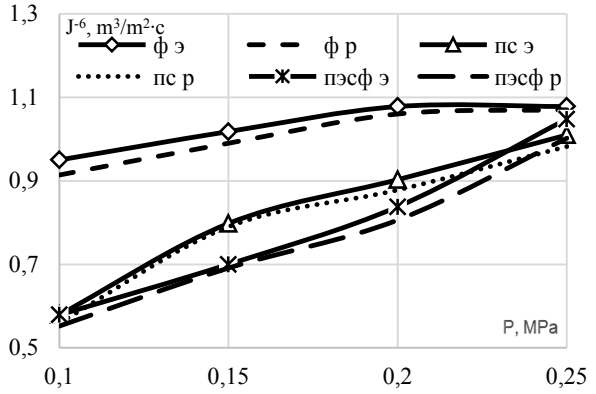


Рисунок 2. Кинетические зависимости выходного удельного потока от трансмембранного давления для ультрафильтрационных мембранам типа БТУ05/2 с материалом активного слоя Фторопласт (Ф), Полисульфон (ПС), Полиэфирсульфон (ПЭСФ)

Figure 2. Kinetic dependences of the output specific flux on the transmembrane pressure for ultrafiltration membranes of BTU05 / 2 type with the material of the active layer Ftoroplast (F), Polysulfon (PS), Polyethersulfone (PESF)

Проверка адекватности предложенной математической модели проводилась средствами имитационного моделирования в PTC Mathcad. Реализующая расчет основных характеристик ультрафильтрационного процесса концентрирования подсырной сыворотки. В PTC Mathcad были заданы параметры и условия ультрафильтрационных процессов, реализованных ранее в лабораторных условиях. Полученные экспериментальные значения выходного удельного потока от трансмембранного давления для ультрафильтрационных мембранам типа БТУ05/2 с мембранами из фторопласта (Ф), полисульфона (ПС) и полиэфирсульфон (ПЭСФ) были сопоставлены с результатами расчета (рисунок 2).

Заключение

Решение математической модели в системе PTC Mathcad показало высокий показатель сходимости, отклонения расчетных данных от экспериментальных не превышало 10% что является оптимальным показателем для инженерных расчетов.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20–38–90036.

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 20–38–90036.

Литература

1 Worsztynowicz P., Białas W., Grajek W. Integrated approach for obtaining bioactive peptides from whey proteins hydrolysed using a new proteolytic lactic acid bacteria // Food chemistry. 2020. V. 312. P. 126035. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.126035

2 Лазарев С.И. и др. Эмпирическая модель ультрафильтрационного концентрирования белка в подсырной сыворотке // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2016. Т. 21. №. 2. С. 655–660. doi: 10.20310/1810-0198-2016-21-2-655-660

3 Лобасенко Б.А., Семенов А.Г. Математическая модель ультрафильтрации с учетом гелеобразования в условиях периодической очистки мембраны // Техника и технология пищевых производств. 2010. № 3.

4 Лазарев К.С. и др. Математическая модель процесса электрогиперфильтрационного разделения промышленных растворов // Вестник тамбовского университета. Серия: естественные и технические науки. 2013. Т. 18. – №. 4–1.

5 Bär C., Mathis D., Neuhaus P., Dürr D. et al. Protein profile of dairy products: simultaneous quantification of twenty bovine milk proteins // International Dairy Journal. 2019. V. 97. P. 167-175. doi: 10.1016/j.idairyj.2019.01.001

6 Иванова С.А., Гарифулин Р.Ш., Чаплыгина Т.В. Моделирование процесса мембранного концентрирования белков молочного сырья // Техника и технология пищевых производств. 2011. № 1.

7 Mansor E.S., Ali E.A., Shaban A.M. Tight ultrafiltration polyethersulfone membrane for cheese whey wastewater treatment // Chemical Engineering Journal. 2021. V. 407. P. 127175. doi: 10.1016/j.cej.2020.127175

8 Вороненко Б.А., Пеленко В.В., Поляков С.В. Математическое описание мембранного разделения эмульсий // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2011. № 2.

9 Chamberland J. et al. Effect of membrane material chemistry and properties on biofouling susceptibility during milk and cheese whey ultrafiltration // Journal of Membrane Science. 2017. V. 542. P. 208-216. doi: 10.1016/j.memsci.2017.08.012

10 Рудобашта С.П., Махмуд С.Ю. Математическое моделирование процесса мембранной дистилляции // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2012. Т. 55. № 11.

11 Damar I., Cinar K., Gulec H. A. Concentration of whey proteins by ultrafiltration: Comparative evaluation of process effectiveness based on physicochemical properties of membranes // International Dairy Journal. 2020. V. 111. P. 104823. doi: 10.1016/j.idairyj.2020.104823

12 Лобасенко Б.А., Котляров Р.В., Сазонова Е.К. Математическое моделирование процесса мембранного концентрирования на основе кибернетического подхода // Фундаментальные исследования. 2016. № 2–1. С. 70–75.

13 Тимофеев А.Е., Лобасенко Б.А., Котляров Р.В. Разработка математической модели процесса мембранного концентрирования на основе передаточных функций // Техника и технология пищевых производств. 2013. Т. 28. № 1.

14 Лобасенко Б.А., Шушпанников А.С., Котляров Р.В. Разработка математической модели процесса мембранного концентрирования на основе методов информационного моделирования // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 89–89.

15 Corbatón-Báguena M.J., Álvarez-Blanco S., Vincent-Vela M.C. Evaluation of fouling resistances during the ultrafiltration of whey model solutions // Journal of Cleaner Production. 2018. V. 172. P. 358-367. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.10.149

16 RedCorn R., Fatemi S., Engelberth A.S. Comparing end-use potential for industrial food-waste sources // Engineering. 2018. V. 4. № 3. P. 371-380. doi: 10.1016/j.eng.2018.05.010

17 Azad T., Ahmed S. Common milk adulteration and their detection techniques // Food Contamination. 2016. V.3. № 22. doi: 10.1186/s40550-016-0045-3

18 Vaziri M. et al. Hybrid of Adsorption and Nanofiltration Processes as a Capable Removal Method for HANs Removal // South African Journal of Chemical Engineering. 2021. V. 36. P. 1-7. doi: 10.1016/j.sajce.2020.12.002

19 Susanto H. et al. Preparation of low-fouling polyethersulfone ultrafiltration membranes by incorporating high-molecular-weight chitosan with the help of a surfactant // South African Journal of Chemical Engineering. 2020. V. 33. P. 133-140. doi: 10.1016/j.sajce.2020.07.003

20 Chollom M.N., Pikwa K., Rathilal S., Pillay V.L. Fouling mitigation on a woven fibre microfiltration membrane for the treatment of raw water // South African Journal of Chemical Engineering. 2017. V. 23. P. 1-9. doi: 10.1016/j.sajce.2016.12.003

References

1 Worsztynowicz P., Białas W., Grajek W. Integrated approach for obtaining bioactive peptides from whey proteins hydrolysed using a new proteolytic lactic acid bacteria. Food chemistry. 2020. vol. 312. pp. 126035. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.126035

2 Lazarev S.I. and other Empirical model of ultrafiltration protein concentration in cheese whey // Bulletin of the Tambov University. Series: Natural and technical sciences. 2016. vol. 21. no. 2. pp. 655-660. doi: 10.20310/1810-0198-2016-21-2-655-660 (in Russian).

3 Lobasenko B.A., Semenov A.G. Mathematical model of ultrafiltration taking into account gelation under conditions of periodic cleaning of the membrane. Technics and technology of food production. 2010. no. 3. (in Russian).

4 4 Lazarev K.S. et al. Mathematical model of the process of electrohyperfiltration separation of industrial solutions. Bulletin of the Tambov University. Series: natural and technical sciences. 2013. vol. 18. no. 4-1. (in Russian).

5 Bär C., Mathis D., Neuhaus P., Dürr D. et al. Protein profile of dairy products: simultaneous quantification of twenty bovine milk proteins. International Dairy Journal. 2019. vol. 97. pp. 167-175. doi: 10.1016/j.idairyj.2019.01.001

6 Ivanova S.A., Garifulin R.Sh., Chaplygina T.V. Modeling the process of membrane concentration of proteins of milk raw materials. Technics and technology of food production. 2011. no. 1. (in Russian).

7 Mansor E.S., Ali E.A., Shaban A.M. Tight ultrafiltration polyethersulfone membrane for cheese whey wastewater treatment. Chemical Engineering Journal. 2021. vol. 407. pp. 127175. doi: 10.1016/j.cej.2020.127175

8 Voronenko B.A., Pelenko V.V., Polyakov S.V. Mathematical description of membrane separation of emulsions. Scientific journal of NRU ITMO. Series "Processes and Apparatus for Food Production". 2011. no. 2. (in Russian).

9 Chamberland J. et al. Effect of membrane material chemistry and properties on biofouling susceptibility during milk and cheese whey ultrafiltration. Journal of Membrane Science. 2017. vol. 542. pp. 208-216. doi: 10.1016/j.memsci.2017.08.012

10 Rudobashta S.P., Mahmud S.Yu. Mathematical modeling of the membrane distillation process. News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology. 2012. vol. 55. no. 11. (in Russian).

11 Damar I., Cinar K., Gulec H. A. Concentration of whey proteins by ultrafiltration: Comparative evaluation of process effectiveness based on physicochemical properties of membranes. International Dairy Journal. 2020. vol. 111. pp. 104823. doi: 10.1016/j.idairyj.2020.104823

12 Lobasenko B.A., Kotlyarov R.V., Sazonova E.K. Mathematical modeling of the membrane concentration process based on the cybernetic approach. Fundamental research. 2016. no. 2-1. pp. 70–75. (in Russian).

13 Timofeev A.E., Lobasenko B.A., Kotlyarov R.V. Development of a mathematical model of the membrane concentration process based on transfer functions. Technics and technology of food production. 2013. vol. 28. no. 1. (in Russian).

14 Lobasenko B.A., Shushpannikov A.S., Kotlyarov R.V. Development of a mathematical model of the membrane concentration process based on information modeling methods. Modern problems of science and education. 2013. no. 4. pp. 89–89. (in Russian).

15 Corbatón-Báguena M.J., Álvarez-Blanco S., Vincent-Vela M.C. Evaluation of fouling resistances during the ultrafiltration of whey model solutions. Journal of Cleaner Production. 2018. vol. 172. pp. 358-367. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.10.149

16 RedCorn R., Fatemi S., Engelberth A.S. Comparing end-use potential for industrial food-waste sources. Engineering. 2018. vol. 4. no. 3. pp. 371-380. doi: 10.1016/j.eng.2018.05.010

17 Azad T., Ahmed S. Common milk adulteration and their detection techniques. Food Contamination. 2016. vol. 3. no. 22. doi: 10.1186/s40550-016-0045-3

18 Vaziri M. et al. Hybrid of Adsorption and Nanofiltration Processes as a Capable Removal Method for HANs Removal. South African Journal of Chemical Engineering. 2021. vol. 36. pp. 1-7. doi: 10.1016/j.sajce.2020.12.002

19 Susanto H. et al. Preparation of low-fouling polyethersulfone ultrafiltration membranes by incorporating high-molecular-weight chitosan with the help of a surfactant. South African Journal of Chemical Engineering. 2020. vol. 33. pp. 133-140. doi: 10.1016/j.sajce.2020.07.003

20 Chollom M.N., Pikwa K., Rathilal S., Pillay V.L. Fouling mitigation on a woven fibre microfiltration membrane for the treatment of raw water. South African Journal of Chemical Engineering. 2017. vol. 23. pp. 1-9. doi: 10.1016/j.sajce.2016.12.003

Сведения об авторах

Дмитрий А. Родионов аспирант, кафедра механики и инженерной графики, Тамбовский государственный технический университет, ул. Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия, dimok-407@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6686-2007

Сергей И. Лазарев д.т.н., профессор, кафедра механики и инженерной графики, Тамбовский государственный технический университет, ул. Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия, sergey.lazarev.1962@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-0746-5161

Дмитрий Н. Протасов к.э.н., доцент, кафедра высшей математики, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, 394000, Россия, dnprotasov.75@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6779-316X

Олег А. Абоносимов д.т.н., профессор, кафедра механики и инженерной графики, Тамбовский государственный технический университет, г.Тамбов, ул. Совеская 106, 392000, Россия, abontam@inbox.ru
https://orcid.org/0000-0002-5105-7782

Константин К. Полянский д.т.н., профессор, кафедра коммерции и товароведения, Воронежский филиал Российского Экономического Университета имени Г.В. Плеханова, ул. Карла Маркса 67А, г. Воронеж, Россия, kaf-kit@vfreu.ru
https://orcid.org/0000-0003-0617-3271

Information about authors

Dmitriy A. Rodionov postgraduate, mechanics and engineering graphics department, Tambov State Technical University, Sovetskaya., 106 Tambov, 392000, Russia, dimok-407@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6686-2007

Sergei I. Lazarev Dr. Sci. (Engin.), professor, mechanics and engineering graphics department, Tambov State Technical University, st. Sovetskaya., 106 Tambov, 392000, Russia, sergey.lazarev.1962@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-0746-5161

Dmitriy N. Protasov Cand. Sci. (Econ.), associate professor, commerce and commodity department, Tambov State Technical University, st. Sovetskaya., 106 Tambov, 392000, Russia, dnprotasov.75@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6779-316X

Oleg A. Abonosimov Dr. Sci. (Engin.), mechanics and engineering graphics department, Tambov State Technical University, st. Sovetskaya., 106 Tambov, 392000, Russia, abontam@inbox.ru
https://orcid.org/0000-0002-5105-7782

Konstantin K. Polyansky Dr. Sci. (Engin.), professor, commerce and commodity science department, Voronezh branch of REU named after G.V. Plekhanov, st. Karl Marx, Voronezh, 67A, Russia, kaf-kit@vfreu.ru
https://orcid.org/0000-0003-0617-3271

Вклад авторов

Дмитрий А. Родионов обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент, выполнил расчёты
Сергей И. Лазарев написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Дмитрий Н. Протасов Олег А. Абоносимов Константин К. Полянский консультация в ходе исследования

Contribution

Dmitriy A. Rodionov review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Sergei I. Lazarev wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Dmitriy N. Protasov Oleg A. Abonosimov Konstantin K. Polyansky consultation during the study

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 21/12/2020	**После редакции** 01/02/2021	**Принята в печать** 01/03/2021
Received 21/12/2020	**Accepted in revised** 01/02/2021	**Accepted** 01/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-44-54 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.8/.9:636.085.55 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Исследование кинетических закономерностей процесса экструдирования зерновых культур при производстве высокоусвояемых комбикормов с защищенным белком для крупного рогатого скота

Валерий А. Афанасьев [1] vnii_kp@vmail.ru
Лариса Н. Фролова [1] fln-84@mail.ru 0000-0002-6505-4136
Константин А. Сизиков [1] ska@combikorm.ru
Александр Н. Остриков [1] ostrikov27@yandex.ru 0000-0002-2335-0017
Виталий Н. Василенко [1] vvn_1977@mail.ru 0000-0002-1547-9814

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Проблема разработки высокоусвояемых комбикормов с защищенным белком для крупного рогатого скота обусловлена спецификой желудочного тракта коров и особенностями усвоения белка. В связи с важностью предварительной влаготепловой обработки зерна для последующего протекания процесса экструзии, ее проводили паром под давлением 0,6 МПа до увлажнения комбикорма до влажности 17–20% и нагрева до температуры 70–80ºС. Установлено, что тепловая обработка оказывает значительное влияние на углеводный комплекс зерна: нагревание его при высоких температурах вызывает деструкцию крахмала, сопровождающуюся образованием легкорастворимых углеводов, что оказывает положительное влияние на усвояемость корма. Исследованы кинетические закономерности процессов влаготепловой обработки, измельчения и экструдирования зерновых культур при производстве высокоусвояемых комбикормов с защищенным белком для крупного рогатого скота. Установлено, что степень декстринизации и перевариваемость крахмала возрастает с увеличением температуры нагрева кукурузы и её смеси с пшеницей до 100–110 ºС, когда производительность экструдера составила 300–320 кг/ч, перевариваемость крахмала экструдированной кукурузы и зерносмеси увеличивается до 85 и 68 мг глюкозы на 1 г продукта (далее по тексту мг/г) соответственно. Для пшеницы этот показатель ниже и соответственно составляет 50 мг/г. При нагреве в процессе экструдирования кукурузы до температуры до 120–140ºС перевариваемость крахмала составляла 100–110 мг/г, а для зерновой смеси – 80–83 мг/г. При данной температуре перевариваемость крахмала экструдированной пшеницы соответствовала 60–65 мг/г. Наиболее оптимальная влажность комбикорма в процессе экструдирования с целью формирования гранул – 18%. Исследования влияние экструдирования на углеводный комплекс обрабатываемого комбикорма показали, что деструкция крахмала в экструдированном продукте повышается. Так, содержание растворимых углеводов увеличивается на 27–32%, а перевариваемость крахмала в 2 раза в экструдированном комбикорме по отношению к необработанному.

Ключевые слова: кинетика, влаготепловая обработка, измельчение, экструзия, комбикорм, защищенный белок, перевариваемость

Study of the kinetic regularities of the grain extrusion process in the production of highly digestible feed with protected protein for cattle

Valerii A. Afanasiev [1] vnii_kp@vmail.ru
Larisa N. Frolova [1] fln-84@mail.ru 0000-0002-6505-4136
Konstantin A. Sizikov [1] ska@combikorm.ru
Alexsandr N. Ostrikov [1] ostrikov27@yandex.ru 0000-0002-2335-0017
Vitalii N. Vasilenko [1] vvn_1977@mail.ru 0000-0002-1547-9814

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The problem of developing of highly digestible compound feeds with protected protein for cattle is due to the specifics of the gastric tract of cows and the peculiarities of protein assimilation. Due to the importance of preliminary moisture-heat treatment of grain for the subsequent course of the extrusion process, it was carried out by steam at a pressure of 0.6 MPa before moistening the feed to a humidity of 17–20% and heating to a temperature of 70–80° C. It is established that heat treatment has a significant effect on the carbohydrate complex of grain: heating it at high temperatures causes the destruction of starch, accompanied by the formation of easily soluble carbohydrates, which has a positive effect on the digestibility of feed. The kinetic regularities of the processes of moisture-heat treatment, grinding and extrusion of grain in the production of highly digestible feed with protected protein for cattle were studied. The degree of dextrinization and the digestibility of starch increased with the heating temperature of corn and its mixtures with wheat up to 100–110° C, when the performance of the extruder was 300–320 kg/h, the digestibility of starch extruded corn and grain mixture is increased to 85 and 68 mg of glucose per 1 g of the product (hereinafter mg/g), respectively. For wheat, this indicator is lower and, accordingly, is 50 mg/g. When heated during the extrusion of corn to a temperature of up to 120–140° C, the digestibility of starch was 100–110 mg/g, and for the grain mixture – 80–83 mg/g. At this temperature, the digestibility of the starch of extruded wheat corresponded to 60–65 mg/g. The optimal moisture content of feed in the process of extrusion for the purpose of forming pellets is 18%. Studies of the extrusion effect on the carbohydrate complex of processed feed have shown that the destruction of starch in the extruded product increases. Thus, the content of soluble carbohydrates increases by 27–32%, and the digestibility of starch increases twice in extruded feed compared to unprocessed.

Keywords: kinetics, moisture-heat treatment, grinding, extrusion, feed, protected protein, digestibility

Для цитирования

Афанасьев В.А., Фролова Л.Н., Сизиков К.А., Остриков А.Н., Василенко В.Н. Исследование кинетических закономерностей процесса экструдирования зерновых культур при производстве высокоусвояемых комбикормов с защищенным белком для крупного рогатого скота // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 44–54. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-44-54

For citation

Afanasiev V.A., Frolova L.N., Sizikov K.A., Ostrikov A.N., Vasilenko V.N. Study of the kinetic regularities of the grain extrusion process in the production of highly digestible feed with protected protein for cattle. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 44–54. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-44-54

© 2021, Афанасьев В.А.и др. / Afanasiev V.A. et al.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Объем производства комбикормов в России в 2020 г. превысил 30 млн. тонн. В условиях интенсивного ведения животноводства, проблема обеспечения его кормовым белком имеет исключительную важность. Белок является незаменимым компонентом всех рационов. Сбалансированность кормов по белку снижает затраты на производство единицы продукции и ее себестоимость, повышает рентабельность животноводства. Потребность комбикормовой промышленности в белковом сырье удовлетворяется только на 60–65%, что приводит к перерасходу зерна на производство комбикормов и снижению их питательной ценности. Так, удельный вес зерна в общем расходе сырьевых ресурсов составляет 63–65%. В США на долю зерновых в составе комбикормов приходится 50–53%, в странах ЕЭС – 38%, а доля отходов перерабатывающих отраслей (жома свекловичного сухого, мелассы, жмыхов, шротов, кормов животного происхождения и др.) соответственно – 39% и 57% [2, 3, 11].

Основным источником белка в настоящее время являются продукты переработки сои, прежде всего, соевый шрот, а также подсолнечника, рапса. Источниками полноценного кормового белка являются рыбная, мясокостная мука. В Российской Федерации объем производства рыбной муки составляет на уровне 90–100 тыс. тонн, а объем производства мясокостной муки – около 350 тыс. т. В силу малых объемов эти два продукта не могут заменить сою, но являются существенными для кормопроизводства в силу высокого качества животного белка.

Удельная масса виды этих компонентов белкового сырья (жмыхи и шроты, рыбная и мясокостная мука) в вырабатываемых отечественной промышленностью комбикормах составляет: жмыхи и шроты – от 8 до 9%; корма животного происхождения – от 0,7 до 1,0%, что является явно недостаточным.

Для обеспечения растущих потребностей животноводческих комплексов высокоусвояемыми комбикормами с защищенным белком для крупного рогатого скота необходимо внедрение новых технологий и разработка новых современных видов технологического оборудования [7, 8, 12, 14–20].

Проблема разработки высокоусвояемых комбикормов с защищенным белком для крупного рогатого скота (КРС) обусловлена спецификой желудочного тракта коров и особенностями усвоения белка. Так в частности, весь объем рациона попадает в первый из 4-х участков преджелудков – рубец. Часть распадается в преджелудках коровы до азота (распадаемый протеин), а часть протеина доходит до тонкого кишечника и под действием энзимов расщепляется до пептидов и далее, до аминокислот (протеин, избежавший распада в рубце, – это нераспадаемый протеин (НРП). Избыточный азот, попадая в кровь, становится аммиаком, который, закисляя кровь, ведет к заболеваниям. Вводя в рацион повышенные нормы белковых добавок без учёта распадаемости белка, резко увеличивается количество образующегося азота N и аммония NH_4, которые способны превращаться в аммиак NH_3. Корова резко теряет упитанность и выбывает после первой-второй лактации, возникают проблемы с воспроизводством. При концентрации свыше 90 % большая часть аммиака всасывается в кровь и далее в печень, вызывая заболевания последней [4, 9].

Повысить продуктивность и сохранить здоровье крупного рогатого скота (КРС) можно, только увеличив в сыром протеине долю защищенного протеина. Защищенный белок – это белок, устойчивый к воздействию ферментов микрофлоры и неспособный к распаду на составляющие – аммиак и углеродную цепочку. Для высокопродуктивных коров защищенный белок должен составлять 45%, легко расщепляемые протеины – не более 15%, кислотно–детергентный протеин – не более 5% и микробный – 35%.

Для получения защищенного белка смесь белка и редуцирующих сахаров нагревают при температуре, уровне pH, чтобы спровоцировать начало реакции Майяра, но не ее развитие. При этом белок меняется и блокирует прикрепление микробных ферментов рубца, тем самым предотвращая расщепление. Связь сильна и остается неизменной, во время нахождения в среде рубца. При попадании в кислую среду сычуга, где уровень pH от 2 до 3, а не от 6 до 6,5 как в рубце, белок денатурирует, и начинает раскручиваться, позволяя ферментам коровы попасть внутрь и разрушить его на составляющие аминокислоты, которые затем усваиваются и используются для синтеза молока. Использование влаготепловой и баротермомеханической обработки зерновых и зернобобовых культур позволяет поучить комбикорма с защищенным белком [5, 6].

Результаты и обсуждение

Известно, что предварительное увлажнение значительно стабилизирует процесс экструзии [1], поэтому особое внимание в исследованиях процесса экструдирования уделялось предварительной влаготепловой обработке зерна. Влаготепловая обработка зерновых и зернобобовых культур заключались в увлажнения комбикорма до влажности 17–20% и нагрева до температуры 70–80ºС паром давлением 0,6 МПа и передачу подготовленного комбикорма на кондиционер. Установлено, что тепловая обработка оказывает значительное влияние на углеводный комплекс зерна. Нагревание его при высоких температурах вызывает деструкцию крахмала, сопровождающуюся образованием легкорастворимых углеводов,

что оказывает положительное влияние на усвояемость корма, а, следовательно, на рост и развитие животных [1, 10, 13, 15].

Изучение влияния предварительной влагообработки зерна на качество зерна показало, что повышение содержания влаги в зерне оказывает заметное влияние на рост деструкции крахмала в процессе экструдирования. Установлено, что декстринизация и перевариваемость крахмала с увеличением влажности зерна до 18% растет интенсивно. Например, в экструдированной кукурузе степень декстринизации и перевариваемость крахмала при данном значении влаги достигала 65% и 140 мг/г, в зерносмеси – 45% и 108 мг/г, в пшенице – 32% и 90 мг/г соответственно (таблица 1, рисунок 1).

Увлажнение зерна выше 18% не оказывает заметного воздействия на рост деструкции крахмала зерна.

При одном и том же значении влажности зерна (18%) с увеличением температуры нагрева экструдированного зерна деструкция крахмала в нем повышается (рисунок 2). Например, при температуре зерна кукурузы 100ºС перевариваемость крахмала в экструдате составляла 60 мг/г глюкозы, то при температуре кукурузы – 120–130ºС. Этот показатель достигал 140 мг/г, что на 40–42% выше, чем в зерне с исходной влажностью.

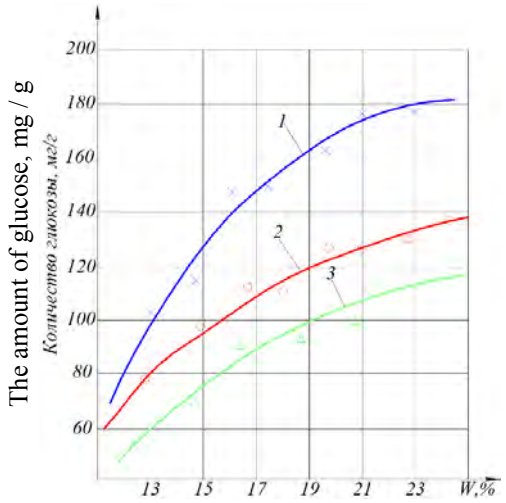


Рисунок 1. Влияние влажности зерна на изменение переваримости крахмала (in vitro) при экструдировании: 1 – увлажненная кукуруза (W = 17,6%); 2 – увлажненная зерносмесь (W = 17,8%); 3 – увлажненная пшеница (W = 18,3%)

Figure 1. The influence of grain moisture on the change in the digestibility of starch (in vitro) during extrusion: 1 - moistened corn (W = 17.6%); 2 - moistened grain mixture (W = 17.8%); 3 - moistened wheat (W = 18.3%)

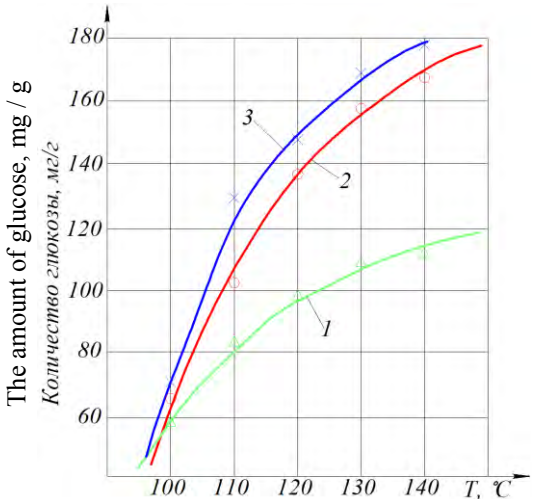


Рисунок 2. Влияние температуры нагрева экструдируемой кукурузы на изменение переваримости крахмала (in vitro) при влажности: 1 – W = 12,8%; 2 – W = 17,8% (увлажненная); 3 – W = 18,3% (пропаренная)

Figure 2. The influence of the heating temperature of extruded corn on the change in the digestibility of starch (in vitro) at humidity: 1 - W = 12.8%; 2 - W = 17.8% (wetted); 3 - W = 18.3% (steamed)

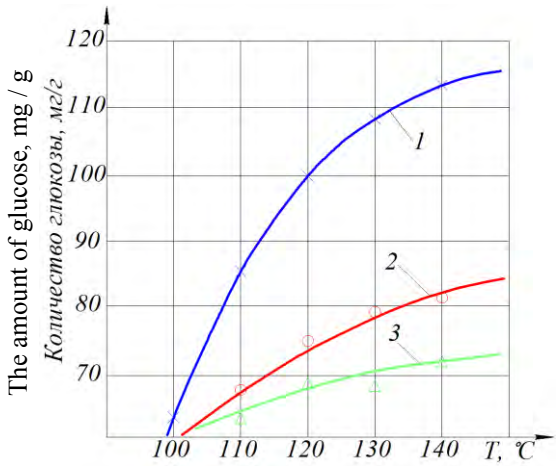


Рисунок 3. Изменение переваримости крахмала (in vitro) от температуры нагрева зерна и зерносмесей с начальной влажностью: 1 – кукуруза (W = 12,6%); 2 – зерносмесь (W = 12,7%); 3 – пшеница (W = 12,1%)

Figure 3. Change in the digestibility of starch (in vitro) from the heating temperature of grain and grain mixtures with initial moisture content: 1 - corn (W = 12.6%); 2 - grain mixture (W = 12.7%); 3 - wheat (W = 12.1%)

Увеличение влагосодержания зерна свыше 18% повышает технико-экономические показатели, однако темп роста их значительно снижается. Предварительное пропаривание также приводит к повышению технико-экономических показателей. При этом энергетические показатели несколько выше при экструдировании пропаренного зерна, чем увлажненного при одном и том же значении влажности (рисунок 3).

Исследование влияния предварительного пропаривания зерна на деструкцию крахмала показало, что обработка зерна паром незначительно влияет на состояние крахмала (таблица 2). Так, пропаривание зерна пшеницы и кукурузы в течение 4 минут увеличивает перевариваемость крахмала на 0,1–0,3 мг/г, а в течение 10 минут – на 0,5–0,7 мг/г по сравнению с их содержанием с исходном зерне.Следует отметить, что увеличение влагосодержания зерна до 18% практически исключает потерю массы экструдированного зерна (таблица 1), в отличие от обработки зерна по отношению к необработанному снижается на 4–5%.

Таблица 1.

Изменение перевариваемости крахмала (in vitro) зерна от продолжительности пропаривания

Table 1.

Change in the digestibility of starch (in vitro) grain from the duration of steaming

Продолжительность пропаривания, мин Duration, min	Влажность зерна, % Humidity, %		Перевариваемость крахмала (in vitro), мг глюкозы на 1 г продукта Starch digestibility	
	кукуруза	пшеница	кукуруза	пшеница
	corn	wheat	corn	wheat
0	13,3	12,3	21,2	12,4
2	13,8	13,7	21,0	12,5
4	14,7	14,6	21,3	12,7
6	15,6	15,3	21,6	12,7
8	16,0	16,7	21,9	12,9
10	16,8	18,3	22,4	13,0
12	17,7	20,1	23,1	13,3
14	18,8	21,8	23,3	13,2
16	19,4	24,6	23,5	13,4

Исследование процесса экструдирования зерна исходной влажности показало, что степень декстринизации и перевариваемость крахмала возрастает с увеличением температуры нагрева кукурузы и её смеси с пшеницей до 100–110ºС, когда производительность экструдера составила 300–320 кг/ч, перевариваемость крахмала экструдированной кукурузы и зерносмеси увеличивается до 85 и 68 мг глюкозы на 1 г продукта (далее по тексту мг/г) соответственно. Для пшеницы этот показатель ниже и соответственно составляет 50 мг/г.

При нагреве в процессе экструдирования кукурузы до температуры до 120–140ºС перевариваемость крахмала составляла 100–110 мг/г, а для зерновой смеси – 80–83 мг/г.

При данной температуре перевариваемость крахмала экструдированной пшеницы соответствовала 60–65 мг/г. Дальнейшее повышение температуры зерна вызывает незначительное увеличение деструкции крахмала, однако имело место интенсивное испарение влаги и снижение технико-экономических показателей процесса экструзии.

Анализируя полученные данные, следует отметить, что наиболее рациональные режимы экструдирования кукурузы с исходной влажностью и зерносмеси: температура продукта на выходе 120–140ºС, нагрузка двигателя – 50–55 А; производительностью экструдера – 420–470 кг/ч; удельный расход электроэнергии 73–85 кВт×ч/т. Для пшеницы данные показатели соответственно изменялись в следующих пределах: 150–155ºС; 58–65 А; 320–330 кг/ч; 120–125 кВт×ч/т. При этом степень декстринизации и перевариваемость крахмала для кукурузы составляла 50–60% и 100–120 мг/г, для зерносмеси 35% и 80 мг/г, для пшеницы 21–23% и 60 мг/г соответственно.

Таблица 2.

Результаты исследований процесса экструдирования зерна

Table 2.

Research results of the grain extrusion process

Продукт	Подготовка	Влажность, %		Степень декстринизации, %	Перевариваемость крахмала, зерна, мг/г	Температура экструдированного зерна,ºС	Производительность экструдера, кг/ч	Удельный расход электроэнергии, кВт×ч/т	Нагрузка двигателя, А
		до	после						
Кукуруза неизмельченная	Без увлажнения	13,3	–	–	22,3	–	–	–	–
Кукуруза неизмельч. экструдированная		13,3	8,4	40,6	86,4	135	452	80,6	55,0
Кукуруза измельч. экструдированная		12,8	7,6	57,2	111,6	138	455	78,8	55,0
	Увлажненная	17,6	11,2	64,4	143,4	122	475	73,8	51,0
	Пропаренная	18,1	11,9	68,7	156,0	127	483	72,6	50,0
Пшеница неизмельч.	Без увлажнения	12,3	–	12,4	–	–	–	–	–
Пшеница неизмельч. экструдированная		12,3	8,1	21,6	59,3	152	312	121,3	58,0
Пшеница измельч. экструдированная		12,1	7,9	29,0	68,5	155	323	120,5	65,0
	Увлажненная	18,3	12,8	32,6	88,8	140	374	95,0	58,0
	Пропаренная	18,6	13,2	38,2	96,5	142	388	90,0	58,0
Зерносмесь измельч.	Без увлажнения	12,7	–	–	19,3	–	–	–	–
Пшеница измельч. экструдированная		12,7	8,9	35,8	79,5	142	416	86,2	55,0
	Увлажненная	17,8	11,6	44,3	108,6	133	426	83,3	52,0
	Пропаренная	18,3	12,3	51,8	135,4	136	434	82,6	52,0

Product	preparation	Humidity, %		Degree of destination, %	Digestability of starch, grains, mg/g	Extruded grain temperature, sn out	Extruder performance, kg/h	Specific electricity consumption, kWh×h/t	Engine load, A
		before	after						
Unsorthed corn	No hydration	13,3	–	–	22,3	–	–	–	–
The corn is unsorthed. Extruded		13,3	8,4	40,6	86,4	135	452	80,6	55,0
Corn is crushed. Extruded		12,8	7,6	57,2	111,6	138	455	78,8	55,0
	Hydrated	17,6	11,2	64,4	143,4	122	475	73,8	51,0
	Steamed	18,1	11,9	68,7	156,0	127	483	72,6	50,0
Wheat unpealed.	No hydration	12,3	–	12,4	–	–	–	–	–
Wheat unpealed. extruding		12,3	8,1	21,6	59,3	152	312	121,3	58,0
Wheat med. extruding		12,1	7,9	29,0	68,5	155	323	120,5	65,0
	Hydrated	18,3	12,8	32,6	88,8	140	374	95,0	58,0
	Steamed	18,6	13,2	38,2	96,5	142	388	90,0	58,0
Grain chop.	No hydration	12,7	–	–	19,3	–	–	–	–
Wheat med. extruding		12,7	8,9	35,8	79,5	142	416	86,2	55,0
	Hydrated	17,8	11,6	44,3	108,6	133	426	83,3	52,0
	Steamed	18,3	12,3	51,8	135,4	136	434	82,6	52,0

Были проведены опыты по экструдированию увлажненного и пропаренного зерна. Влажность изменяли в пределах от 12 до 25%.

Экструдирование пшеницы с начальной влажностью 12–13% протекает наиболее трудно и нестабильно. Так, экструдирование пшеницы различной влажности позволило установить, что с увеличением содержания влаги в зерне, снижается расход электроэнергии на экструдирование и повышается производительность экструдера.

Полученные зависимости удельного расхода электроэнергии на экструдирование и производительности экструдера от влажности зерна пшеницы (рисунок 4), показывают, что с увеличением влаги в зерне от 12,5% до 18% производительность экструдера возрастает от 300 кг/ч до 380 кг/ч, а удельный расход электроэнергии снижается от 120 до 90 кВт×ч/т. Для кукурузы и зерносмеси с повышением содержания влаги до 18% производительность экструдера достигала 470–480 кг/ч и 430–435 кг/ч; а удельный расход электроэнергии 70–74 кВт×ч/т и 82–83 кВт×ч/т соответственно.

Экструдирование пропаренного зерна интенсифицирует процесс деструкции крахмала. Если в экструдате из пшеницы и кукурузы с исходной влажностью 12–13% перевариваемость крахмала составляла 60–70 и 90–110 мг/г,

то в экструдате, полученном из зерна, прошедшее предварительное пропаривание до влажности 18%, данный показатель увеличился до 100 и 160 мг/г, т. е. на 50–60% (рисунок 5).

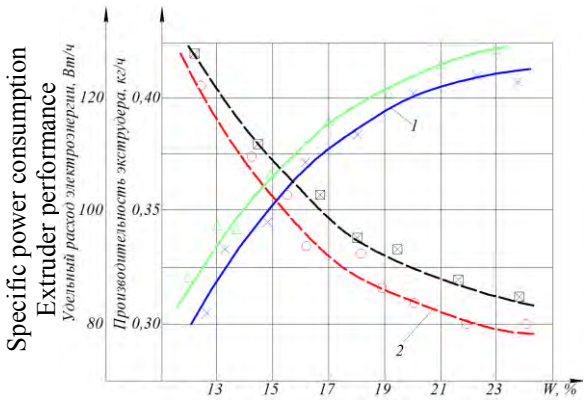


Рисунок 4. Влияние влагосодержания зерна на изменение производительности экструдера и удельного расхода электроэнергии: 1 – увлажненная пшеница; 2 – пропаренная пшеница; (___ – производительность экструдера; – – удельный расход электроэнергии)

Figure 4. nfluence of moisture content of grain on the change in the productivity of the extruder and the specific consumption of electricity: 1 - moistened wheat; 2 – parboiled wheat; (___–productivity of the extruder; - –specific power consumption)

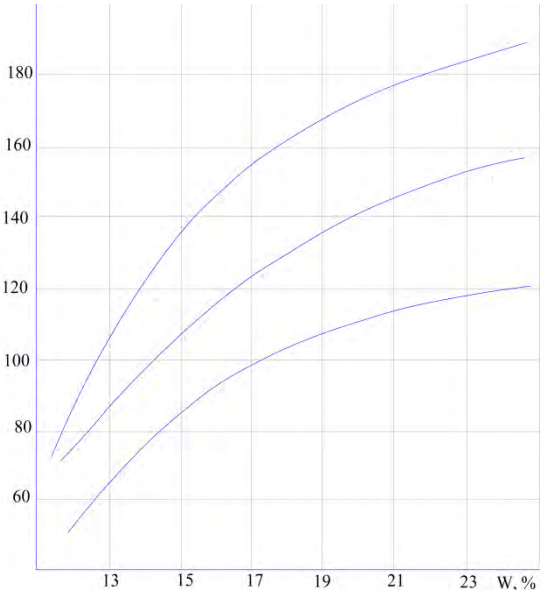


Рисунок 5. Влияние влажности пропаренного зерна на изменение переваримости крахмала (in vitro) при экструдировании: 1 – пропаренная кукуруза (*W* = 18,1%); 2 – пропаренная зерносмесь (*W* = 18,3%); 3 – пропаренная пшеница (*W* = 18,6%)

Figure 5. The influence of the moisture content of parboiled grain on the change in the digestibility of starch (in vitro) during extrusion: 1 - parboiled corn (W = 18.1%); 2 - steamed grain mixture (W = 18.3%); 3 - parboiled wheat (W = 18.6%)

Достигаются данные показатели качества кукурузы при температуре нагрева зерна до 125–130ºС. Для пшеницы эти показатели соответственно равны 140–145ºС и 380–390 кг/ч, для зерносмеси – от 135 до 140ºС и 430–435 кг/ч (таблица 3).

Наряду с этим следует отметить, что пропаривается пшеница до влажности 18% в течение 10–12 минут, кукуруза и зерносмесь – от 15 до 16 минут. При этом давление пара составило 0,2–0,3 МПа, а расход пара – от 75 до 85 кг на 1 тонну обрабатываемого продукта.

Первоначально исследовали возможность экструдирования неизмельченного зерна исходной влажностью, изменяемой от 12,3 до 13,3%. Однако экструдат неизмельченного зерна содержит значительное количество нераздробленных половинок и целых зерен, что существенно снижает качественные показатели готовой продукции. Так, (таблица 1) перевариваемость крахмала (in vitro) неизмельченной пшеницы была ниже на 30–35% по отношению к измельченному экструдированному зерну.

Исследование влияния крупности размола зерна на изменение качества готового экструдированного продукта показало (рисунок 6), что чем меньше диаметр отверстий сита дробилки, тем перевариваемость крахмала выше.

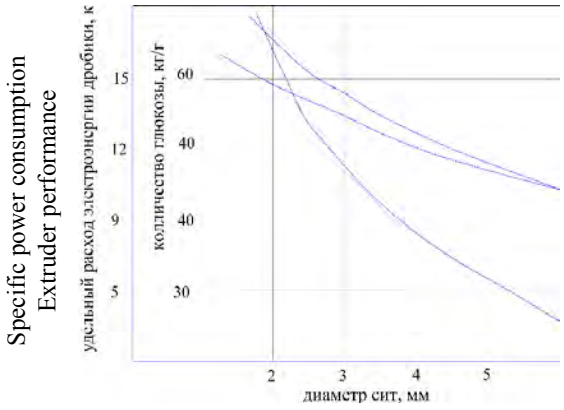


Рисунок 6. Влияние величины диаметра отверстий сита дробилки на перевариваемость крахмала (in vitro) и удельный расход электроэнергии дробилки и экструдера при экструдировании кукурузы: 1 – изменение переваримости крахмала (in vitro); 2 – удельный расход электроэнергии дробилки; 3 – удельный расход электроэнергии экструдера

Figure 6. The influence of the size of the hole diameter of the crusher sieve on the digestibility of starch (in vitro) and the specific power consumption of the crusher and extruder during corn extrusion: 1 – change in the digestibility of starch (in vitro); 2 – specific power consumption of the crusher; 3 – specific power consumption of the extruder

Следует отметить, что разница в показателе содержания количества образуемой глюкозы в исследуемых образцах измельченного и экструдированного зерна небольшая.

Сопоставляя показатели изменения качества и энергетические показатели дробилки и экструдера пришли к выводу, что наиболее оптимальный размер отверстий сита дробилки, на котором измельчается зерно – 3,0 мм. Поэтому в дальнейшем при исследовании процесса экструдирования зерна и приготовленного на базе его комбикорма используется только зерно, измельченное на дробилке с ситом диаметром отверстий 3,0 мм.

Результаты исследований экструдирования измельченного зерна показали, что экструдирование измельченной кукурузы исходной влажности происходит стабильно, с незначительными колебаниями нагрузки на электродвигатель экструдера.

Стабильно осуществляется процесс экструдирования смеси кукурузы и пшеницы кондиционной влажности. При экструдировании данных продуктов температура продукта на выходе составляла 120–140ºС, нагрузка двигателя – от 50 до 55 А, напряжение цепи двигателя постоянного тока – 100 В; производительность экструдера – от 450 до 480 кг/ч; удельный расход электроэнергии – от 72 до 80 кВт×ч/т (таблица 1).

Экструдирование измельченной пшеницы кондиционной влажности проходило с большими затруднениями. Температура продукта на выходе повышалась до 175ºС, колебания нагрузки на основной двигатель экструдера доходила до 20 А и составляли 75–80 А. Наблюдались выбросы продукта, хлопки. Часто происходило пригорание продукта и заклинивание экструдера.

Результаты этих исследований позволили установить, что процесс экструдирования пшеницы исходной влажности стабилизируется при температуре зерна на выходе 150–155ºС, а производительность экструдера составила 330–340 кг/ч.

Анализируя физико-механические свойства рассыпных комбикормов для крупного рогатого скота пришли к выводу, что они имеют следующие свойства: угол естественного откоса 46–50 град, объемная масса – 0,48–0,51 т/м³ (таблица 4). В процессе хранения все комбикорма имеют склонность к комкованию, при истечении из бункеров образуют своды, что объясняется большим количеством содержания жира – не менее 6%.

С целью улучшения технологических свойств комбикормов, для придания ему товарного вида, повышения питательности и особенно важно доброкачественности, а также формирования гранул применяя повторное экструдирование. В связи с этим была поставлена задача определения оптимальных параметром процесса экструдирования комбикормов с целью формирования гранул.

При экструдировании комбикормов для крупного рогатого скота важнейшими технологическими факторами, которые обеспечивают наилучшие условия для формирования гранул, являются температура продукта на выходе из шнека экструдера, производительность экструдера, влага обрабатываемого продукта и нагрузка основного двигателя экструдера.

Конструкция головки шнека экструдера позволила получать готовый продукт в виде гранул диаметром 10–13 мм и длиной 20 мм.

Исследования процесса экструдирования зерна позволило установить, что влажность обрабатываемого продукта за счет пластифицирования оказывает существенное влияние на процесс экструдирования.

Изучение влияния содержания влаги на процесс экструдирования и целью формирования гранул проводили при постоянном качественном составе крупности рассыпного комбикорма (таблица 4).

Влажность комбикорма изменяли путем его увлажнения водой от 12 до 25%. За критерий эффективности процесса были приняты производительность экструдера, удельный расход электроэнергии и качественные показатели – крошимость гранул и проход сита Ø 2 мм.

Полученные результаты исследований, показали, что с увеличением влажности комбикорма производительность экструдера уменьшается (рисунок 7). Так, при содержании влаги в комбикорме 12–13% производительность экструдера составляла 350–370 кг/ч, а удельный расход электроэнергии – 53–56 кВт×ч/т, то при влажности комбикорма 18% эти показатели увеличивались до 450 кг/ч и 62–63 кВт×ч/т соответственно. Дальнейшее увеличение влагосодержания более 18% повышает технико-экономические показатели, однако кривые их роста снижаются. Повышение влажности комбикорма при экструдировании улучшает и качество гранул (рисунок 8).

Таким образом, анализируя результаты исследований можно отметить, что наиболее оптимальная влажность комбикорма в процессе экструдирования с целью формирования гранул – 18%.

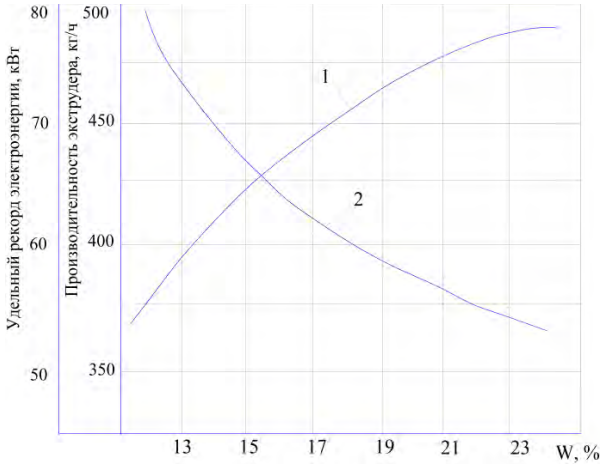


Рисунок 7. Влияние влажности комбикорма на изменение производительности экструдера и удельного расхода электроэнергии: 1 – производительность экструдера; 2 – удельный расход электроэнергии

Figure 7. The influence of the moisture content of the compound feed on the change in the productivity of the extruder and the specific consumption of electricity: 1 – the productivity of the extruder; 2 – specific power consumption

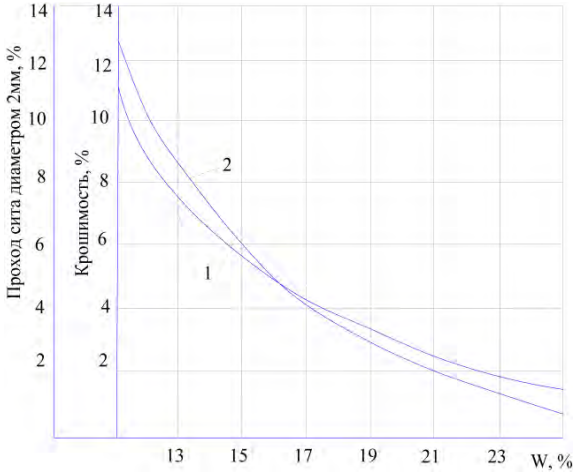


Рисунок 8. Изменение крошимости гранул и величины прохода сита ∅ 2 мм от влажности комбикорма: 1 – крошимость; 2 – проход сита ∅ 2 мм

Figure 8. Changes in the crumbling of granules and the size of the sieve passage ∅ 2 mm from the moisture content of the feed: 1 – crumbling; 2 – sieve passage ∅ 2 mm

Таблица 3.

Качественные показатели рассыпных и экструдированных комбикормов для крупного рогатого скота

Table 3.

Quality indicators of loose and extruded feed for cattle

Продукт Product	Влажность Humidity	Остатки на ситах, % Ext					Угол естеств. откоса, град Deg	Объемная масса, т/м³ Density	Содержание, %				Перевариваемость крахмала (in vitro) мг глюкозы на 1 г продукта
		Ø5	Ø3	Ø2	Ø1	Дно			Сырой протеин Crude protein	Жир Fat	Клетчатка Fiber	Растворимые углеводы Soluble carbohydrates	
Рассыпной комбикорм Loose compound feed	12,9	-	0,5	16,7	36,8	52,0	51	0,530	21,89	11,11	1,20	7,72	29,3
	10,4	-	0,3	15,2	35,5	49,0	48	0,527	21,62	10,58	1,11	6,58	27,4
	12,1	-	0,3	15,5	34,2	50,0	52	0,545	21,74	10,39	1,22	7,96	28,5
Экструдированный комбикорм в гранулах Extruded feed in granules	8,5	-	-	-	-	-	40	0,340	22,34	10,35	1,15	10,54	65,32
	7,4	-	-	-	-	-	41	0,330	21,18	10,64	1,08	19,13	68,15
	7,9	-	-	-	-	-	40	0,395	21,98	10,60	1,13	11,64	63,85

Исследуя влияние экструдирования на углеводный комплекс обрабатываемого комбикорма можно отметить (таблица 1), что деструкция крахмала в экструдированном продукте повышается. Так, содержание растворимых углеводов увеличивается на 27–32%, а перевариваемость крахмала в 2 раза в экструдированном комбикорме по отношению к необработанному.

Основной целью исследования процесса экструдирования при производстве комбикормов для КРС – повышение питательной ценности обрабатываемого продукта за счет денатурации белков и деструкции углеводов. Но питательная ценность экструдированного продукта обуславливается содержанием и изменением в них не только белковых веществ и углеводов, а и наличием биологически активных веществ – витаминов.

С этой целью проведены опыты по изучению влияния экструдирования на изменение содержания витаминов B_1, B_2, Е и А в ячмене и комбикорме (таблица 4).

Таблица 4.

Изменение содержания витаминов в ячмене и комбикорме в процессе экструдирования

Table 4.

Changes in the content of vitamins in barley and compound feed during the extrusion process

Продукт Product	Содержание витаминов | Vitamins							
	B_1, мг/кг		B_2, мг/кг		Е, м.е./кг		А, м.е./кг	
	Исход.	Экструд.	Исход.	Экструд.	Исход.	Экструд.	Исход.	Экструд.
Ячмень Barley	4,8	5,0	2,1	2,0	5,7	4,55	–	–
Комбикорм Combi	0,76	0,74	2,9	2,9	45,0	42,7	4800	4530
	0,91	0,90	2,0	2,1	–	–	–	–

Экструдирование производили при производительности экструдера 350–400 кг/ч, температура нагрева экструдата 125–130ºС.

В опытах использовали в качестве контроля ячмень и комбикорм с исходной влажностью 12,3 и 12,7% соответственно.

Результаты проведенных исследований показывают, что в экструдированном ячмене содержание витаминов B_1 и B_2 осталось практически без изменений. Не наблюдалось изменения этих витаминов и в экструдированном комбикорме. Содержание витамина Е в ячмене и комбикорме уменьшилось на 23% и 7,3% соответственно. Содержание витамина А в комбикорме снизилось на 5,6%.

Выработку опытных партий комбикормов, проводили в условиях ОАО "Богдановичский комбикормовый завод". Партии комбикормов готовили в соответствии с рецептами ПК-5 и ПК-6 по восьми вариантам.

В соответствии со схемой зоотехнических исследований первый и шестой варианты комбикормов, были контрольными и содержали подсолнечный и соевый шроты. По остальным вариантам готовили комбикорма, в состав которых вводили сою или рапс, прошедшие различную технологическую подготовку. Для всех опытных партий комбикормов зерновые компоненты (кукуруза, пшеница, ячмень) и шроты измельчали на молотковой дробилке БД-2М при установке сит с отверстиями Ø 3, 4, 5 и 6,3 мм, обеспечивая получение продуктов размола требуемой крупности. Подготовку белкового и минерального сырья (рыбная мука, дрожжи, мел, соль) производили по обычной технологии, включающей очистку сырья от сорной примеси, просеивание на сите с отверстиями Ø3 мм, доизмельчение сходовых фракций.

Применение высокоусвояемых комбикормов с защищенным белком позволила увеличить молочную продуктивность высокоудойных коров на 18%, содержание белка в молоке – на 12%, а продолжительность их использования возросла с 1,5–2-х до 4–5 лактаций [1].

Заключение

1. Установлено, что тепловая обработка оказывает значительное влияние на углеводный комплекс зерна: нагревание его при высоких температурах вызывает деструкцию крахмала, сопровождающуюся образованием легкорастворимых углеводов, что оказывает положительное влияние на усвояемость корма.

2. Установлено, что степень декстринизации и перевариваемость крахмала возрастает с увеличением температуры нагрева кукурузы и её смеси с пшеницей до 100–110ºС, когда производительность экструдера составила 300–320 кг/ч, перевариваемость крахмала экструдированной кукурузы и зерносмеси увеличивается до 85 и 68 мг глюкозы на 1 г продукта (далее по тексту мг/г) соответственно.

3. Исследования влияние экструдирования на углеводный комплекс обрабатываемого комбикорма показали, что деструкция крахмала в экструдированном продукте повышается, так, содержание растворимых углеводов увеличивается на 27–32%, а перевариваемость крахмала – в 2 раза в экструдированном комбикорме по отношению к необработанному.

Литература

1 Афанасьев В. А., Остриков А. Н., Василенко В. Н., Фролова Л. Н. и др. Разработка стартерных комбикормов для крупного рогатого скота // Кормопроизводство. 2020. № 2. С. 39–42.

2 Золотарёв А., Седюк И., Золотарёва С. Продуктивность дойных коров при использовании новейшей технологии кормления // Научно-технический бюллетень Института животноводства Национальной академии аграрных наук Украины. 2020. № 124. С. 79–88.

3 Есаулова Л.А. Необходимость использования кормовых добавок в рационах высокопродуктивных дойных коров в хозяйствах воронежской области // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (52). С. 61–69. doi: 10.17238/issn2071-2243.2017.1.61

4 Летунович Е.В., Яцко Н.А. Использование "защищенного" различными способами протеина корма при кормлении коров // Зоотехническая наука Беларуси. 2012. Т. 47. № 2. С. 148–163.

5 Погосян Д.Г., Чудайкин В.В. Распадаемость протеина в рубце и использование азотистых веществ корма у растущих бычков при химической и барогидротермической обработке кормов // Проблемы биологии продуктивных животных. 2011. № 2. С. 79–86.

6 Романов В.Н., Боголюбова Н.В., Девяткин В.А., Гришин В.Н. и др. Особенности пищеварительных и обменных процессов у молодняка крупного рогатого скота при включении в рационы "защищенной" формы карнитина // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2015. № 1. С. 35–42.

7 Таранович А. «Защищенные» жиры и белки в кормлении высокопродуктивных коров // Молочное и мясное скотоводство. 2010. № 4. С. 18–20.

8 Харитонов Е.Л., Остренко К.С., Лемешевский В.О. Профилактика нарушений рубцового пищеварения у растущих бычков молочных пород // Ветеринария. 2020. № 9. С. 50–55.

9 Чуприна Е.Г., Власов А.Б., Юрин Д.А., Юрина Н.А. Кормовой продукт в рационах новотельных коров, состоящий из защищенного соевого и подсолнечного белка // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2020. № 10 (183). С. 24–32.

10 Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Василенко В.Н., Фролова Л.Н. и др. Оценка эффективности технологии получения зерновых хлопьев для производства комбикормов для молодняка крупного рогатого скота // Кормопроизводство. 2017. № 6. С. 33–38.

11 Kamau E.H., Nkhata S.G., Ayua E.O. Extrusion and nixtamalization conditions influence the magnitude of change in the nutrients and bioactive components of cereals and legumes // Food science & nutrition. 2020. V. 8. № 4. P. 1753-1765. doi: 10.1002/fsn3.1473

12 Menis-Henrique M.E.C., Scarton M., Piran M.V.F., Clerici M.T.P.S. Cereal fiber: extrusion modifications for food industry // Current opinion in food science. 2020. doi: 10.1016/j.cofs.2020.05.001

13 Abdel-Ghani A.A. et al. Productive performance and blood metabolites as affected by protected protein in sheep // Open Journal of Animal Sciences. 2011. V. 1. № 02. P. 24. doi:10.4236/ojas.2011.12004

14 Shelke S.K. et al. Protected nutrients technology and the impact of feeding protected nutrients to dairy animals: a review // Int J Dairy Sci. 2012. V. 7. P. 51-62. doi: 10.3923/ijds.2012.51.62

15 Offiah V., Kontogiorgos V., Falade K.O. Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review // Critical reviews in food science and nutrition. 2019. V. 59. № 18. P. 2979-2998. doi: 10.1080/10408398.2018.1480007

16 Alqaisi O., Moraes L.E., Ndambi O.A., Williams R.B. Optimal dairy feed input selection under alternative feeds availability and relative prices // Information Processing in Agriculture. 2019. V. 6. № 4. P. 438-453. doi: 10.1016/j.inpa.2019.03.004

17 Amid S., Gundoshmian T.M., Shahgoli G., Rafiee S. Energy use pattern and optimization of energy required for broiler production using data envelopment analysis // Information Processing in Agriculture. 2016. V. 3. № 2. P. 83-91. doi: 10.1016/j.inpa.2016.03.003

18 Fu Q., Shen W., Wei X., Zheng P. et al. Prediction of the diet nutrients digestibility of dairy cows using Gaussian process regression // Information Processing in Agriculture. 2019. V. 6. № 3. P. 396-406. doi: 10.1016/j.inpa.2018.11.005

19 Zeyner A., Kirchhof S., Susenbeth A., Südekum K.H. et al. A new protein evaluation system for horse feed from literature data // Journal of nutritional science. 2015. V. 4. doi: 10.1017/jns.2014.66

20 Chakraborty P., Shivhare U. S., Basu S. Effect of milk composition on sensory attributes and instrumental properties of Indian Cottage Cheese (chhana) // NFS Journal. 2021. V. 23. P. 8-16. doi: 10.1016/j.nfs.2021.02.002

References

1 Afanasyev V.A., Ostrikov A.N., Vasilenko V.N., Frolova L.N. et al. Development of starter compound feed for cattle. Feed production. 2020. no. 2. pp. 39–42. (in Russian).

2 Zolotarev A., Sedyuk I., Zolotareva S. Productivity of dairy cows using the latest feeding technology. Scientific and technical bulletin of the Institute of Livestock of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. 2020. no. 124. pp. 79–88. (in Russian).

3 Esaulova L.A. The need to use feed additives in the diets of highly productive dairy cows in the farms of the Voronezh region. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2017. no. 1 (52). pp. 61–69. doi: 10.17238/issn2071-2243.2017.1.61 (in Russian).

4 Letunovich E.V., Yatsko N.A. The use of feed protein "protected" by various methods when feeding cows. Zootechnical Science of Belarus. 2012. vol. 47. no. 2. pp. 148–163. (in Russian).

5 Pogosyan D.G., Chudaykin V.V. Protein degradability in the rumen and the use of nitrogenous feed substances in growing bulls during chemical and barohydrothermal processing of feed. Problems of biology of productive animals. 2011. no. 2. pp. 79–86. (in Russian).

6 Romanov V.N., Bogolyubova N.V., Devyatkin V.A., Grishin V.N. et al. Peculiarities of digestive and metabolic processes in young cattle when the "protected" form of carnitine is included in the diets. Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and Livestock. 2015. no. 1. pp. 35–42. (in Russian).

7 Taranovich A. "Protected" fats and proteins in feeding highly productive cows. Dairy and beef cattle breeding. 2010. no. 4. pp. 18–20. (in Russian).

8 Kharitonov E.L., Ostrenko K.S., Lemeshevsky V.O. Prevention of cicatricial digestion disorders in growing bulls of dairy breeds. Veterinary Medicine. 2020. no. 9. pp. 50–55. (in Russian).

9 Chuprina E.G., Vlasov A.B., Yurin D.A., Yurina N.A. Forage product in the diets of fresh cows, consisting of protected soy and sunflower protein. Feeding agricultural animals and fodder production. 2020. no. 10 (183). pp. 24–32. (in Russian).

10 Afanasyev V.A., Ostrikov A.N., Vasilenko V.N., Frolova L.N. et al. Evaluation of the efficiency of the technology for obtaining cereal flakes for the production of compound feed for young cattle. Feed production. 2017. no. 6. pp. 33–38. (in Russian).

11 Kamau E.H., Nkhata S.G., Ayua E.O. Extrusion and nixtamalization conditions influence the magnitude of change in the nutrients and bioactive components of cereals and legumes. Food science & nutrition. 2020. vol. 8. no. 4. pp. 1753-1765. doi: 10.1002/fsn3.1473

12 Menis-Henrique M.E.C., Scarton M., Piran M.V.F., Clerici M.T.P.S. Cereal fiber: extrusion modifications for food industry. Current opinion in food science. 2020. doi: 10.1016/j.cofs.2020.05.001

13 Abdel-Ghani A.A. et al. Productive performance and blood metabolites as affected by protected protein in sheep. Open Journal of Animal Sciences. 2011. vol. 1. no. 02. pp. 24. doi:10.4236/ojas.2011.12004

14 Shelke S.K. et al. Protected nutrients technology and the impact of feeding protected nutrients to dairy animals: a review. Int J Dairy Sci. 2012. vol. 7. pp. 51-62. doi: 10.3923/ijds.2012.51.62

15 Offiah V., Kontogiorgos V., Falade K.O. Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review. Critical reviews in food science and nutrition. 2019. vol. 59. no. 18. pp. 2979-2998. doi: 10.1080/10408398.2018.1480007

16 Alqaisi O., Moraes L.E., Ndambi O.A., Williams R.B. Optimal dairy feed input selection under alternative feeds availability and relative prices. Information Processing in Agriculture. 2019. vol. 6. no. 4. pp. 438-453. doi: 10.1016/j.inpa.2019.03.004

17 Amid S., Gundoshmian T.M., Shahgoli G., Rafiee S. Energy use pattern and optimization of energy required for broiler production using data envelopment analysis. Information Processing in Agriculture. 2016. vol. 3. no. 2. pp. 83-91. doi: 10.1016/j.inpa.2016.03.003

18 Fu Q., Shen W., Wei X., Zheng P. et al. Prediction of the diet nutrients digestibility of dairy cows using Gaussian process regression. Information Processing in Agriculture. 2019. vol. 6. no. 3. pp. 396-406. doi: 10.1016/j.inpa.2018.11.005

19 Zeyner A., Kirchhof S., Susenbeth A., Südekum K.H. et al. A new protein evaluation system for horse feed from literature data. Journal of nutritional science. 2015. vol. 4. doi: 10.1017/jns.2014.66

20 Chakraborty P., Shivhare U.S., Basu S. Effect of milk composition on sensory attributes and instrumental properties of Indian Cottage Cheese (chhana). NFS Journal. 2021. vol. 23. pp. 8-16. doi: 10.1016/j.nfs.2021.02.002

Сведения об авторах

Валерий А. Афанасьев д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vnii_kp@vmail.ru

Лариса Н. Фролова д.т.н., профессор, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия , fln-84@mail.ru

https://orcid.org/0000-0002-6505-4136

Константин А. Сизиков экстерн, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий , пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ska@combikorm.ru

Александр Н. Остриков д.т.н., заведующий кафедрой, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий , пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия , ostrikov27@yandex.ru

https://orcid.org/0000-0002-2335-0017

Виталий Н. Василенко д.т.н., проректор по УР, ректорат, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vvn_1977@mail.ru

https://orcid.org/0000-0002-1547-9814

Information about authors

Valerii A. Afanasiev Dr. Sci. (Engin.), professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vnii_kp@vmail.ru

Larisa N. Frolova Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, fln-84@mail.ru

https://orcid.org/0000-0002-6505-4136

Konstantin A. Sizikov external student, technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ska@combikorm.ru

Alexsandr N. Ostrikov Dr. Sci. (Engin.), head of department, technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ostrikov27@yandex.ru

https://orcid.org/0000-0002-2335-0017

Vitalii N. Vasilenko Dr. Sci. (Engin.), prorector, rektorat, Voronezh State University of Engineering Technologies , Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vvn_1977@mail.ru

https://orcid.org/0000-0002-1547-9814

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 25/01/2021	**После редакции** 16/02/2021	**Принята в печать** 01/03/2021
Received 25/01/2021	**Accepted in revised** 16/02/2021	**Accepted** 01/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-55-61 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.656 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Моделирование процессов обезвоживания провесной и вяленой рыбы

Михаил А. Ершов [1] eshovma@mstu.edu.ru 0000-0002-5072-2322
Александр М. Ершов [1] maershov@ya.ru 0000-0001-9854-2868
Евгений В. Лыжин [1] evlyzhin@mail.ru 0000-0002-5869-2180
Владимир А. Гроховский [1] v.grokhosky@mail.ru 0000-0002-1892-0257
Жанна Г. Димова [2] dimowa.zhanna2014@gmail.com 0000-0003-1197-1286

1 Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия
2 Московский государственный строительный университет, Ярославское ш., 26, Москва, 129337, Россия

Аннотация. В исследовании рассмотрены проблемы развития рыбохозяйственного комплекса в Мурманской области. Отмечено, что доля мороженой рыбы в объеме производства пищевой продукции из гидробионтов составляет около 90%. Приоритетными направлениями для отечественного рыбохозяйственного комплекса являются увеличение доли продукции с высокой добавленной стоимостью и развитие внутреннего рынка потребления рыбной продукции. Установлено, что провесная и вяленая рыбная продукция с заданными органолептическими свойствами традиционно пользуется устойчивым спросом у населения. Однако, ассортимент вяленой и провесной продукции представлен для покупателей недостаточно широко, а доля провесной и вяленой рыбы в общем объеме пищевой продукции из гидробионтов крайне мала. Эффективность производства вяленой, провесной рыбы можно повысить, если использовать научно обоснованные технологические подходы, позволяющие снизить производственные затраты и улучшить потребительские свойства готовой продукции. В работе затронуты аспекты обобщения процессов обезвоживания при производстве вяленой, провесной, копченой рыбы. Установлена взаимосвязь между начальной, критической влажностью рыбы и коэффициентами потенциалопроводности массопереноса. В математическом виде получена зависимость для расчета продолжительности и моделирования кинетики процессов сушки при производстве вяленой и провесной рыбы. Получены уравнения для расчета коэффициентов диффузии воды в критических точках кривой кинетики. Совместное использование полученных закономерностей позволяет моделировать процессы обезвоживания при выпуске вяленой и провесной рыбной продукции, рассчитывать время сушки, расчетным путем находить коэффициенты диффузии влаги и строить зависимости распределения воды в толще объекта обработки.

Ключевые слова: вяленая рыба, коэффициент, диффузия влаги, моделирование, процессы обезвоживания

Modeling of mass transfer processes during dehydration of air-dried fish

Mikhail A. Ershov [1] eshovma@mstu.edu.ru 0000-0002-5072-2322
Alexander M. Ershov [1] maershov@ya.ru 0000-0001-9854-2868
Evgenij V. Lyzhin [1] evlyzhin@mail.ru 0000-0002-5869-2180
Vladimir A. Grohovskiy [1] v.grokhosky@mail.ru 0000-0002-1892-0257
Zhanna G. Dimova [2] dimowa.zhanna2014@gmail.com 0000-0003-1197-1286

1 Murmansk State Technical University, st. Sportivnaya, 13, Murmansk, 183010, Russia
2 Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe rd., 26, Moscow, 129337, Russia

Abstract. The study addresses the problems of the Fisheries industry development in the Murmansk region. It has been acknowledged that the percentage of the frozen fish in the output of hydrobionts food products is about 90 %. The focus areas for the Russian Fisheries industry are the increasing share of products with high added value and the development of the domestic consumer market of fishery products. It has been found that the air-dried and dried fish products with defined organoleptic properties is traditionally in strong demand with the population. However, the range of air-dried and dried fish products available for the consumers is rather limited. Moreover, there is a very small part of air-dried and dried fish in the total volume of hydrobionts food products. It is possible to increase the efficiency of air-dried and dried fish production by using the scientific-based process solutions, which allow to reduce the production costs and improve the consumer properties of the finished products. This paper presents the aspects of generalization of the dehydration processes in the production of dried, air-dried and smoked fish. A link between the initial, critical moisture content of fish and the potential conductivity of mass transfer coefficients has been established. A mathematical relation for calculating the duration and modeling the kinetics of drying processes in production of dried and air-dried fish has been determined. The equations for calculating the water diffusion coefficients in the critical points of the kinetics curve have been obtained. The combined use of the received patterns allows to model the dehydration processes when producing the air-dried and dried fish products, calculate the drying time, determine the moisture diffusion coefficients and build dependencies of water distribution in the thickness of the processed object.

Keywords: dried fish, coefficient, moisture diffusion, modeling, dehydration processes

Для цитирования
Ершов М.А., Ершов А.М., Лыжин Е.В., Гроховский В.А., Димова Ж.Г. Моделирование процессов обезвоживания провесной и вяленой рыбы // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 55–61. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-55-61

For citation
Ershov M.A., Ershov A.M., Lyzhin E.V., Grohovskiy V.A., Dimova Zh.G. Modeling of mass transfer processes during dehydration of air-dried fish. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 55–61. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-55-61

© 2021, Ершов М.А. и др. / Ershov M.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Согласно решениям Смешанной Российско-Норвежской комиссии по рыболовству был установлен общий допустимый улов на 2020 год северо-восточной арктической трески в объеме 738 000 тонн, северо-восточной арктической пикши – 215 000 тонн. Для Российской Федерации в 2020 г. национальная квота на вылов трески составила 315277 тонн, для пикши – 92159 тонн. Промышленные квоты на вылов рыбы, требующей технологической обработки для улучшения вкусовых свойств, в Баренцевом море и северо-восточной Атлантике достаточно велики.

На рисунке 1 представлены данные по производству отдельных видов рыбной продукции в Мурманской области в 2020 г. [1].

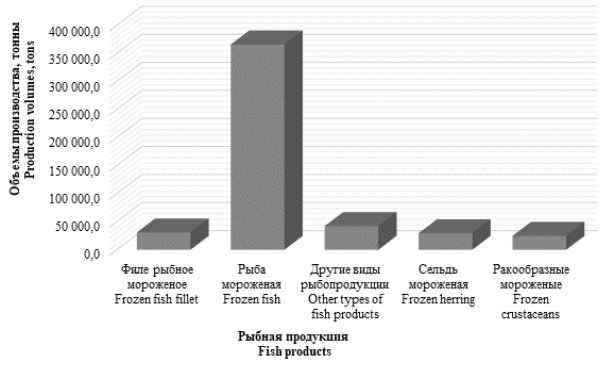


Рисунок 1. Производство рыбной продукции в Мурманской области

Figure 1. Fish production in the Murmansk region

На основании данных Мурманскстата можно сделать вывод, что доля мороженой рыбопродукции в объеме переработанных гидробионтов превышает 90%. Этот показатель указывает на сырьевую направленность рыбоперерабатывающей отрасли в Мурманской области [2].

Увеличение доли продукции с высокой добавленной стоимостью и развитие внутреннего рынка потребления рыбной продукции – это приоритетные направления для отечественного рыбохозяйственного комплекса. Низкая покупательская способность населения является причиной недостаточного уровня потребления рыбной продукции в Российской Федерации [2, 3]. Для увеличения среднедушевого потребления рыбы необходимо повысить объемы отечественного производства доступной рыбной продукции не менее, чем на 600 тыс. тонн [2].

Производство вяленой, провесной, копченой рыбной продукции при умеренном содержании соли в готовых изделиях позволяет получать деликатесную продукцию. Данные виды продукции пользуются устоявшимся спросом у населения [4, 5]. Однако производство провесной, вяленой и копченой рыбной продукции остается на невысоком уровне [1]. Эффективность данных производств можно повысить, если использовать научно обоснованные технологические подходы, позволяющие снизить производственные затраты, улучшить потребительские свойства готовой продукции, обеспечить ее безопасность [6, 7, 8, 9].

Технология производства рыбы вяленой, провесной, сушеной, а также холодного и горячего копчения сопровождается рядом тепло – массообменных и биохимических процессов. Эти процессы определяют качество готовой продукции. Существенное влияние на качество готовой продукции оказывают тепло – массообменные процессы, от которых зависят конечные свойства и стоимость произведенного готового продукта. В свою очередь, разработка современного и эффективного оборудования для копчения и вяления рыбы требует более полных сведений о закономерностях тепло- и массопереноса при обработке рыбы [10].

В настоящее время ещё велики затраты труда, энергии и материалов при выпуске деликатесной пищевой рыбной продукции, поэтому решение вопросов механизация технологических процессов, снижение затрат труда, энергии и материалов представляет важную хозяйственную задачу.

Цель работы – разработка обобщенных зависимостей для расчета продолжительности обезвоживания при производстве вяленой, провесной и копченой рыбной продукции.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись коммерческие образцы мороженой рыбной продукции (треска, камбала-ерш, скумбрия, путассу и др.)

Определение массовой доли воды в полуфабрикате и в готовой продукции осуществлялось высушиванием на приборе Чижовой по ГОСТ 7636.

Удельная поверхность рыбы ($м^2$/кг) определялась, как отношение площади рыбы к ее массе.

Массовая доля хлористого натрия находилась аргентометрическим методом по ГОСТ 7636.

Для построения экспериментальных кривых кинетики обезвоживания определялась влажность рыбы на сухую массу ω_i, (%), в соответствующие моменты времени по формуле:

$$w_i^c = \frac{m_i \cdot 100}{m_c - m_i}, \qquad (1)$$

где m_i – масса рыбы в определенный момент времени, кг; m_c – масса сухого вещества в рыбе, кг.

Расчет массы сухого вещества в рыбе:

$$m_c = m_0 \cdot \left(1 - \frac{w_0^o}{100}\right), \qquad (2)$$

где w^o_0 – начальная влажность рыбы на общую массу,%.

Расчет коэффициентов потенциалопроводности (диффузии воды) массопереноса производили, используя основное уравнение для потока влаги. Поток влаги в процессах холодного копчения и вяления q_m (кг/м^{2}с) для тел, по форме приближающихся к пластине:

$$q_m = -\frac{\lambda_m}{C_m \rho_o} \rho_o \nabla U = -a_m \rho_o \nabla U, \qquad (3)$$

где λ_m – коэффициент влагопроводности, кг/(м·с·ед. потенциала); C_m – удельная массоемкость, кг/(кг$_{с.в.}$·ед. потенциала); ρ_o – масса абсолютно сухого вещества в единице влажного тела, кг$_{с.в.}$/м^3; ∇U – градиент влагосодержания, кг/(кг$_{с.в.}$·м); a_m – коэффициент диффузии воды в рыбе, м^2/с

Обобщение экспериментальных зависимостей кинетики обезвоживания провесной и вяленой рыбы проводили на основе безразмерных чисел подобия:

$$\frac{\omega^c}{\omega_{к1}{}^c} \cdot \frac{\omega^c}{\omega_{к2}{}^c} = f\left(\frac{\tau}{\tau_{к1}} \cdot \frac{\tau}{\tau_{к2}}\right), \qquad (4)$$

Поиск математического выражения и коэффициентов зависимости (4) осуществлялся с помощью программы XLSTAT – надстройки для анализа данных Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

В выражении (4) длительность $\tau_{к1}$ учитывает влияние на продолжительность обезвоживания температуры сушильного агента, его относительной влажности, а также геометрической формы и содержания влаги в объекте сушки; $\tau_{к2}$ косвенно учитывает изменчивость внутренних свойств объекта в процессе обработки, обусловленных формой и энергией связи воды с материалом. В результате обработки экспериментальных данных было подобрано математическое выражение обобщенной зависимости (4) для расчета текущей влажности рыбы в процессе обезвоживания:

$$w^c = \left(w^c_{k1} w^c_{k2} \left(\begin{matrix} 1{,}394 \Big/ \left(1 + \left(\dfrac{\tau^2}{\tau_{k1}\tau_{k2} 4528{,}678}\right)^{0{,}433}\right)^{10{,}003} + \\ +0{,}011 \end{matrix} \right) \right)^{0{,}5} \qquad (5)$$

Также было найдено математическое выражение обобщенной зависимости для расчета продолжительности процесса обезвоживания:

$$\tau = \left(\tau_{k1}\tau_{k2} \left(\begin{matrix} 10744{,}968 \Big/ \left(1 + \left(\dfrac{w^{c2}}{w^c_{k1} w^c_{k2} \cdot 0{,}034}\right)^{0{,}491}\right)^{3{,}296} - \\ -23{,}791 \end{matrix} \right) \right)^{0{,}5} \qquad (6)$$

Полученные выражения могут использоваться при расчете длительности процессов обезвоживания при производстве провесной, вяленой и копченой рыбы, а также моделировании кривых сушки данных процессов. Изучение кинетики сушки на математических моделях позволяет обосновывать и разрабатывать рациональные режимы тепловой обработки сырья [11, 12]. Значения $\tau_{k1}\tau_{k2}$ в формуле (5) и $w^c_{k1} w^c_{k2}$ (6) находятся с использованием зависимостей, представленных ранее [10].

Для моделирования динамики распределения воды в объекте обработки необходимо иметь значения коэффициентов потенциалопроводности массопереноса [13, 14]. Значения этих коэффициентов зависят от содержания воды в рыбе и энергии связи воды с тканями рыбы [15–20].

Для расчета коэффициентов потенциалопроводности массопереноса воды используется обобщенная функциональная зависимость 3]:

$$\left(w^c / w^c{}_{k1}\right) \times \left(w^c / w^c{}_{k2}\right) = f\left(a_m / a_{mk1}\right) \times \left(a_m / a_{mk2}\right), \quad (7)$$

где a_m, a_{mk1}, a_{mk2} – коэффициенты диффузии влаги, соответствующие текущей w^c, первой $w^c{}_{k1}$ и второй $w^c{}_{k2}$ критическим влажностям на сухую массу, соответственно.

В математическом виде обобщенная зависимость для расчета коэффициентов диффузии представлена следующим выражением:

$$a_m = \left(a_{mk1} a_{mk2} \exp\left(\begin{matrix} -6{,}36 + 6{,}32\left(w^c / w^c{}_{k1}\right) \times \\ \times \left(w^c / w^c{}_{k2}\right) \end{matrix} \right) \right)^{0{,}5} \qquad (8)$$

С помощью полученной зависимости рассчитываются коэффициенты потенциалопроводности массопереноса в рыбе по одному экспериментальному значению. Рассмотрим возможность нахождения коэффициентов диффузии влаги без постановки эксперимента.

Преобразуем выражение (8), возведя левую и правую части уравнения в квадрат:

$$a_m{}^2 = a_{mk1} a_{mk2} exp\left(\begin{matrix} -6{,}36 + \\ +6{,}32 w^{c2} \Big/ \left(w^c / w^c{}_{k1}\right) \Big/ \left(w^c / w^c{}_{k2}\right) \end{matrix} \right) \qquad (9)$$

Коэффициенты диффузии влаги a_{m0} при влажности равной начальной $w^c{}_0$ будут иметь максимальное значение, то есть, $a_{m0}{}^2 = f\,(w^c{}_0{}^2)$.

Значения коэффициентов a_{mk1} и a_{mk2} обратно пропорциональны критическим влажностям w^c_{k1}, w^c_{k2}, которые зависят от начальной влажности w_0 на общую массу [10]:

$$w^c_{k1} = 1{,}069 w^{c\ 0{,}969}_0, \quad (10)$$

$$w^c_{k2} = 0{,}784 w^c_0 + 2 \quad (11)$$

Неизвестное значение произведения $a_{mk1} \cdot a_{mk2}$ в уравнении (9) может быть найдено расчетным путем, используя зависимости, полученные на основе обобщения экспериментальных данных. Для этого в уравнении (9) разделим правую и левую части на произведение $a_{mk1} \cdot a_{mk2}$, тогда уравнение (9) приобретет более удобный для анализа вид:

$$a_m^{\ 2} / (a_{mk1} \times a_{mk2}) = exp\left(-6{,}36 + 6{,}32 w^{c2} / \left(w^c / w^c_{k2}\right)\right) \quad (12)$$

Из уравнений (9)–(12) следует, что: $a_{m0}^{\ 2} = f(w^{c\ 2}_0); a_{m0}^{\ 2} = f(w^c_{k1}); a_{m0}^{\ 2} = f(w^c_{k2})$.

На рисунках 2 и 3 представлены графики изменения произведения начальной влажности рыбы на сухую массу w_0^2 и коэффициентов диффузии влаги a_{mk1} и a_{mk2} в зависимости от первой w^c_{k1} и второй w^c_{k2} критических влажностей.

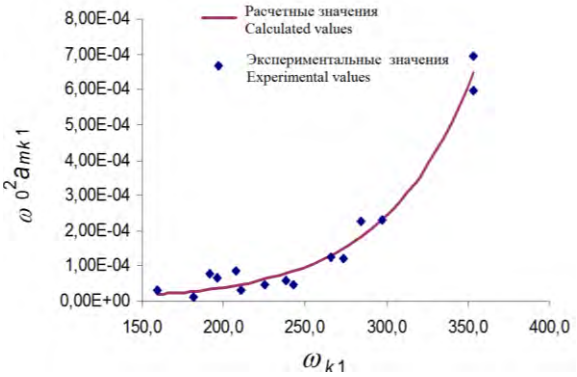


Рисунок 2. $w^{c}_0{}^2 a_{mk1} = f(w^c_{k1})$

Figure 2. $w^{c}_0{}^2 a_{mk1} = f(w^c_{k1})$

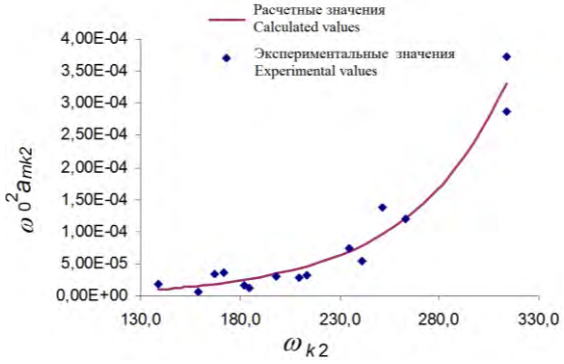


Рисунок 3. $w^{c}_0{}^2\ a_{mk2} = f(w^c_{k2})$

Figure 3. $w^{c}_0{}^2 a_{mk2} = f(w^c_{k2})$

Коэффициенты корреляции между двумя множествами на рисунке 2 и рисунке 3 составили 0,88, что указывает на существование функциональной зависимости между $w^{c}_0{}^2 a_{mk1}$ и w^c_{k1}; $w^{c}_0{}^2 a_{mk2}$ и w^c_{k2}. В математическом виде зависимости, представленные на рисунках 2 и 3, выглядят следующим образом:

$$a_{mk1} = exp\left(-13{,}845 + 1{,}842\ 10^{-2} w^c_{k1}\right) / w^{c\ 2}_0, \quad (13)$$

$$a_{mk2} = exp\left(-14{,}253\ + 1{,}982\ 10^{-2} w^c_{k2} / w^{c\ 2}_0\right). \quad (14)$$

Уравнения (13) и (14) используются для вычисления произведения $a_{mk1} \cdot a_{mk2}$, которое подставляется в выражение (8) для расчета коэффициентов диффузии воды.

На рисунке 4 представлены расчетные и экспериментальные кривые обезвоживания при изготовлении провесной трески. Расчетные значения получены по формуле (5). Параметры технологического процесса обезвоживания трески: $t_т$ – температура теплоносителя (воздуха), $t_т$ = 20 °С; $\varphi_т$ – относительная влажность теплоносителя, $\varphi_т$ = 50%; v – скорость движения теплоносителя, v = 1,5 м/с; w_0 – начальная влажность рыбы на общую массу, w_0 = 79,8%; s/m – удельная поверхность рыбы, s/m = 0,21 м^2/кг.

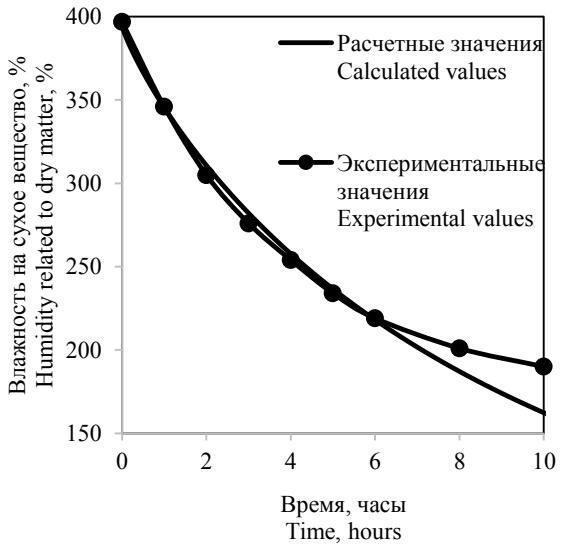


Рисунок 4. Расчетные и экспериментальные кривые обезвоживания провесной трески

Figure 4. Calculated and measured dehydration curves of air-dried cod

На рисунке 5 представлены экспериментальные и расчетные значения коэффициентов диффузии влаги, полученные при изготовлении провесной трески. Расчетные коэффициенты диффузии влаги находились с использованием выражений (9), (13) и (14).

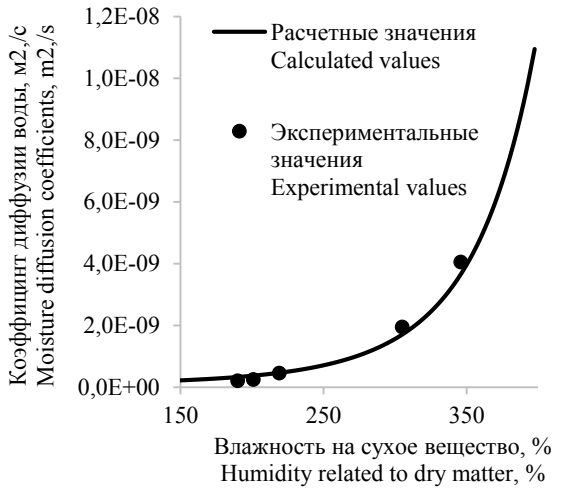


Рисунок 5. Расчетные и экспериментальные коэффициенты диффузии влаги провесной трески

Figure 5. Calculated and measured moisture diffusion coefficients of air-dried cod

Использование выражений (5), (6), (8)–(14) позволяет получать решения уравнения в частных производных диффузионного типа, например, для одномерного (по пространству) дифференциального уравнения в частных производных:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x}\left(a_m \frac{\partial U}{\partial x} \right) \quad (15)$$

где x – пространственная координата.

Таким образом, применяя численные методы расчета, можно строить не только кривые кинетики обезвоживания (рисунок 4), но и кривые распределения воды по толщине продукта в течение сушки.

Заключение

Разработаны обобщенные зависимости для расчета продолжительности обезвоживания при производстве вяленой, провесной и копченой рыбной продукции. Полученные закономерности позволяют моделировать кривые обезвоживания при изготовлении вяленой и провесной рыбы. Найдены зависимости для расчета коэффициентов потенциалопроводности в критических точках кривой кинетики обезвоживания. Полученные формулы могут использоваться для расчета коэффициентов диффузии воды в рыбе. Это дает возможность моделировать кривые динамики распределения воды в объекте обработки.

Литература

1 Социально-экономическое положение Мурманской области в 2020 году: доклад // Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. Мурманск, 2020. 67 с.

2 Шестаков И.В. Доклад заместителя Министра сельского хозяйства Российской Федерации на расширенном заседании Коллегии «Итоги деятельности Федерального агентства по рыболовству в 2016 году и задачи на 2017 год» (Москва, 30 марта 2017 г.). URL: http://fish.gov.ru/obiedinennaya-press-sluzhba/vystupleniya-i-intervyu-rukovodstva/17486-doklad-zamestitelya-ministra-selskogo-khozyajstva-rossijskoj-federatsii-rukovoditelya-federalnogo-agentstva-po-rybolovstvu-ili-vasilevicha-shestakova-na-rasshirennom-zasedanii-kollegii-itogi-deyatelnosti-federalnogo-agentstva-po-rybolovstvu-v-2016-godu-i

3 Итоги деятельности Федерального агентства по рыболовству в 2019 году: материалы Коллегии // Федеральнок агентство по рыболовству. URL: http://fish.gov.ru/files/documents/ob_agentstve/kollegiya/itogi_2020.pdf

4 Мусина А.Р., Глазунов Ю.В. Оценка качества и безопасности вяленой чехони, реализуемой на рынках города Тюмени // АПК: инновационные технологии. 2020. № 2. С. 19-26. doi: 10.35524/2687-0436_2020_02_19

5 Неверов Е.Н., Салищева О.В., Коротких П.С. Методы совершенствования технологии хранения сушено-вяленой рыбы // Вестник КрасГАУ. 2019. № 3(144). С. 175-181.

6 Есина Л.М., Горбенко Л.А. Актуализация документов по стандартизации на рыбу провесную для обеспечения соблюдения требований ТР ЕАЭС 040/2016 // Водные биоресурсы и среда обитания. 2020. Т. 3. № 4. С. 89-102. doi: 10.47921/2619-1024_2020_3_4_89

7 Пат. № 2584442, RU, A23B 4/00, 4/03. Способ производства вяленой рыбы / Ершов М.А., Ершов А.М., Селяков И.Ю. и др. № 2015108980/13; Заявл. 13.03.2015; Опубл. 20.05.2016. Бюл. № 14

8 Ершов М.А. Научное обоснование технологии обезвоживания рыбы с использованием релаксационных процессов // Рыбное хозяйство. 2018. №. 6. С. 98-100.

9 Пат. № 2619983, RU, A23B 4/03. Способ приготовления вяленой рыбы / Прокопец Ж. Г., Журавлева С.В, Бойцова Т.М. и др. № 2016101279; Заявл. 19.01.2016; Опубл. 22.05.2017. Бюл. № 15.

10 Ершов М.А., Ершов А.М., Гроховский В.А. Расчет процессов релаксации при обезвоживании рыбы // Вестник ВГУИТ. 2016. № 3. С. 37–43. doi: 10.20914/2310-1202-2016-3-37-43

11 Lemus-Mondaca R., Pizarro-Oteíza S., Perez-Won M., Tabilo-Munizaga G. Convective drying of osmo-treated abalone (Haliotis rufescens) slices: diffusion, modeling, and quality features // Journal of Food Quality. 2018. doi: 10.1155/2018/6317943

12 Maisnam D. et al. Recent advances in conventional drying of foods // Journal of Food Technology and Preservation. 2017. V. 1. № 1. P. 25-34.

13 Ramachandran R.P., Akbarzadeh M., Paliwal J. et al. Computational fluid dynamics in drying process modelling-a technical review // Food and bioprocess technology. 2018. V. 11. № 2. P. 271-292. doi: 10.1007/s11947-017-2040-y

14 Gao X., Wang J., Wang S., Li Z. Modeling of drying kinetics of green peas by reaction engineering approach // Drying technology. 2016. V. 34. № 4. P. 437-442. doi: 10.1080/07373937.2015.1060491

15 Mewa E.A., Okoth M.W., Kunyanga C.N., Rugiri M.N. Experimental evaluation of beef drying kinetics in a solar tunnel dryer // Renewable energy. 2019. V. 139. P. 235-241. doi: 10.1016/j.renene.2019.02.067

16 Varga M., Balogh S., Wei Y., Li D. et al. Dynamic simulation based method for the reduction of complexity in design and control of Recirculating Aquaculture Systems // Information Processing in Agriculture. 2016. V. 3. № 3. P. 146-156. doi: 10.1016/j.inpa.2016.06.001

17 Takashige S., Iwamoto S., Shiga H., Kakizaki Y. et al. Stability of Fish Oil Encapsulated in Spray-dried Powders Coated with Starch Particles // Food Science and Technology Research. 2019. V. 25. № 3. P. 363-371. doi: 10.3136/fstr.25.363

18 Noma S., Koyanagi L., Kawano S., Hayashi N. Application of Pressurized Carbon Dioxide during Salt-Reduced Sardine Fish Sauce Production // Food Science and Technology Research. 2020. V. 26. № 2. P. 195-204. doi: 10.3136/fstr.26.195

19 Andot L.P., Pobar R.A. Dried Porang Industry in Lakewood, Zamboanga Del Sur, Philippines // International Journal of Environmental and Rural Development. 2017. V. 8. № 2. P. 94-99. doi: 10.32115/ijerd.8.2_94

20 Komolafe C.A., Ojediran J.O., Ajao F.O., Dada O.A. et al. Modelling of moisture diffusivity during solar drying of locust beans with thermal storage material under forced and natural convection mode // Case Studies in Thermal Engineering. 2019. V. 15. P. 100542. doi: 10.1016/j.csite.2019.100542

References

1 Socio-economic situation of the Murmansk region in 2020: report. Federal State Statistics Service, Territorial Body of the Federal State Statistics Service for the Murmansk Region. Murmansk, 2020.67 p. (in Russian).

2 Shestakov I.V. Report of the Deputy Minister of Agriculture of the Russian Federation at an expanded meeting of the Board "Results of the activities of the Federal Agency for Fisheries in 2016 and objectives for 2017" (Moscow, March 30, 2017). Available at: http://fish.gov.ru/obiedinennaya-press-sluzhba/vystupleniya-i-intervyu-rukovodstva/17486 doklad-zamestitelya-ministra-selskogo-khozyajstva-rossijskoj-federatsii-rukovoditelya-federalnogo-agentstva-federalnogo-agentstva-federalnogo-agentstva -ili-vasile-vicha-shestakova-na-rasshirennom-zasedanii-kollegii-itogi-deyatelnosti-federalnogo-agentstva-po-rybolovstvu-v 2016 godu-i (in Russian).

3 Results of the activities of the Federal Agency for Fisheries in 2019: materials of the Board. Federal Agency for Fisheries. Available at: http://fish.gov.ru/files/documents/ob_agentstve/kollegiya/itogi_2020.pdf (in Russian).

4 Musina A.R., Glazunov Yu.V. Assessment of the quality and safety of dried sabrefish sold in the markets of the city of Tyumen. APK: innovative technologies. 2020. no. 2. pp. 19-26. doi: 10.35524 / 2687-0436_2020_02_19 (in Russian).

5 Neverov E.N., Salishcheva O.V., Korotkikh P.S. Methods for improving the storage technology of dried and dried fish. Bulletin of KrasGAU. 2019. no. 3 (144). pp. 175-181. (in Russian).

6 Esina L.M., Gorbenko L.A. Updating of documents on standardization for suspended fish to ensure compliance with the requirements of TR EAEU 040/2016. Aquatic bioresources and habitat. 2020. vol. 3. no. 4. pp. 89-102. doi: 10.47921 / 2619-1024_2020_3_4_89 (in Russian).

7 Ershov M.A., Ershov A.M., Selyakov I.Yu. et al. Method for the production of dried fish. Patent RF, no. 2584442, 2016.

8 Ershov M.A. Scientific substantiation of fish dehydration technology using relaxation processes. Rybnoe khozyaistvo. 2018. no. 6. pp. 98-100. (in Russian).

9 Prokopets Zh.G., Zhuravleva S.V., Boytsova T.M. et al. Method for preparing dried fish. Patent RF, no. 2619983, 2017.

10 Ershov M.A., Ershov A.M., Grokhovsky V.A. Calculation of relaxation processes during fish dehydration. Proceedings of VSUET. 2016. no. 3. pp. 37–43. doi: 10.20914 / 2310-1202-2016-3-37-43 (in Russian).

11 Lemus-Mondaca R., Pizarro-Oteíza S., Perez-Won M., Tabilo-Munizaga G. Convective drying of osmo-treated abalone (Haliotis rufescens) slices: diffusion, modeling, and quality features. Journal of Food Quality. 2018. doi: 10.1155/2018/6317943

12 Maisnam D. et al. Recent advances in conventional drying of foods. Journal of Food Technology and Preservation. 2017. vol. 1. no. 1. pp. 25-34.

13 Ramachandran R.P., Akbarzadeh M., Paliwal J. et al. Computational fluid dynamics in drying process modelling-a technical review. Food and bioprocess technology. 2018. vol. 11. no. 2. pp. 271-292. doi: 10.1007/s11947-017-2040-y

14 Gao X., Wang J., Wang S., Li Z. Modeling of drying kinetics of green peas by reaction engineering approach. Drying technology. 2016. vol. 34. no. 4. pp. 437-442. doi: 10.1080/07373937.2015.1060491

15 Mewa E.A., Okoth M.W., Kunyanga C.N., Rugiri M.N. Experimental evaluation of beef drying kinetics in a solar tunnel dryer. Renewable energy. 2019. vol. 139. P. 235-241. doi: 10.1016/j.renene.2019.02.067

16 Varga M., Balogh S., Wei Y., Li D. et al. Dynamic simulation based method for the reduction of complexity in design and control of Recirculating Aquaculture Systems. Information Processing in Agriculture. 2016. vol. 3. no. 3. pp. 146-156. doi: 10.1016/j.inpa.2016.06.001

17 Takashige S., Iwamoto S., Shiga H., Kakizaki Y. et al. Stability of Fish Oil Encapsulated in Spray-dried Powders Coated with Starch Particles. Food Science and Technology Research. 2019. vol. 25. no. 3. pp. 363-371. doi: 10.3136/fstr.25.363

18 Noma S., Koyanagi L., Kawano S., Hayashi N. Application of Pressurized Carbon Dioxide during Salt-Reduced Sardine Fish Sauce Production. Food Science and Technology Research. 2020. vol. 26. no. 2. pp. 195-204. doi: 10.3136/fstr.26.195

19 Andot L.P., Pobar R.A. Dried Porang Industry in Lakewood, Zamboanga Del Sur, Philippines. International Journal of Environmental and Rural Development. 2017. vol. 8. no. 2. pp. 94-99. doi: 10.32115/ijerd.8.2_94

20 Komolafe C.A., Ojediran J.O., Ajao F.O., Dada O.A. et al. Modelling of moisture diffusivity during solar drying of locust beans with thermal storage material under forced and natural convection mode. Case Studies in Thermal Engineering. 2019. vol. 15. pp. 100542. doi: 10.1016/j.csite.2019.100542

Сведения об авторах

Михаил А. Ершов к.т.н., ст. науч. сотр., кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, eshovma@mstu.edu.ru
https://orcid.org/0000-0002-5072-2322

Александр М. Ершов д.т.н., профессор, кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, maershov@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-9854-2868

Евгений В. Лыжин аспирант, кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, evlyzhin@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5869-2180

Владимир А. Гроховский д.т.н., профессор, заведующий кафедрой, кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, v.grokhosky@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1892-0257

Жанна Г. Димова студент, факультет промышленного и гражданского строительства, Московский государственный строительный университет, Ярославское ш., 26, Москва, 129337, Россия, dimowa.zhanna2014@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-1197-1286

Information about authors

Mikhail A. Ershov Cand. Sci. (Engin), senior researcher, Food Production Technology Department, Murmansk State Technical University, str. Sport, 13, Murmansk, 183010, Russia, eshovma@mstu.edu.ru
https://orcid.org/0000-0002-5072-2322

Alexander M. Ershov Dr. Sci. (Engin.), professor, food production technology department, Murmansk State Technical University, str. Sport, 13, Murmansk, 183010, Russia, maershov@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-9854-2868

Evgenij V. Lyzhin graduate student, food production technology department, Murmansk State Technical University, str. Sport, 13, Murmansk, 183010, Russia, evlyzhin@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5869-2180

Vladimir A. Grohovskiy Dr. Sci. (Engin.), professor, head of department, food production technology department, Murmansk State Technical University, str. Sport, 13, Murmansk, 183010, Russia, v.grokhosky@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1892-0257

Zhanna G. Dimova student, faculty of industrial and civil engineering, Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe rd., 26, Moscow, 129337, Russia, dimowa.zhanna2014@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-1197-1286

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 27/01/2021	**После редакции** 10/02/2021	**Принята в печать** 01/03/2021

Received 27/01/2021	**Accepted in revised** 10/02/2021	**Accepted** 01/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-62-70 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.1.054 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Моделирование процесса роста кристаллов сахарозы в сахарсодержащем растворе

Евгений В. Семенов [1] sem-post@mail.ru 0000-0001-6203-1783
Анатолий А. Славянский [1] anatoliy4455@ya.ru 0000-0002-0262-8841
Вера А. Грибкова [1] instituttpp@ya.ru 0000-0002-5079-8132
Дарья П. Митрошина [1] d_mitr96@mail.ru 0000-0002-8724-3368
Сергей Т. Антипов [2] ast@vsuet.ru 0000-0003-4299-1538

1 Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Талалихина, 31, г. Москва, 109004, Россия
2 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Кристаллизация сахарозы представляет собой один из наиболее важных этапов в технологическом потоке получения товарного сахара. По своей природе – это развивающийся в достаточно широком температурном диапазоне, условиях изменяющейся концентрации раствора, его пептизации и другого массообменный процесс образования и роста кристаллов сахара в сахарном растворе путем диффузионного переноса в нем молекул сахарозы. К этому нужно добавить еще и такие осложняющие физико-математическую формализацию явления, влияющие на кристаллизацию, как форма кристалла, чистота, вязкостные свойства и поверхностное натяжение раствора, наличие в нем несахаров и т.п. Поэтому среди обусловливающих в целом протекание процесса факторов обычно проводят, сохраняя среди них лишь приоритетные и наиболее важные с позиций исследования. С точки зрения классической диффузионной теории явление кристаллизации трактуется как молекулярный с бесконечной скоростью распространения возмущения от источника диффузионный перенос в растворе молекул сахарозы, вследствие чего концентрация в сахарсодержащей жидкостной системе также полагается изменяющейся мгновенно в каждой точке. Однако, поскольку в реальных условиях этот эффект не наблюдается, то, с целью разрешить это противоречие, вводят понятия возмущенного и невозмущенного, разделенных называемым диффузионным фронтом концентрации областей этих фазовых состояний. Используя кинематические характеристики фронта, определяют время протекания процесса кристаллизации в целом по обеим фазам. Что позволяет с большей, по сравнению с полученными на базе классической теорией результатами, точностью рассчитать период обработки раствора.

Ключевые слова: вакуум-аппарат, концентрация раствора, затравка, кинетика кристаллизации, сахароза

Simulation of the growth of sucrose crystals in a sugar-containing solution

Evgeny V. Semenov [1] sem-post@mail.ru 0000-0001-6203-1783
Anatoly A. Slavyansky [1] anatoliy4455@ya.ru 0000-0002-0262-8841
Vera A. Gribkova [1] instituttpp@ya.ru 0000-0002-5079-8132
Daria P. Mitroshina [1] d_mitr96@mail.ru 0000-0002-8724-3368
Sergey T. Antipov [2] ast@vsuet.ru 0000-0003-4299-1538

1 Moscow State University of Technology and Management. K.G. Razumovsky, st. Talalikhina, 31, Moscow, 109004, Russia
2 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Crystallization is one of the most important steps in the technological flow of commodity sugar. By its nature, it develops in a fairly wide temperature range, conditions of varying concentration of the solution, its peptization and other mass-exchange process of formation and growth of sugar crystals in a sugar solution by diffusion transfer in it sucrose molecules. To this it is necessary to add such complicating physical and mathematical formalization phenomena, affecting crystallization, such as the shape of the crystal, purity, viscous properties and surface tension of the solution, the presence of non-sugars, etc. Therefore, among the factors that determine the whole process, the factors usually take place, keeping among them only priority and most important from the point of view of the study. The article, unlike known analogues, provides justification and quantitative analysis of the kinetics of the sucrose crystallization process, taking into account the features of the crystal shape and diffusion properties of the solution. From the point of view of classical diffusion theory, the phenomenon of crystallization is interpreted as molecular with infinite rate of perilation from the source of diffusion transfer in the solution of sucrose molecules, so that the concentration in the sugar-containing liquid system is also supposed to change instantly at each point. However, since in the real world this effect is not observed, in order to resolve this contradiction, introduce the concepts of the indignant and unperturbed, separated by the diffusion front of the concentration of the regions of these phase states. Using the kinematic characteristics of the front, determine the time of the crystallization process in general in both phases. This allows us to calculate the processing period of the solution with greater accuracy than the results obtained on the basis of classical theory.

Keywords: vacuum apparatus, solution concentration, seed, crystallization kinetics, sucrose

Для цитирования

Семенов Е.В., Славянский А.А., Грибкова В.А., Митрошина Д.П., Антипов С.Т. Моделирование процесса роста кристаллов сахарозы в сахарсодержащем растворе // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 62–70. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-62-70

For citation

Semenov E.V., Slavyansky A.A., GribkovaV.A., Mitroshina D.P. Antipov S.T. Simulation of the growth of sucrose crystals in a sugar-containing solution. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 62–70. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-62-70

© 2021, Семенов Е.В. и др. / Semenov E.V. et al.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Хотя в настоящее время известно четыре научные гипотезы кристаллизации сахарозы, в число которых входит термодинамическая, диффузионная, молекулярно-кинетическая и дислокационная, по нашему мнению, наиболее простой и эффективной для прогнозирования протекания процесса кристаллизации является диффузионная гипотеза П.М. Силина [1–6]. В ней кристаллизация определяется как двухстадийное физическое явление: сначала инициация в чистом сахарсодержащем растворе в виде центров кристаллизации (первая стадия процесса), затем их эволюция – рост кристаллов (вторая стадия). По завершении интродукции в пересыщенный раствор затравочного материала, представляющего собой первую стадию процесса, сам процесс кристаллизации (вторая стадия) осуществляется при температуре $T > 50$ °С в условиях градиента концентрации сахарозы в растворе на границе раздела фаз: "жидкость (раствор сахарозы) + твердое (кристалл)", когда молекулы сахарозы адсорбируются на поверхности кристалла и встраиваются в кристаллическую решетку.

Следует отметить, что современная диффузионная теория процесса кристаллизации не учитывает влияния формы кристаллов на динамику кристаллообразования. Авторы статьи считают наиболее близкой к истине концепцию П.М. Силина [1], полагавшего, что на 1 м^2 поверхности кристаллов конденсируется одинаковое количество сахара независимо от их размера.

Стоит обратить внимание на то, что в процессе кристаллизации условия роста кристаллов изменяются беспрерывно. Так, уменьшение объема и толщины слоя межкристального пространства, а также его концентрации наблюдается при росте размеров кристаллов. Помимо этого, вследствие имеющего место возрастания температуры в вакуум-аппарате в результате конденсации, интенсифицируется и собственно диффузионный перенос молекул сахарозы к поверхности кристалла.

Обзор посвященных научно-техническому обоснованию проблемы кристаллообразования сахарозы в вакуум-аппарате зарубежных литературных источников, с одной стороны, показывает, что по-прежнему, усилия специалистов-сахарников в большой степени направлены на изучение традиционной для сахарного производства задачи количественного анализа, в условиях изменения размера кристалла, процесса кристаллообразования в вакуум-аппарате. Так, работы [8, 9] посвящены оценке кинетики кристаллизации сахарозы на основе полученных в кристаллизаторах опытных данных при равномерно-монотонном убывании температуры раствора. Для чего при измерении размера кристалла был применен оптический микроскоп совместно со сканирующим электронным микроскопом типа SEM. При этом рассчитанные результаты сравниваются с полученными в других работах данными.

С другой стороны, особенность литературных источников, с очевидностью, указывает на ускорение перехода научного сообщества в области сахарного производства к использованию в исследованиях углубленного научного анализа, основанного на проведении опытов с использованием новейших образцов в области экспериментального оборудования [10–20]. Это связано с тем, что на практике в растворах, в том числе, и сахарсодержащих, явление кристаллообразования часто протекает в условиях, при которых, увеличивая свой размер, кристалл по габитусу отклоняется от своей классической формы в чистом растворе, т. е. становится дефектообразным. Данный фактор во многих исследованиях служит предметом пристального внимания ученых. Причем, поскольку этот процесс может инициироваться и выступающими в качестве центров кристаллизации имеющими размеры порядка одного нанометра молекулами сахарозы, то в статьях [10, 11] были изучены темпы роста кристаллизации сахарозы в чистых растворах при температуре в кристаллизаторе 313 К и пересыщении 0,094–0,181. При этом полученный кинетический коэффициент (коэффициент диффузии) изменился при начальном перенасыщении с $D = 2{,}79\times 10^{-7}$ до конечного $D = 9{,}45\times10^{-5}$ м^2/с, соответствующий размер кристалла варьировался от $1{,}46\times10^{-9}$до$7{,}47\times 10^{-9}$ м.

С теоретической позиции концепция трактовки явления кристаллизации, в том числе, и сахарозы как молекулярного диффузионного переноса массы (или, аналогично, явления переноса тепловой энергии в классической теории теплопроводности) скорость распространения возмущения от источника массы или энергии принимается бесконечной, вследствие чего концентрация раствора или температура среды изменяются мгновенно в каждой его точке. Чтобы учесть этот фактор вводят понятие «диффузионного фронта» $x = \rho(t)$ (рисунок 1). При этом для раствора на фронте осуществляются условия:

1) концентрация c равна концентрации невозмущенной области;

2) производная $\partial c/\partial x$ на фронте полагается равной нулю, что влечет за собой плавное непрерывное распределение концентрации, а также потока концентрации в возмущенной области и во всей исследуемой области.

Принятые допущения означают, что процесс распространения концентрации осуществляется в две фазы.

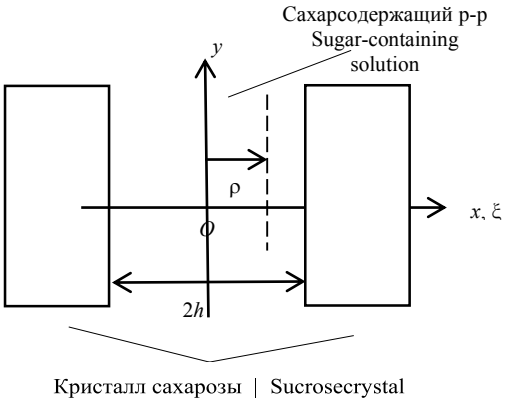


Рисунок 1. Схема к расчету процесса кристаллизации сахарозы в вакуум-аппарате

Figure1.Scheme for calculating the process of crystallization of sucrose in a vacuum apparatus

Ниже, согласно предложенной П.М. Силиным диффузионной модели, с учетом перечисленных особенностей кинетики кристаллообразования в условиях молекулярной конденсации, проводится аналитический и численный анализ процесса кристаллизации сахарозы в вакуум-аппарате.

Постановка задачи

Ставится задача: при заданных геометрических и физико-механических параметрах процесса кристаллообразования получить, с учетом фактора наличия фронта концентрации, количественную оценку по времени эволюции роста размера кристаллов сахарозы, их объемного содержания при обессахаривании межкристального раствора в вакуум-аппарате.

Предварительно, с целью обосновать среднее значение h расстояния между частицами сахарозы исходя из величины объемной концентрации их в растворе принимается, что если $V_{чс}$ и $V_{ут}$ – соответственно, общий объем кристаллов и объем утфеля в вакуум-аппарате, η – объемная концентрация кристаллов в томже объеме, то в соответствии с принятой геометрической моделью жидкостной системы половина расстояния h между двумя соседними частицами составит [6]

$$h = \delta / (2\eta^{1/3}), \quad 0 < \eta < 1, \qquad (1)$$

где $\eta = V_{чс} / V_{ут}$, δ – приведенный диаметр частицы сахарозы.

Считают, что массоперенос к частице из жидкой среды осуществляется симметрично и, кроме того, для выбранной расчетной модели с удовлетворительной точностью выполняются все предположения относительно физико-механических свойств исследуемого объекта.

Поток концентрации q (объем вещества, отводимого с единицы поверхности в единицу времени) целевой субстанции (сахарозы) в направлении оси x в принятой одномерной модели массопереноса рассчитывают по формуле согласно первому закону Фика

$$q = -D\frac{\partial c}{\partial x}, \qquad (2)$$

где D – коэффициент диффузии, c – объемная концентрация сахарозы.

При формализации физической модели предполагают, что концентрация сахарозы в исходном растворе одинакова по всему объему, центры кристаллизации распределены равномерно, кристаллы в процессе своего роста имеют форму, близкую прямоугольному параллелепипеду и сохраняют приблизительно схожие размеры. Кроме того, дополнительно считают, что начальный пересыщенный объем раствора включает как центры кристаллизации, достаточно большое количество молекул и частиц этого продукта настолько малым размером, что эти частицы диффундировали к поверхности кристалла и впоследствии встраивались в кристаллическую решетку.

В дальнейшем полагают, что процесс кристаллообразования сахарозы обусловлен ростом кристалла лишь в направлении большей из его граней, то есть, в направлении оси x. Тогда в качестве приближенной геометрической модели кристалла принимается полупространство $x > h$, ограниченное поверхностью $x = h$, к которому из области $0 \le x \le h$ раствора диффундируют молекулы данного вещества (рисунок 1).

Более того, считают, что исследуемый процесс развивается, если концентрация сахарозы превышает растворимость ее или так называемую равновесную концентрацию, т. е. при наличии разницы в концентрации растворенного вещества в пересыщенном растворе.

Тогда с целью количественного анализа задачи о росте кристалла в соответствии с законом сохранения массы приходят к кинетическому уравнению [1]

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D\frac{\partial^2 c}{\partial x^2}, \qquad (3)$$

где t – время, D – полагаемый постоянной величиной коэффициент диффузии.

В таком случае, если $c_п$ – исходная концентрация сахарозы в пересыщенном растворе, то решение уравнения (3) согласуют с начальным условием

$$c(x, 0) = c_п = \text{const}, \ 0 < x < h. \qquad (4)$$

В свою очередь, поскольку посередине расстояния x = 0 между двумя соседними кристаллами концентрация раствора сахарозы достигает максимальное значение, то граничное условие имеет форму

$$\frac{\partial c(0,t)}{\partial x} = 0, 0 < t < \infty. \quad (5)$$

В соответствии с концепцией Л.П. Хворовой и В.А. Коваленко [4, 5] через определенный промежуток времени по мере роста кристалла в растворе в контактирующем с поверхностью кристалла слое раствора скорость осаждения вещества определяется законом (2), что согласуется с представлением о наличии в растворе фронта концентрации.

Тогда граничное условие на границе раздела раствор-кристалл $x = 0$ имеет следующий вид

$$\frac{\partial c(0,t)}{\partial x} = \gamma[c(0,t) - c_н]$$

или (6)

$$\frac{\partial c(0,t)}{\partial x} = \alpha[c(0,t) - c_н]$$

где $\alpha = \gamma/D$, γ – так называемый коэффициент кристаллохимической реакции, характеризующий скорость поверхностных процессов, м/с, α – удельный коэффициент диффузии, м$^{-1}$, $c_н$ – концентрация насыщенного раствора сахарозы вблизи кристалла.

Решение задачи

В дальнейшем, с целью упрощения проводимого исследования вводят безразмерные величины по зависимостям

$$\frac{c - c_п}{\Delta c} = u, \frac{x}{h} = \xi, \frac{Dt}{h^2} = \tau,$$
$$\alpha h = \frac{\gamma h}{D} = \sigma, \Delta c = c_н - c_п < 0, \quad (7)$$

где τ – аналог числа Фурье (диффузионный), σ – аналог числа Био(диффузионный).

В таком случае задача (3)–(6) примет форму

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 u}{\partial \xi^2}, \quad (8)$$

$$u(\xi, 0) = 0, \quad (9)$$

$$\frac{\partial (0,t)}{\partial \xi} = 0, \quad (10)$$

$$\frac{\partial u(1,t)}{\partial \xi} + \sigma u(1,t) = \sigma. \quad (11)$$

Прибегая к так называемому методу осреднения, при исследовании задачи с учетом наличия фронта концентрации, решают ее по двум фазам, заменяя левую часть уравнения (8) ее осредненным значением по интервалу (ρ, 1), а именно, вводят в рассмотрение функцию [7]

$$2\varphi^{(\beta)}(\tau) = \frac{1}{1-\rho}\int_{\rho}^{1} \frac{\partial u}{\partial \tau} d\xi, \quad (12)$$

где β – индекс фазы (β = 1,2);ρ – безразмерная координата фронта концентрации.

Тогда вместо уравнения (8) используют приближенное соотношение

$$\frac{\partial^2 u^{(1)}}{\partial \xi^2} = 2\varphi^{(1)}(\tau), \quad (13)$$

удовлетворяющее, согласно (8)–(11) условиям

$$u^{(1)}(\rho,\tau) = 0, \quad (14)$$

$$[\partial u^{(1)}(\xi,\tau)/\partial\xi]_{\xi=\rho} = 0, \quad (15)$$

$$[\partial u^{(1)}(\xi,\tau)/\partial\xi + \sigma u^{(1)}(\xi,\tau)]_{\xi=1} = \sigma, \quad (16)$$

и, кроме того, вытекающему из (12) равенству

$$2\varphi^{(1)}(\tau) = \frac{1}{1-\rho}\int_{\rho}^{1} \frac{\partial u^{(1)}}{\partial \tau} d\xi. \quad (17)$$

Проводя последовательно интегрирование в (13), имеют

$$\partial u^{(1)}(\xi,\tau)/\partial\xi = 2\varphi^{(1)}(\tau)\xi + A_1, \quad (18)$$

$$u^{(1)}(\xi,\tau) = \varphi^{(1)}(\tau)\xi^2 + A_1\xi + B_1. \quad (19)$$

Согласуя (15)–(17) с условиями (14)–(16), для определения неизвестных $\varphi^{(1)}(\tau)$, A_1, B_1, с использованием (18), (19), получают систему алгебраических уравнений

$$(\sigma + 2)\varphi^{(1)} + (\sigma + 1)A_1 + \sigma B_1 = \sigma, \quad (20)$$

$$\rho^2\varphi^{(1)} + \rho A_1 + B_1 = 0, 2\rho\varphi^{(1)} + A_1 = 0, \quad (21)$$

решением (20) является

$$\varphi^{(1)}(\tau) = \sigma/D_1, A_1 = -2\sigma\rho/D_1, B_1 = \sigma\rho^2/D_1, \quad (22)$$

где обозначено

$$D_1 = \sigma(1-\rho)^2 + 2(1-\rho). \quad (23)$$

Подставляя (21) в (19), находят

$$u^{(1)}(\xi,\tau) = \sigma(\xi-\rho)^2/D_1.$$

Функция $\rho = \rho(\tau)$ определяется с помощью (17)

Поскольку, согласно (23)

$$\frac{\partial u^{(1)}}{\partial \tau} = -\frac{\sigma}{D_1^2}\frac{d\rho}{d\tau}[2D_1(\xi-\rho) + \frac{dD_1}{d\rho}(\xi-\rho)^2],$$

то после подстановки в уравнение (17) значения $\varphi^{(1)}(\tau)$ и значения $\partial u^{(1)}/\partial\tau$, получают

$$D_1(1-\rho) =$$

$$= -\frac{d\rho}{d\tau}[2D_1\int_\rho^1(\xi-\rho)\,d\xi + \frac{dD_1}{d\rho}\int_\rho^1(\xi-\rho)^2\,d\xi],$$

откуда, после интегрирования

$$6\,D_1(1-\rho) = -(1-\rho)^2\frac{d\rho}{d\tau}[3D_1 + (1-\rho)\frac{dD_1}{d\rho}].$$

Поэтому с учетом (22) имеют

$$\frac{dD_1}{d\rho} = -2[\sigma(1-\rho)+1],$$

$$3D_1 + (1-\rho)\frac{dD_1}{d\rho} = \sigma(1-\rho)^2 + 4(1-\rho).$$

В результаты чего приходят к дифференциальному уравнению относительно ρ =ρ(τ)

$$6[\sigma(1-\rho)+2] = -(1-\rho)\frac{d\rho}{d\tau}[\sigma(1-\rho)+4],$$

или, после разделения переменных к соотношению

$$dt = -\frac{(1-\rho)[\sigma(1-\rho)+4]}{6[\sigma(1-\rho)+2]}d\rho. \qquad (24)$$

Поскольку выполняется начальное условие τ = 0 при ρ = 1, то интегрируя это выражение слева по τ от нуля до τ, справа – по ρ от ρ до единицы, исходя из (24), т. е., выполняя процедуру

$$\int_0^\tau d\tau = -\int_\rho^1\frac{(1-\rho)[\sigma(1-\rho)+4]}{6[\sigma(1-\rho)+2]}d\rho,$$

получают частное решение

$$\tau = \frac{(1-\rho)^2}{12} + \frac{(1-\rho)}{3\sigma} - \frac{2}{3\sigma^2}\ln\left(1+\frac{\sigma(1-\rho)}{2}\right). \qquad (25)$$

Продолжительность первой фазы находят путем подстановки ρ =0 в (25)

$$\tau_1 = \frac{1}{12} + \frac{1}{3\sigma} - \frac{2}{3\sigma^2}\ln(\frac{\sigma+2}{2}). \qquad (26)$$

Если (численным путем) разрешить (25) относительно ρ как неявную функцию, то тем самым определяют и фронт концентрации ρ =ρ(τ).

Вторая фаза. Функцию $\varphi^{(2)}(\tau)$ вводят по соотношению

$$2\varphi^{(2)}(\tau) = \int_0^1\frac{\partial u^{(2)}}{\partial\tau}d\xi. \qquad (27)$$

Задача ставится таким образом, чтобы получить решение уравнения

$$\frac{\partial^2 u^{(2)}}{\partial\xi^2} = 2\varphi^{(2)}(\tau), \qquad (28)$$

удовлетворяющее условиям:

$$u^{(2)}(0,\tau_1) = 0, \qquad (29)$$

$$\partial u^{(2)}(0,\tau)/\partial\xi = 0, \qquad (30)$$

$$\partial u^{(2)}(1,\tau)/\partial\xi + \sigma u^{(2)}(1,\tau) = \sigma, \qquad (31)$$

Интегрируя, последовательно, по ξ уравнение (28), имеют:

$$\partial u^{(2)}(\xi,\tau)/\partial\xi = 2\varphi^{(2)}(\tau)\xi + A_2(\tau), \qquad (32)$$

$$u^{(2)}(\xi,\tau) = \varphi^{(2)}(\tau)\xi^2 + A_2\xi + B_2. \qquad (33)$$

Поскольку из выражений (30), (32) вытекает, что $A_2(\tau) = 0$, то в таком случае согласно (33) получают

$$u^{(2)}(\xi,\tau) = \varphi^{(2)}(\tau)\xi^2 + B_2. \qquad (34)$$

Удовлетворяя условию (31), имеют $2\varphi^{(2)}(\tau) + \sigma[\varphi^{(2)}(\tau) + B_2] = \sigma$, откуда находят

$$B_2 = 1 - (\sigma+2)\varphi^{(2)}(\tau)/\sigma.$$

В таком случае (34) принимает вид

$$u^{(2)}(\xi,\tau) = 1 - \varphi^{(2)}(\tau)\,[(\sigma+2)/\sigma - \xi^2]. \qquad (35)$$

Функция $\varphi^{(2)}(\tau)$ определяется на основе условий (27), (29), с учетом того, что, с одной стороны, $\partial u^{(2)}(1,\tau)/\partial\tau = -\partial\varphi^{(2)}(\tau)/\partial\tau\cdot[(\sigma+2)/\sigma - \xi^2]$, с другой стороны

$$\varphi^{(2)}(t) = -\frac{1}{2}\frac{d\phi^{(2)}}{d\tau}\int_0^1(\frac{\sigma+2}{\sigma} - \xi^2)d\xi = -\frac{1}{6}\frac{d\phi^{(2)}}{d\tau}\cdot\frac{2\sigma+6}{\sigma},$$

и поэтому, разделяя далее переменные в этом уравнении и интегрируя полученное в результате соотношение, находят общее решение $\varphi^{(2)}(\tau) = D_2\exp[-3\sigma\tau/(\sigma+3)]$, где D_2 – произвольная постоянная.

Тогда в соответствии с (35)

$$u^{(2)}(\xi,t) = 1 - D_2\left(\frac{\sigma+2}{\sigma} - \xi^2\right)exp\left[\frac{-3s(t-t_1)}{(s+3)}\right], \qquad (36)$$

где τ_1 определяют по (26).

Далее, принимая во внимание (29), находят

$$D_2 = \sigma/(\sigma+2)\,\exp[3\sigma\tau 1/(\sigma+3)].$$

После чего, подставляя D_2 в (36), окончательно получают

$$u^{(2)}(\xi,t) = 1 - \frac{s}{(s+2)}\Big/\left(\frac{\sigma+2}{\sigma} - \xi^2\right)\times exp\left[\frac{-3s(t-t_1)}{(s+3)}\right]. \qquad (37)$$

Таким образом, в рамках принятой физико-математической модели задача об определении поля концентрации сахарозы в области между двумя смежными кристаллами сахарозы в вакуум-аппарате решена полностью.

В дальнейшем, возвращаясь согласно (7) к исходному значению *c* концентрации сахарозы в сахарсодержащем растворе, имеют

$$c\,(\xi,\tau) = c_п + u^{(2)}(\xi,\tau)\Delta c, \qquad (38)$$

где $u^{(2)}(\xi,\tau)$ определяется по соотношению (37).

Для того чтобы рассчитать эффективность процесса кристаллизации сахарозы, предварительно, на базе зависимости (2), (37) определяется поток *q* концентрации.

При этом, поскольку в соответствии с (37), (38) имеют

$$\frac{\partial c}{\partial \xi} = \frac{\partial u^{(2)}}{\partial \xi}\Delta c = \frac{2\sigma\xi\cdot\Delta c}{\sigma+2}exp\left[\frac{-3s(t-t_1)}{(s+3)}\right] \qquad (39)$$

или, согласно (7), в размерных переменных

$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial c}{h\partial \xi}$, м$^{-1}$, (40) то в соответствии с (2), (40) справедлива формула $q = D\partial c/\partial x$.

Поэтому поток q концентрации на поверхности $x = h(\xi = 1)$, в явной форме выражается в виде

$$q = \frac{2\sigma\Delta cD}{(\sigma+2)h}exp\left[\frac{-3s(t-t1)}{(s+3)}\right]$$

В свою очередь, так как за время dτ на той же поверхности осаждается объем сахарозы

$$dQ = \frac{qh^2dt}{D} = \frac{2\sigma\Delta ch}{(\sigma+2)}exp\left[\frac{-3\sigma(\tau-\tau1)}{(\sigma+3)}\right]dt \qquad (41)$$

то количество ΔV сахарозы, оседающей за период времени τ получают, интегрируя выражение (41) в пределах от 0 до τ. В результате имеют

$$Q(t,\Delta,h) = \Delta V$$

$$= \frac{2\sigma\Delta ch}{(\sigma+2)}\int_0^{\tau}\exp\left[\frac{-3\sigma(\tau-\tau1)}{(\sigma+3)}\right]d\tau =$$

$$= \frac{2(\sigma+3)h\Delta c}{3(\sigma+2)}\exp\left[3\frac{\sigma(\tau_1-\tau)}{(\sigma+3)}\right] - \exp\left[3\frac{\sigma\tau_1}{(\sigma+3)}\right], \text{м}^3/\text{м}^2$$

или по массе

$$Q(\tau, D, h) = Q(\tau, D, h)\times\rho_1, \text{ кг/м}^2, \qquad (42)$$

где ρ_1 – плотность сахарозы.

Численный эксперимент

Пусть в одном кубометре утфеля содержится, в равных объемных долях η, кристаллы сахарозы размером $\delta = 10^{-4}$ м и межкристального раствора коэффициентами, соответственно, пересыщения $c_п = 0{,}8$ и насыщения $c_н = 0{,}7$. И пусть, по соглашению, коэффициент кристаллохимической реакции $\gamma = 10^{-6}$ м^2/с [4, 5], коэффициент диффузии раствора $D \in [10^{-10}, 5\times10^{-11}]$, м^2/с [2]. Требуется на базе выбранных геометрических и физических параметров процесса определить по массе отнесенный к 1 м^{3}утфеля полный молекулярный расход межкристального раствора в зависимости от времени проведения процесса кристаллизации.

Предварительно, поскольку, согласно формуле (1) при $\eta = 0{,}5$ половина расстояния между частицами сахарозы составляет $h = 6{,}3\times10^{-5}$ м, то в расчетах принимали $h \in [5\times10^{-5}; 10^{-4}]$, м. В свою очередь, так как количество частиц сахарозы равно $\eta\times6/(\pi\delta^3)$, то их общая поверхность S составляет $S = 3/\delta = 3\times10^4$ 1/м^3.

С учетом (38) на рисунок 2 представлены графики зависимости концентрации сахарозы на середине расстояния между двумя смежными частицами (т. е. при $x = 0$)

Как следует из анализа поведения кривых (рисунок 2), к моменту τ = 5 концентрация сахарозы посередине между двумя кристаллами в результате конденсации молекул сахарозы на кристаллах примерно выравнивается, приближаясь к значению $c_н = 1{,}1$ насыщения.

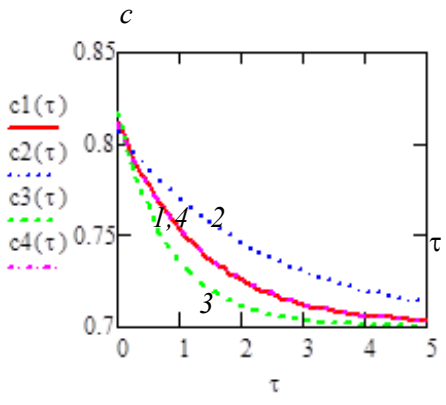


Рисунок 2. Зависимости концентрации сахарозы между двумя смежными частицами от безразмерного времени τ процесса обработки центров кристаллизации в сахарсодержащем растворе при различных значениях коэффициента D диффузии и половины расстояния h между кристаллами ($h = 5\times10^{-5}$ м: *1* – $D = 5\times10^{-11}$, *2* – $D = 10^{-10}$ м^2/с; $h = 10^{-4}$ м: *3* – $D = 5\times10^{-11}$, *4* – $D = 10^{-10}$ м^2/с)

Figure 2. Dependences of the concentration of saccharose between two adjacent particles on the dimensionless time treatments of the processing of crystallization centers in a sugar-containing solution at different values of the diffusion coefficient D and half the distance h between crystals ($h = 5\times10^{-5}$ m: *1* – $D = 5\times10^{-11}$, *2* – $D = 5\times10^{-10}$ m^2/s; $h = 10^{-4}$ m: *3* – $D = 5\times10^{-11}$, *4* – $D = 5\times10^{-10}$ m^2/s)

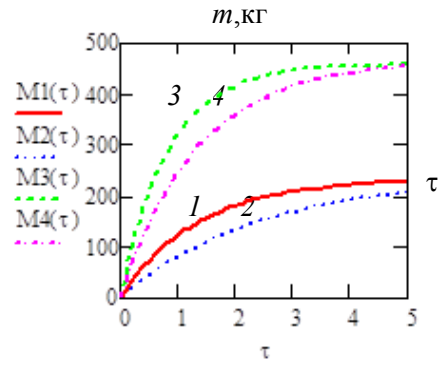


Рисунок 3. Зависимости от временит массы m конденсированной на поверхности кристалла сахарозы при различных значениях коэффициента D диффузиии половины расстояния h между кристаллами ($h = 5\times10^{-5}$ м: *1* – $D = 5\times10^{-11}$, *2* – $D = 10^{-10}$ м^2/с; $h = 10^{-4}$ м: *3* – $D = 5\times10^{-11}$, *4* – $D = 10^{-10}$ м^2/с)

Figure 3. Time τ dependences of the mass m of sucrose condensed on the surface of the crystal at different values of the coefficient D diffusion and half distance h between crystals ($h = 5\times10^{-5}$ m: *1* – $D = 5\times10^{-11}$ m^2/s, *2* – $D = 10^{-10}$ /c; $h = 10^{-4}$ м: *3* – $D = 5\times10^{-11}$, *4* – $D = 10^{-10}$ m^2/s)

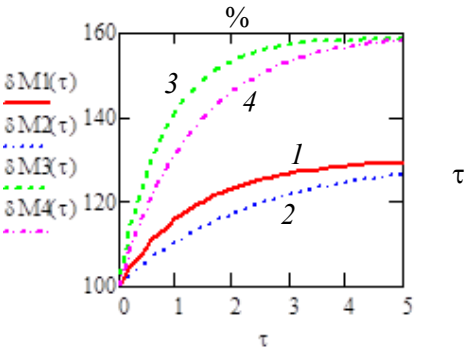


Рисунок 4. Зависимости от времени τ относительной массы $\delta m/m_0$, % конденсированной на поверхности кристалла сахарозы при различных значениях коэффициента D диффузии и половины расстояния h между кристаллами ($h = 5\times10^{-5}$ м: *1* – $D = 5\times10^{-11}$, *2* – $D = 10^{-10}$ м^2/с; $h = 10^{-4}$ м: *3* – $D = 5\times10^{-11}$, *4* – $D = 10^{-10}$ м^2/с)

Figure 4. Time τ dependences of the relative mass $\delta m/m_0$, % of sucrose condensed on the surface of the crystal for different values of the diffusion coefficient D and half the distance h between the crystals ($h = 5\times10^{-5}$ m: *1* – $D = 5\times10^{-11}$, *2* – $D = 10^{-10}$ m^2/c; $h = 10^{-4}$ м: *3* – $D = 5\times10^{-11}$, *4* – $D = 10^{-10}$ m^2/s)

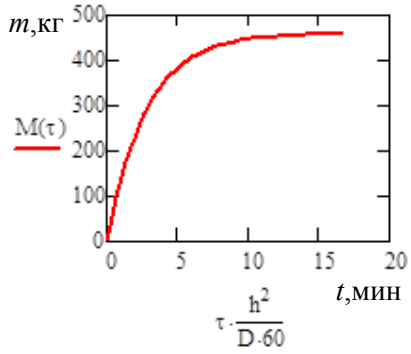


Рисунок 5. Зависимость от времени массы осадившейся на поверхности взвеси из кристаллов сахарозы

Figure 5. Time dependence of the mass of a suspension of sucrose crystals deposited on the surface

Отраженные графиками рисунок 3, 4 результаты вычислений на базе (42) обнаруживают согласованность полученных результатов количественного моделирования исследуемого процесса с физическим смыслом задачи.

А именно, с одной стороны, обессахаривание раствора по массе в связи с кристаллизацией сахарозы, как по абсолютному (рисунок 3), так и относительному к исходному (рисунок 4) значениям, по прошествии времени экспоненциально возрастает, и тем больше, чем выше значение коэффициента диффузии (например, на рисунок 3, кривая *2* расположена выше кривой *1*).

С другой стороны, аналогичным образом, графически, например, рисунком 4 отражена зависимость прироста массы от времени: при коэффициенте диффузии $D = 5\times10^{-11}$ м^2/с, с увеличением расстояния h (и, следовательно, с уменьшением счетной концентрация частиц в растворе), интенсивность процесса кристаллизации снижается – кривая *3* ниже кривой *1*.

Если, при тех же исходных данных по параметрам процесса расчет проводится в реальном временном режиме, то в таком случае, например, при значениях параметров $h = 10^{-4}$ м и $D = 5\times10^{-11}$ м^2/с графическая зависимость от времени t массы m осадившейся на поверхности взвеси из кристаллов сахарозы в вакуум-аппарате имеет показанный на рисунок 5 вид.

Как видно по рисунок 5, процесс кристаллизации завершается практически к пятнадцатой минуте и для возобновления его необходимо раствор “раскачивать”, обогащая его пресыщенной сахарсодержащей субстанцией.

Однако следует отметить, что отраженные рисунками 2–5 результаты расчетов, из-за того в них не учитывается эффект истощения раствора сахарозой (в частности, коэффициент $\Delta = c_н - c_п$ полагается постоянной величиной), приводят к завышенным, по сравнению с наблюдаемыми на практике, данными.

Заключение

На основе модели диффузионного массопереноса целевого продукта, такого как сахароза, из пересыщенного межкристального раствора к кристаллу сахарозы, основанного на уравнении нестационарной диффузии (второго закона Фика), обосновывается физико-математическая модель по прогнозированию протекания процесса кристаллизации сахарозы в данном растворе при учете кинетики фронта концентрации.

Предлагается аналитический аппарат для расчета зависимости массы целевого продукта от времени в результате процесса кристаллизации.

На основе разработанного аналитического аппарата проводится количественное моделирование эффективности данного процесса.

Литература

1 Силин П. М. Технология сахара. Рипол Классик, 2013.

2 Магомедов М. Г. Технология получения пасты из сахарной свеклы // Вестник ВГУИТ. 2015. № 3. С. 138-141. doi: 10.20914/2310-1202-2014-3-138-141

3 Славянский А.А., Семенов Е., Лебедева Н., Неделькин В. и др. Математическое моделирование кинетики кристаллизации гидратной глюкозы // Сахар. 2014. № 5. С. 45-49.

4 Хворова Л.С. Трехпродуктовая технологическая схема получения глюкозы с кристаллизацией двух продуктов в ангидридной форме // Пищевая промышленность. 2017. № 9.

5 Хворова Л.С., Баранова Л.В., Гоменюк В.А. Способ получения кристаллической ангидридной глюкозы. 2018.

6 Семенов Е.В., Славянский А.А. Моделирование процесса кристаллизации и центрифугирования. М.: Спутник+, 2015. 217 с.

7 Кулинченко В.Р., Мирончук В.Г. Промышленная кристаллизация сахаристых веществ. 2012.

8 Bērzi K., Suryanarayanan R. Compression-induced crystallization in sucrose-polyvinylpyrrolidone amorphous solid dispersions // Crystal Growth & Design. 2018. V. 18. № 2. P. 839-848. doi: 10.1021/acs.cgd.7b01305

9 Hubbes S.S., Braun A., Foerst P. Sugar particles and their role in crystallization kinetics and structural properties in fats used for nougat creme production // Journal of Food Engineering. 2020. V. 287. P. 110130. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110130

10 Velazquez-Camilo O., Bolaños-Reynoso E., Rodriguez E., Alvarez-Ramirez J. Characterization of cane sugar crystallization using image fractal analysis // Journal of Food Engineering. 2010. P. 77–84. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.03.030

11 Khaddour I., Bento L., Ferreira A., Rocha F. Kinetics and thermodynamics of sucrose crystallization from pure solution at different initial supersaturations // Surface Science. 2010. P. 1208–1214. doi: 10.1016/j.susc.2010.04.005

12 Frenzel S. Crystallization Schemes in the Sugar Industry // ChemBioEng Rev. 2020. № 5. P. 1–9. doi: 10.1002/cben.202000010

13 Thakral S., Sonje J., Suryanarayanan R. Anomalous behavior of mannitol hemihydrate: Implications on sucrose crystallization in colyophilized systems // International journal of pharmaceutics.2020. V. 587. P. 119629. doi: 10.1016/j.ijpharm.2020.119629

14 de Castro B. J. C. et al. Sucrose crystallization: modeling and evaluation of production responses to typical process fluctuations // Brazilian Journal of Chemical Engineering. 2019. V. 36. № 3. P. 1237-1253. doi: 10.1590/0104-6632.20190363s20180240

15 Singh K., Gupta S.P., Kumar A., Kumar A. The effect of high intensity ultrasound (HIU) on the kinetics of crystallization of sucrose: Elimination of latent period // Ultrasonics sonochemistry. 2019. V. 52. P. 19-24. doi: 10.1016/j.ultsonch.2018.05.030

16 Chakir A., Romane A., Marcazzan G.L., Ferrazzi P. Physicochemical properties of some honeys produced from different plants in Morocco // Arabian Journal of Chemistry. 2016. V. 9. P. S946-S954. doi: 10.1016/j.arabjc.2011.10.013

17 Nayik G.A., Dar B.N., Nanda V. Physico-chemical, rheological and sugar profile of different unifloral honeys from Kashmir valley of India // Arabian Journal of Chemistry. 2019. V. 12. № 8. P. 3151-3162. doi: 10.1016/j.arabjc.2015.08.017

18 El Batal H., Hasib A., Ouatmane A., Dehbi F. et al. Sugar composition and yield of syrup production from the pulp of Moroccan carob pods (Ceratonia siliqua L.) // Arabian Journal of Chemistry. 2016. V. 9. P. S955-S959. doi: 10.1016/j.arabjc.2011.10.012

19 Boussaid A., Chouaibi M., Rezig L., Hellal R. et al. Physicochemical and bioactive properties of six honey samples from various floral origins from Tunisia // Arabian journal of chemistry. 2018. V. 11. № 2. P. 265-274. doi: 10.1016/j.arabjc.2014.08.011

20 Törrönen R., Hellström J., Mattila P., Kilpi K. Postprandial glycaemic response to berry nectars containing inverted sucrose // Journal of nutritional science. 2017. V. 6. doi: 10.1017/jns.2016.44

References

1 Silin P.M. Technology of sugar. Ripol Classic, 2013. (in Russian).

2 Magomedov M.G. Technology of obtaining paste from sugar beet. Proceedings of VSUET. 2015. no. 3. pp. 138-141. doi: 10.20914/2310-1202-2014-3-138-141 (in Russian).

3 Slavyansky AA, Semenov E., Lebedeva N., Nedelkin V. et al. Mathematical modeling of the kinetics of crystallization of hydrated glucose. Sugar. 2014. no. 5. pp. 45-49. (in Russian).

4 Khvorova L.S. Three-product technological scheme for producing glucose with crystallization of two products in anhydride form. Food Industry. 2017. no. 9. (in Russian).

5 Khvorova L.S., Baranova L.V., Gomenyuk V.A. A method of obtaining crystalline anhydride glucose. 2018. (in Russian).

6 Semenov E.V., Slavyansky A.A. Simulation of the crystallization and centrifugation process. Moscow, Sputnik +, 2015. 217 p. (in Russian).

7 Kulinchenko V.R., Mironchuk V.G. Industrial crystallization of sugary substances. 2012. (in Russian).

8 Bērzi K., Suryanarayanan R. Compression-induced crystallization in sucrose-polyvinylpyrrolidone amorphous solid dispersions. Crystal Growth & Design. 2018. vol. 18. no. 2. pp. 839-848. doi: 10.1021/acs.cgd.7b01305

9 Hubbes S.S., Braun A., Foerst P. Sugar particles and their role in crystallization kinetics and structural properties in fats used for nougat creme production. Journal of Food Engineering. 2020. vol. 287. pp. 110130. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110130

10 Velazquez-Camilo O., Bolaños-Reynoso E., Rodriguez E., Alvarez-Ramirez J. Characterization of cane sugar crystallization using image fractal analysis. Journal of Food Engineering. 2010. pp. 77–84. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.03.030

11 Khaddour I., Bento L., Ferreira A., Rocha F. Kinetics and thermodynamics of sucrose crystallization from pure solution at different initial supersaturations. Surface Science. 2010. pp. 1208–1214. doi: 10.1016/j.susc.2010.04.005

12 Frenzel S. Crystallization Schemes in the Sugar Industry. ChemBioEng Rev. 2020. no. 5. pp. 1–9. doi: 10.1002/cben.202000010

13 Thakral S., Sonje J., Suryanarayanan R. Anomalous behavior of mannitol hemihydrate: Implications on sucrose crystallization in colyophilized systems. International journal of pharmaceutics. 2020. vol. 587. pp. 119629. doi: 10.1016/j.ijpharm.2020.119629

14 de Castro B.J.C. et al. Sucrose crystallization: modeling and evaluation of production responses to typical process fluctuations. Brazilian Journal of Chemical Engineering. 2019. vol. 36. no. 3. pp. 1237-1253. doi: 10.1590/0104-6632.20190363s20180240

15 Singh K., Gupta S.P., Kumar A., Kumar A. The effect of high intensity ultrasound (HIU) on the kinetics of crystallization of sucrose: Elimination of latent period. Ultrasonics sonochemistry. 2019. VOL. 52. PP. 19-24. doi: 10.1016/j.ultsonch.2018.05.030

16 Chakir A., Romane A., Marcazzan G.L., Ferrazzi P. Physicochemical properties of some honeys produced from different plants in Morocco. Arabian Journal of Chemistry. 2016. vol. 9. pp. S946-S954. doi: 10.1016/j.arabjc.2011.10.013

17 Nayik G.A., Dar B.N., Nanda V. Physico-chemical, rheological and sugar profile of different unifloral honeys from Kashmir valley of India. Arabian Journal of Chemistry. 2019. vol. 12. no. 8. pp. 3151-3162. doi: 10.1016/j.arabjc.2015.08.017

18 El Batal H., Hasib A., Ouatmane A., Dehbi F. et al. Sugar composition and yield of syrup production from the pulp of Moroccan carob pods (Ceratonia siliqua L.). Arabian Journal of Chemistry. 2016. vol. 9. pp. S955-S959. doi: 10.1016/j.arabjc.2011.10.012

19 Boussaid A., Chouaibi M., Rezig L., Hellal R. et al. Physicochemical and bioactive properties of six honey samples from various floral origins from Tunisia. Arabian journal of chemistry. 2018. vol. 11. no. 2. pp. 265-274. doi: 10.1016/j.arabjc.2014.08.011

20 Törrönen R., Hellström J., Mattila P., Kilpi K. Postprandial glycaemic response to berry nectars containing inverted sucrose. Journal of nutritional science. 2017. vol. 6. doi: 10.1017/jns.2016.44

Сведения об авторах

Евгений В. Семенов д.т.н., профессор, кафедра технологии продуктов из растительного сырья и парфюмерно-косметических изделий, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Талалихина, 31, г. Москва, 109004, Россия, sem-post@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6203-1783

Анатолий А. Славянский д.т.н., профессор, зав. кафедры технология продуктов из растительного сырья и парфюмерно-косметических изделий, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Талалихина, 31, г. Москва, 109004, Россия, anatoliy4455@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-0262-8841

Вера А. Грибкова к.т.н., доцент, кафедра технологии продуктов из растительного сырья и парфюмерно-косметических изделий, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Талалихина, 31, г. Москва, 109004, Россия, instituttpp@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-5079-8132

Дарья П. Митрошина ассистент, кафедра технологии продуктов из растительного сырья и парфюмерно-косметических изделий, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Талалихина, 31, г. Москва, 109004, Россия, d_mitr96@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8724-3368

Сергей Т. Антипов д.т.н., профессор, зав. кафедры машины и аппараты пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ast@vsuet.ru
https://orcid.org/0000-0003-4299-1538

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Evgeny V. Semenov Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of products from plant raw materials and perfumery and cosmetic products department, Moscow State University of Technology and Management. K.G. Razumovsky (PKU), st. Talalikhina, 31, Moscow, 109004, Russia, sem-post@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6203-1783

Anatoly A. Slavyansky Dr. Sci. (Engin.), professor, head of department, technology of products from plant raw materials and perfumery and cosmetic products department, Moscow State University of Technology and Management. K.G. Razumovsky (PKU), st. Talalikhina, 31, Moscow, 109004, Russia, anatoliy4455@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-0262-8841

Vera A. Gribkova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of products from plant raw materials and perfumery and cosmetic products department, Moscow State University of Technology and Management. K.G. Razumovsky (PKU), st. Talalikhina, 31, Moscow, 109004, Russia, instituttpp@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-5079-8132

Daria P. Mitroshina assistant, technology of products from plant raw materials and perfumery and cosmetic products department, Moscow State University of Technology and Management. K.G. Razumovsky (PKU), st. Talalikhina, 31, Moscow, 109004, Russia, d_mitr96@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8724-3368

Sergey T. Antipov Dr. Sci. (Engin.), professor, head of department machines and apparatus for food production, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolyutsii Ave., 19, Voronezh, 394036, Russia, ast@vsuet.ru
https://orcid.org/0000-0003-4299-1538

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/01/2021	**После редакции** 22/02/2021	**Принята в печать** 01/03/2021
Received 11/01/2021	**Accepted in revised** 22/02/2021	**Accepted** 01/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-71-77 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.1:579.6 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Влияние технологических режимов на изменения состава свекловичного жома при его переработке на Боринском сахарном заводе

Светлана Н. Зобова [1] zobova-svetlana2017@ya.ru 0000-0000-0000-0000
Александр Н. Остриков [2] ostrikov27@ya.ru 0000-0002-2335-0017
Лариса Н. Фролова [2] fln-84@mail.ru 0000-0002-6505-4136
Максим В. Копылов [2] kopylov-maks@ya.ru 0000-0003-2678-2613
Игорь С. Богомолов [3] igor-bog@ya.ru

1 АО «АПО «Аврора» Структурное Подразделение «Боринский сахарный завод», Липецкая область, Липецкий район, село Боринское, улица Чайковского 18а, 398510, Россия,
2 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
3 АО «Научно производственный центр «ВНИИ комбикормовой промышленности», пр-т Труда, 91, г. Воронеж, 394026, Россия

Аннотация. Приведено описание технологической схемы участка гранулирования на Боринском сахарном заводе, с анализом работы основных видов технологического оборудования для выявления проблемных мест производства. Установлено, что применение такого перспективного пресса, как пресс фирмы «Babbinni» позволяет получить жом с влажностью 68–76%. Для его высушивания в барабанной сушилке до влажности 11–13% расходуется 170 м^3 природного газа на 1 тонну жома. Технологический процесс получения гранулированного свекловичного жома включает прессование исходного свекловичного жома с начальной влажностью 85–90% до влажности 68–76%; сушку прессованного жома теплоносителем с температурой 110–140 °С в течение 90–120 минут до конечной влажности 11–13%; очистку гранул от металломагнитных примесей; гранулирование жома (диаметр гранул 10 мм); охлаждение гранул до температуры 30–35 °С; фракционирование гранул на крупную и мелкую фракции; взвешивание и отгрузку гранулированного свекловичного жома на склад готовой продукции. Проведенный анализ влияния технологических режимов процессов прессования, сушки и гранулирования свекловичного жома на Боринском сахарном заводе показывал необходимость введения второй стадии прессования для дальнейшего снижения содержания влаги в прессованном жоме. Получение прессованного жома с более низким содержанием влаги позволит существенно сократить энергозатраты на испарение влаги в барабанной сушилке. Сокращение продолжительности процесса тепловой сушки прессованного свекловичного жома в барабанной сушилке позволит значительно повысить пищевую ценность производимого гранулированного свекловичного жома.

Ключевые слова: технология, свекловичный жом, прессование, сушка, гранулирование, качество, рекомендации, эффективность производства

Influence of technological modes on changes in the composition of beet pulp during its processing at the Borinsky sugar plant

Svetlana N. Zobova [1] zobova-svetlana2017@ya.ru 0000-0000-0000-0000
Alexander N. Ostrikov [2] ostrikov27@ya.ru 0000-0002-2335-0017
Larisa N. Frolova [2] fln-84@mail.ru 0000-0002-6505-4136
Maksim V. Kopylov [2] kopylov-maks@ya.ru 0000-0003-2678-2613
Igor S. Bogomolov [3] igor-bog@ya.ru

1 Structural subdivision “Borino sugar factory” of JSC «Agroindustrial enterprise «Avrora», Lipetskaya oblast, Lipetsk district, Borinskoe village Tschaikowsky. 18 a, 398510, Russian Federation
2 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
3 Research and Production Center VNII compound feed industry, Prospect Truda, 91, Voronezh, 394026, Russia

Abstract. The description of the technological scheme of the granulation site at the Borinsky sugar plant is given, with an analysis of the work of the main types of technological equipment to identify problem areas of production. It is established that the use of such a promising press as the one of the Babbinni company allows you to get pulp with a humidity of 68-76 %. To dry it in a drum dryer to a humidity of 11–13%, 170 m^3 of natural gas is consumed per 1 ton of pulp. The technological process of obtaining granulated beet pulp includes pressing the initial beet pulp with an initial humidity of 85–90% to a humidity of 68–76 %; drying the pressed pulp with a heat carrier at a temperature of 110–140 °C for 90–120 minutes to a final humidity of 11–13 %; cleaning pellets from metal-magnetic impurities; granulating the pulp (the diameter of the pellets is 10 mm); cooling pellets to a temperature of 30–35 °C; fractionation of pellets into large and small fractions; weighing and shipping granulated beet pulp to the warehouse of finished products. The technological modes influence analysis of beet pulp pressing, drying and granulating processes at the Borinsky sugar plant showed the need to introduce a second stage of pressing to further reduce the moisture content in the pressed pulp. Obtaining pressed pulp with a lower moisture content will significantly reduce the energy consumption for moisture evaporation in the drum dryer. Reducing the duration of the heat drying process of pressed beet pulp in a drum dryer will significantly increase the nutritional value of the granulated beet pulp produced.

Keywords: technology, beet pulp, pressing, drying, granulation, quality, recommendations, production efficiency

Для цитирования
Зобова С.Н., Остриков А.Н., Фролова Л.Н., Копылов М.В., Богомолов И.С. Влияние технологических режимов на изменения состава свекловичного жома при его переработке на Боринском сахарном заводе // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 71–77. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-71-77

For citation
Zobova S.N., Ostrikov A.N., Frolova L.N., Kopylov M.V., Bogomolov I.S. Influence of technological modes on changes in the composition of beet pulp during its processing at the Borinsky sugar plant. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 71–77. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-71-77

© 2021, Зобова С.Н. и др. / Zobova S.N. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Свекловичный жом – это обессахаренная стружка, остающаяся после извлечения из нее сахарозы диффузным способом и содержащая питательные вещества. Свекловичный жом представляет собой высоложенную свекловичную стружку, содержащую около 6,0–7,5% сухих веществ, в том числе 0,2–0,4% сахара. Выход жома при работе на непрерывно действующей батарее – 70–80% по весу переработанной сахарной свеклы. С целью увеличения кормовой ценности, а также сроков хранения свекловичного жома, и возможности его транспортировки на значительные расстояния свекловичный жом подвергают сушке. Особенно эти качества необходимы при гранулировании сушеного жома – способности снизить затраты на перевозку в несколько раз.

Материалы и методы

В таблице 1 приводятся данные о примерном составе свекольного жома (в% на сухое вещество) и его кормовой ценности в сравнении с другими кормами. Как видно из приведенных данных, по питательности свекловичный жом занимает среднее место между луговым сеном и овсом: азотистых веществ. Он содержит легкоусваиваемых безазотистых экстрактивных веществ в полтора раза больше, чем сено и почти столько же, сколько овес. Свежий свекольный жом по кормовым достоинствам ценнее силоса из подсолнечника и почти равен силосу из стеблей кукурузы. Свежий свекловичный жом используется в первую очередь для откорма коров. В сутки на голову им дают 50–60 кг, а крупным животным до 76 кг. Молочным коровам можно скармливать до 30–40 кг. Из сухих веществ свекольного жома крупный рогатый скот КРС усваивает не только белки и сахар, но и пектиновые вещества, гемицеллюлозу и клетчатку.

Состав жома характеризуется следующими данными (в%): белок 0,5, зола 0,3, клетчатка 1,3, гемицеллюлоза 1,2, пектиновые вещества и барабан 2,7, сахар 0,2 (таблица 2).

Сухие вещества сырого свекловичного жома включают в свой состав: 48,0–50,0% пектиновых веществ; 22,0–25,0% целлюлозы; 21,0–23,0% гемицеллюлозы; 1,8–2,5% азотистых веществ; 0,8–1,3% золы; 0,15–0,20% сахара и 2,0% белка. Кроме того, в сыром жоме содержатся: лизин; треонин; витамин B_1 (тиамин) – 0,55 мкг; рибофлавин – 0,20 мкг; аскорбиновая кислота (витамин С в 1 кг жома 19 мг) – 5,0 мкг; пиридоксин – 0,18 мкг; пантотеновая кислота – 0,21 мкг; биотин – 0,001 мкг.

Таблица 1.

Сравнительный анализ химического состава свежего свекловичного жома, лугового сена, пшеничной соломы и овса

Table 1.

Comparative analysis of the chemical composition of fresh beet pulp, meadow hay, wheat straw and oats

Составные части Components	Жом Pulp	Сено луговое Meadow hay	Солома пшеничная Wheat straw	Овес Oats
Белок | Protein	8,0	9,4	3,3	10,4
Зола | Ash	4,0	7,1	5,9	3,1
Жир | Fats	–	3,2	1,5	5,1
Клетчатка | Cellulose	22,0	35,7	44,8	12,1
Безазотистые экстрактивные в-ва Nitrogen-free extractives	66,0	44,6	44,5	69,3
Количество кормовых ед. на 1 кг | Number of feed units per 1 kg	0,1*	0,49	0,22	1,0
Содержание перевариваемого белка в г Digestible protein content in g	3	34	4	–
* Свежий свекловичный жом (* Fresh beet pulp)				

Таблица 2.

Химический состав сырого свекловичного жома

Table 2.

The chemical composition of raw beet pulp

Наименование показателя Indicator name	Показатель Indicator
Состав, % | Content, %	
Сухие вещества | Dry matter	6,5–12,0
Вода | Water	88–93,5
Сырой протеин | Crude protein	<1,3
Сырая клетчатка Crude fiber	<3,9
Безазотистые экстрактивные вещества Nitrogen-free extractives	4,3–6,5
Жир | Fat	<0,5
Зола | Ash	<0,3
Кормовая единица в 1 кг корма Feed unit 1 kg of feed	0,07–0,1
Обменная энергия МДж Exchange energy MJ	0,73
СВ, г | Dry matter, g	
Сырой протеин | Crude protein	7,0
Перевариваемый протеин | Digestible protein	4,0
Жир | Fat	1,0
Клетчатка | Cellulose	21,0
Безазотистые экстрактивные вещества Nitrogen-free extractives	45,8
Сахар | Sugar	7
Кальций | Calcium	0,5
Фосфор | Phosphorus	0,1

Технологическая линия производства гранулированного свекловичного жома включает емкость с исходным влажным жомом *1*; шнековый питатель *2*; пресс *3* для отжатия влаги; ленточный транспортер *4*; барабанную сушилку *5* с циклонами *6*; вытяжной вентилятор *7*; норию *8*; магнитный сепаратор *9*; гранулятор *10*; противоточный охладитель *11*, просеиватель *12*; тензовесы *13* и ленточный транспортер *14* для отгрузки в склад готовой продукции (рисунок 1).

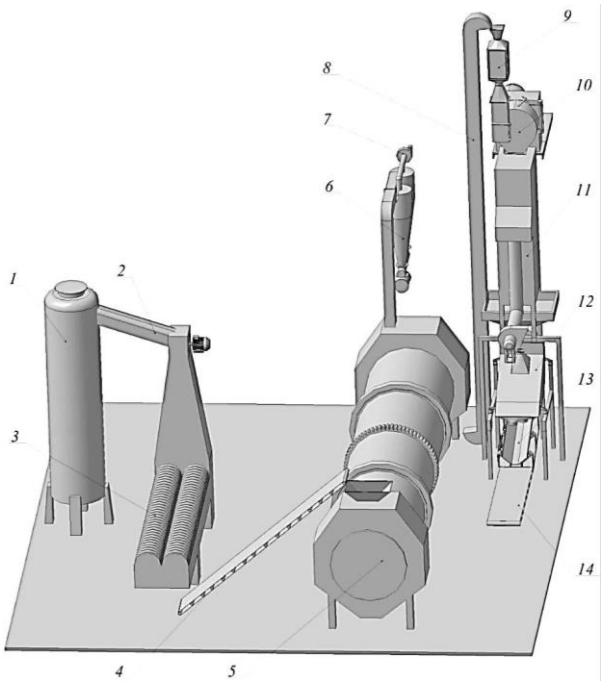


Рисунок 1. Технологическая линия производства гранулированного свекловичного жома на Боринском сахарном заводе: 1 – емкость с исходным влажным жомом; 2 – шнековый питатель; 3 – пресс для отжатия влаги; 4 – ленточный транспортер; 5 – барабанная сушилка; 6 – циклоны; 7 – вытяжной вентилятор; 8 – нория; 9 – магнитный сепаратор; 10 – гранулятор; 11 – охладитель; 12 – просеиватель; 13 – тензовесы; 14 – ленточный транспортер

Figure 1. Technological line for the production of granulated beet pulp at the Borinsky sugar plant: 1 – container with the original wet pulp; 2 – screw feeder; 3 – press for squeezing out moisture; 4 – belt conveyor; 5 – drum dryer; 6 – cyclones; 7 – exhaust fan; 8 – noria; 9 – magnetic separator; 10 – granulator; 11 – cooler; 12 – sifter; 13 – strain gauge balance; 14 – belt conveyor

Технологический процесс получения гранулированного свекловичного жома включает следующие операции:

– прессование исходного свекловичного жома с начальной влажностью 85–90% в прессе *3* для отжатия влаги до влажности 68–76%;

– сушка отжатого жома с влажностью 68–76% теплоносителем (смесь воздуха с продуктами сгорания природного газа) с температурой 110–140 °С в барабанной сушилке *5* в течение 90–120 минут до конечной влажности 11–13%;

– очистка гранул от металломагнитных примесей на магнитном сепараторе *9*;

– гранулирование жома (диаметр гранул 10 мм) на грануляторе *10*;

– охлаждение гранул в противоточном охладителе *11* до температуры, не превышающей температуру окружающей среды более, чем на 10–15 °С, т. е. до температуры не выше 30–35 °С;

– фракционирование гранул на крупную и мелкую фракции с размером гранул менее 10 мм в просеивателе *12* с размером ячеек 28×10 мм с возвратом последней на повторное гранулирование;

– – взвешивание на тензовесах *13* и отгрузка ленточным транспортером *14* гранулированного свекловичного жома на склад готовой продукции.

Основным недостатком свежего жома как кормового средства является большое содержание в нем воды (около 90%). Основными потребителями свежего жома являются расположенные близ сахарного завода скотооткормочные пункты. Свежий жом трудно транспортировать, особенно в зимнее время, когда он смерзается и его трудно разгружать. С целью улучшения транспортабельности свекловичный жом перед отпуском потребителям предварительно прессуют на прессе. При отжатии на прессе фирмы «Babbini» из свежего свекловичного жома удаляется около 14–22% воды, а содержание сухих веществ повышается до 24–32% [5, 7].

Предлагаемая технологическая линия производства гранулированного свекловичного жома работает следующим образом. Шнековый питатель 2 обеспечивает непрерывную, регулируемую и равномерную подачу свекловичного жома в пресс 3 для отжатия влаги [1–4, 6, 17, 19]. Технологические режимы для процессов отжима, сушения и грануляции жома приведены в таблице 3.

Вначале исходный свекловичный жом с начальной влажностью 85–90% из емкости 1 с помощью шнекового питателя 2 направляется в пресс 3 для отжатия влаги (пресс фирмы «Babbini»), в котором свекловичный жом отжимается до влажности 68–76%.

Таблица 3.
Технологический режим для процессов отжима, сушения и грануляции жома

Table 3.
Technological mode for pressing, drying and granulation of bagasse

Содержание сухих веществ в жоме, % Dry matter content in pulp, %	Показатель Indicator
поступающем на пресс Babbini coming to the Babbini press	8,0–12,0
отжатом | wrung out	24,0–32,0
сушеном | dried	87,0–89,0
М.д. влаги в гранулированном жоме, % Mass fraction of moisture in granulated pulp, %	11,0–13,0
Массовая доля сахарозы в гранулированном жоме, % к м.св. Mass fraction of sucrose in granulated pulp, % to the mass of beets	5,0–7,0
Размер гранул: | Granule size:	
диаметр, мм | diameter, mm	10,0
длина, мм | length, mm	15–50
Количество выработанного гранулированного жома, т/ч The amount of produced granulated pulp, t/h	4,5–8,0
Температура | Temperature, °С	
жома, поступающего в пресс pulp entering the press	50
гранул после гранулятора granules after granulator	70,0–80,0
гранул после охладителя | pellets after cooler	20,0–25,0
сушеного жома в выгрузочной камере dried bagasse in the unloading chamber	80,0–100,0
газов в топочной камере gases in the combustion chamber	1200–1500
сушильного агента в камере смешения drying agent in the mixing chamber	500–800
отработавшего сушильного агента на выходе из установки spent drying agent at the outlet of the installation	120,0–150,0
pH жомопрессовой воды | pH of press water	5,5
Норма расхода дезинфектанта, г/тн св Disinfectant consumption rate, g/ton of beets	15
Норма расхода пеногасителя, г/тн св Antifoam consumption rate, g/ton of beets	15
Количество мезги в жомопрессовой воде, г/л The amount of pulp in pulp press water, g/l	3,0–4,0
Давление газа у горелок Gas pressure at burners, kPa	20
Давление воздуха у газовых горелок, Па Air pressure for gas burners, Pa	4–5
Разрежение в топочной камере, кПа Vacuum in the combustion chamber, kPa	100–250
Разрежение перед сушильным барабаном, Па Vacuum in front of the tumble dryer, Pa	100–250
Разрежение за сушильным барабаном, Па Vacuum behind the drying drum, Pa	900–1500
Температура газов на выходе из топки, °С Gas temperature at the outlet from furnace, °С	500–800

Химический состав прессованного жома (таблица 4) показывает, что В 1 кг прессованного жома содержится 0,16 кормовых единиц, что в 1,6 раза больше, чем в свежем жоме.

Таблица 4.
Химический состав прессованного жома

Table 4.
The chemical composition of the pressed bagasse

Показатель Indicator	Значение Value
Состав, % | Content, %	
Сухие вещества | Dry matter	25,0–30,0
Вода | Water	75,0–85,0
Сырой протеин | Crude protein	1,7
Сырая клетчатка Crude fiber	4,8
Безазотистые экстрактивные вещества Nitrogen-free extractives	8,4–8,6
Жир | Fat	0,3
Зола | Ash	1,1
Кормовая единица в 1 кг корма Feed unit 1 kg of feed	0,16–0,18
Обменная энергия МДж Exchange energy MJ	1,88
СВ, г | Dry matter, g:	
Сырой протеин | Crude protein	17,0–19,0
Перевариваемый протеин Digestible protein	12,0
Жир | Fat	6,0–9,0
Клетчатка | Cellulose	50,0–70,0
Безазотистые экстрактивные вещества Nitrogen-free extractives	85,0–100,0
Сахар | Sugar	1,4–1,9
Кальций | Calcium	1,9
Фосфор | Phosphorus	0,2

Из пресса *3* отжатый жом с влажностью 64–69% ленточным транспортером *4* направляется в барабанную сушилку *5*, в которой жом сушится теплоносителем (смесью воздуха с продуктами сгорания природного газа) с температурой 110–140 °С в течение 90–120 минут до конечной влажности 11–13%. Для высушивания прессованного свекловичного жома в барабанной сушилке до влажности 11–13% расходуется 170 м^3 природного газа на 1 тонну жома. Высушенный жом выходит из барабанной сушилки *5* с температурой 50–60 °С [9, 11, 13].

Дымовые газы (продукты горения природного газа), имеющие температуру 750 °С, смешиваются с воздухом, в такой пропорции, чтобы смесь воздуха и дымовых газов имела температуру 110–140 °С. Отходящие газы с температурой 70–80 °С отсасываются из барабанной сушилки *5* вытяжным вентилятором *7* и направляются в циклоны *6* для улавливания унесенного теплоносителем частиц сушеного жома. Уловленные мелкие частицы сухого жома накапливаются в нижней части циклонов *6*, из которых направляются в гранулятор *10*, а дымовые газы с температурой 70–80 °С из циклонов 6 удаляются в атмосферу [12, 19].

Таблица 5.
Химический состав сушеного жома

Table 5.
The chemical composition of dried pulp

Наименование показателя Indicator name	Показатель Indicator
Состав, % | Content, %	
Влага | Moisture	13,0–14,0
Сухие вещества | Dry matter	87,0–86,0
зола и песок | ash and sand	5,6
азотистые вещества | nitrogenous substances	3,6
сырая клетчатка | crude fiber	17,6
безазотистые экстрактивные вещества nitrogen-free extractives	61,2
Сырой протеин | Crude protein	7,9
Сырой жир | Crude fat	0,5
Сырая зола | Crude ash	3,7
Кормовая единица в 1 кг корма Feed unit 1 kg of feed	0,85
Аминок-ты, г/1кг | Amino acids, g/1kg	
Аминокислоты Amino acid	3,2
Лизин | Lysine	6,1
Метионин | Methionine	0,60
Триптофан | Tryptophan	0,57
Аргинин | Arginine	2,44
Гистидин | Histidine	1,24
Треонин | Threonine	2,91
Изолейцин | Isoleucine	1,9
Лейцин | Leucine	3,67
Валин | Valine	3,28
Фенилаланин | Phenylalanine	2,14
Аспаргиновая кислота | Aspartic acid	4,59
Серин | Serine	3,20
Глутаминовая кислота | Glutamic acid	7,86
Пролин | Proline	2,64
Глицин | Glycine	2,81
Аланин | Alanin	2,99
Тирозин | Tyrosine	2,62
Мин. в-ва, г/1кг | Mineral, g/1kg	
Кальций | Calcium	5,0
Фосфор | Phosphorus	2,0
Калий | Potassium	3,4
Магний | Magnesium	2,9
Железо | Iron	356,0
Цинк | Zinc	15,6
Йод | Iodine	1,7
Крахмал | Starch	32
Витамины, мг/кг | Vitamins, mg/kg	
B1	0,4
B2	0,7
B3	1,5
B4	800
B5	1,6

Полученный сушеный жом направляется с помощью нории *8* в магнитный сепаратор *9*, в котором очищается от ферромагнитных примесей, и подается в гранулятор *10*, который прессует его в гранулы, размер которых зависит от размера отверстий матрицы (обычно в пределах 6, 8 и 10 мм).

Температура гранул после гранулятора 10 составляет 70–80 °С, поэтому они направляется в противоточный охладитель *11*, который обеспечивает эффективное охлаждение гранулированных гранул комбикорма при помощи окружающего воздуха. Окружающий охлажденный воздух подается вертикально в слой гранул. При этом выходная температура гранул не должна достигать температуры выше 10–15 ºС окружающей среды.

Из противоточного охладителя *11* охлажденные гранулы комбикорма подаются в просеиватель *12* для отделения мелких частиц из гранул. Мелкая фракция возвращается в гранулятор *10* на повторное гранулирование.

Просеянные гранулы свекловичного жома подаются на тензовесы *13* для взвешивания и затем ленточным транспортером *14* отгружаются в склад готовой продукции [14– 16].

Технология производства гранулированного свекловичного жома обеспечивает улучшение технологических свойств продукта – увеличение объемной массы более чем в 1,5 раза по сравнению с рассыпным жомом, улучшение его сыпучести, что предотвращает слеживаемость продукта и возможность хранения его в силосных емкостях. Гранулированный жом является ценным источником легко усвояемых углеводов, клетчатки и улучшает вкусовые качества комбикорма [18].

Заключение

Выполненный анализ влияния технологических режимов на изменения состава свекловичного жома при его переработке на Боринском сахарном заводе показывает:

– необходимость введения второй стадии прессования для дальнейшего снижения содержания влаги в прессованном жоме. Получение прессованного жома с более низким содержанием влаги позволит существенно сократить энергозатраты на испарение влаги в барабанной сушилке;

– сокращение продолжительности процесса тепловой сушки прессованного свекловичного жома в барабанной сушилке позволит значительно повысить пищевую ценность производимого гранулированного свекловичного жома;

– возможность повышения энергетической эффективности и эксплуатационной надежности работы участка гранулирования на Боринском сахарном заводе.

Литература

1 Мхитарян Г.А., Леснов А.П., Ткаченко В.М. Современные технологии переработки свекловичного жома // Сахарная свекла. 2009. № 2. С. 33–35.

2 Дыганова Р.Я., Зайнашева З.Р. Технология переработки свекловичного жома с использованием биоэнергетической установки // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. НЭ Баумана. 2015. Т. 221. №. 1.

3 Булавин С.А., Колесников А.С. Безотходная энергосберегающая технология сушки и переработки свекловичного жома // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2014. №. 4. С. 3.

4 Спичак В.В., Вратский А.М. Современные направления использования и утилизации свекловичного жома // Сахар. 2011. №. 9. С. 60–64.

5 Редченко М.А. Совершенствование процесса прессования свекловичного жома и получения из него пищевых волокон. Пенза: ПензГТУ, 2020.

6 Колесников А.С. Перемешивающее устройство для повышения степени экстрагирования пектина из свекловичного жома // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2015. №. 4. С. 10–17.

7 Яковчик Н.С., Карабань О.А. Свекловичный жом: вкусно и питательно. 2019.

8 Habeeb A.A.M. et al. Using of sugar beet pulp by-product in farm animals feeding // Int. J. Sci. Res. Sci. Technol. 2017. V. 3. P. 107–120.

9 Гурин А.Г., Басов Ю.В., Гнеушева В.В. Жом как ценнейший продукт сахарного производства // Russian agricultural science review. 2015. Т. 5. №. 5–1. С. 251–255.

10 Li M. et al. Preparation and characterization of cellulose nanofibers from de-pectinated sugar beet pulp // Carbohydrate Polymers. 2014. V. 102. P. 136–143. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.11.021

11 Погарелова Ю.Н., Бондаренко Ж.В. Новые направления использования свекловичного жома в республике Беларусь // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2009. Т. 1. №. 4.

12 Мищенко Е.В., Мищенко В.Я. Экологические проблемы, возникающие при хранении свекловичного жома на сахарных заводах // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях. 2018. С. 139–143.

13 Кулишов Б.А. и др. Технические материалы на основе свекловичного жома // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. №. 23.

14 Мурашкина О.А. и др. О снижении энергозатрат при сушке свекловичного жома // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2019. Т. 8. №. 2. С. 160–164.

15 Харина М.В., Васильева Л.М., Емельянов В.М. Особенности структуры и состава свекловичного жома и перспективы его переработки // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. №. 24.

16 Авроров В.А. и др. О компактировании свежего свекловичного жома на вертикальном шнековом компакторе с многолепестковой уплотняющей диафрагмой // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК. 2019. С. 983–993.

17 Mudoga H.L., Yucel H., Kincal N.S. Decolorization of sugar syrups using commercial and sugar beet pulp based activated carbons // Bioresource technology. 2008. V. 99. №. 9. P. 3528–3533. doi: 10.1016/j.biortech.2007.07.058

18 Соболь И.В. и др. Комплексная переработка свекловичного жома с использованием методов биотехнологии // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. №. 123.

19 Malekbala M.R. et al. The study of the potential capability of sugar beet pulp on the removal efficiency of two cationic dyes // Chemical Engineering Research and Design. 2012. V. 90. №. 5. P. 704–712. doi: 10.1016/j.cherd.2011.09.010

20 Huang X., Liu Q., Yang Y., He W.Q. Effect of high pressure homogenization on sugar beet pulp: Rheological and microstructural properties // LWT. 2020. V. 125. P. 109245. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109245

References

1 Mkhitaryan G.A., Lesnov A.P., Tkachenko V.M. Modern technologies for processing beet pulp. Sugar beet. 2009. no. 2. pp. 33–35. (in Russian).

2 Dyganova R. Ya., Zainasheva ZR Technology for processing beet pulp using a bioenergy installation. Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after V.I. NE Bauman. 2015. vol. 221. no. 1. (in Russian).

3 Bulavin S.A., Kolesnikov A.S. Waste-free energy-saving technology for drying and processing beet pulp. Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects. 2014. no. 4. pp. 3. (in Russian).

4 Spichak V.V., Vratskiy A.M. Modern directions of use and utilization of beet pulp. Sugar. 2011. no. 9. pp. 60–64. (in Russian).

5 Redchenko MA Improving the process of pressing beet pulp and obtaining food fiber from it. Penza: PenzGTU. 2020. (in Russian).

6 Kolesnikov A.S. A mixing device for increasing the degree of pectin extraction from beet pulp. Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects. 2015. no. 4. pp. 10–17. (in Russian).

7 Yakovchik NS, Karaban OA Beet pulp: tasty and nutritious. 2019. (in Russian).

8 Habeeb A.A.M. et al. Using of sugar beet pulp by-product in farm animals feeding. Int. J. Sci. Res. Sci. Technol. 2017. vol. 3. pp. 107–120.

9 Gurin A.G., Basov Yu.V., Gneusheva V.V. Zhom as the most valuable product of sugar production. Russian agricultural science review. 2015. vol. 5. no. 5–1. pp. 251–255. (in Russian).

10 Li M. et al. Preparation and characterization of cellulose nanofibers from de-pectinated sugar beet pulp. Carbohydrate Polymers. 2014. vol. 102. pp. 136–143. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.11.021

11 Pogarelova Yu.N., Bondarenko Zh.V. New directions of use of beet pulp in the Republic of Belarus. Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical technology, biotechnology, geoecology. 2009. vol. 1. no. 4. (in Russian).

12 Mishchenko E.V., Mishchenko V.Ya. Environmental problems arising from the storage of beet pulp at sugar factories. Innovations in environmental management and protection in emergency situations. 2018. pp. 139–143. (in Russian).

13 Kulishov B.A. et al. Technical materials based on beet pulp. Bulletin of Kazan Technological University. 2015. vol. 18. no. 23. (in Russian).

14 Murashkina O.A. et al. On reducing energy consumption when drying beet pulp. XXI century: the results of the past and the problems of the present plus. 2019. vol. 8. no. 2. pp. 160–164. (in Russian).

15 Kharina M.V., Vasilyeva L.M., Emelyanov V.M. Features of the structure and composition of beet pulp and the prospects for its processing. Bulletin of Kazan Technological University. 2014. vol. 17. no. 24. (in Russian).

16 Avrorov V.A. et al. On the compaction of fresh beet pulp on a vertical screw compactor with a multi-lobed sealing diaphragm. Agroecological aspects of sustainable development of AIC. 2019. pp. 983–993. (in Russian).

17 Mudoga H.L., Yucel H., Kincal N.S. Decolorization of sugar syrups using commercial and sugar beet pulp based activated carbons. Bioresource technology. 2008.vol. 99. no. 9. pp. 3528–3533. doi: 10.1016/j.biortech.2007.07.058

18 Sobol IV et al. Complex processing of beet pulp using biotechnology methods. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2016. no. 123. (in Russian).

19 Malekbala M.R. et al. The study of the potential capability of sugar beet pulp on the removal efficiency of two cationic dyes. Chemical Engineering Research and Design. 2012. vol. 90. no. 5. pp. 704–712. doi: 10.1016/j.cherd.2011.09.010

20 Huang X., Liu Q., Yang Y., He W.Q. Effect of high pressure homogenization on sugar beet pulp: Rheological and microstructural properties. LWT. 2020. vol. 125. pp. 109245. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109245

Сведения об авторах

Светлана Н. Зобова директор свеклосахарного производства АО «АПО «Аврора», АО «АПО «Аврора» Структурное Подразделение «Боринский сахарный завод», Липецкая обл., с. Боринское, ул. Чайковского 18 «А», 398510, Россия, zobova-svetlana2017@ya.ru
https://orcid.org/0000-0000-0000-0000

Александр Н. Остриков д.т.н., профессор, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ostrikov27@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-2335-0017

Лариса Н. Фролова д.т.н., профессор, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, fln-84@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6505-4136

Максим В. Копылов к.т.н., доцент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kopylov-maks@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-2678-2613

Игорь С. Богомолов к.т.н., первый заместитель генерального директора, Акционерное общество «Научно производственный центр «ВНИИ комбикормовой промышленности», пр-т Труда, 91, г. Воронеж, 394026, Россия, igor-bog@ya.ru

Information about authors

Svetlana N. Zobova director of the sugar industry of JSC «Agroindustrial enterprise «Avrora», Structural subdivision "Borino sugar factory" of JSC «Agroindustrial enterprise «Avrora», Lipetsk region, v. Borinskoe, Tschaikowsky. 18 «A», 398510, Russia, zobova-svetlana2017@ya.ru
https://orcid.org/0000-0000-0000-0000

Alexander N. Ostrikov Dr. Sci. (Engin.), professor, fat technology, processes and devices of chemical and food industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ostrikov27@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-2335-0017

Larisa N. Frolova Dr. Sci. (Engin.), professor, fat technology, processes and devices of chemical and food industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, fln-84@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6505-4136

Maksim V. Kopylov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fat technology, processes and devices of chemical and food industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kopylov-maks@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-2678-2613

Igor S. Bogomolov Cand. Sci. (Engin.), first deputy general director, Research and Production Center VNII compound feed industry, Prospect Truda, 91, Voronezh, 394026, Russia, igor-bog@ya.ru

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 15/01/2021	**После редакции** 19/02/2021	**Принята в печать** 04/03/2021

Received 15/01/2021	**Accepted in revised** 19/02/2021	**Accepted** 04/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-78-85 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.854 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Оптимизация процесса производства соевого масла

Екатерина Ю. Желтоухова [1] katsturova@gmail.com 0000-0002-7463-9013
Наталья Л. Клейменова [1] klesha78@list.ru 0000-0002-1462-4055
Мария А. Болгова [1] 14bolgova.masha9@gmail.com 0000-0001-7464-3883
Маргарита А. Лесняк [2] lesnyak.rita@mail.ru 0000-0003-3504-1702
Полина А. Тронза [3] tronza0207@yandex.ru 0000-0002-4583-1276

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Для производства соевого масла используется технология прямой экстракции нефрасом с дальнейшим очищением мисцеллы от растворителя и кислотной гидратацией (лимонной кислотой). Мисцелла очищается от растворителя посредством прохождения через целый ряд теплообменных аппаратов и дистилляторов. Окончательный дистиллятор представляет собой 2х-ступенчатый дистилляционный аппарат, работающий при абсолютном давлении примерно 400 мбар. Существенные недостатки данных установок является нерациональное использование пара и его тепла, возможность перегрева готового продукта и ухудшение его качества, небольшая скорость протекания процесса, сложная конструкция и обслуживание. Для интенсификации процесса испарения растворителя из пленки мисцеллы в конструкции желобов в пленочной камере целесообразно установить цилиндрические или щелевые отверстия, через которые происходит образование свободно падающих струй мисцеллы последовательно с вышележащего витка желоба на плоскотсь нижележащего. При этом пленка мисцеллы, движущейся по желобу, имеет определенную гидродинамическую нестабильность в местах стока и падения струи на плоскость желоба. Непосредственно в струе жидкость, как правило, турбулизирована, а ламинарная пленка отсутствует. Указанный технический прием заметно интенсифицирует процесс дистилляции. Также для интенсификации следует установить аэрационную систему подачи острого пара, представлена трубчатым барботером. Применение трубчатых аэраторов позволяет достичь увеличения отношения аэрируемой площади к общей площади секции при использовании меньшего количества аэрационных элементов и сокращении длины трубопроводов (в среднем в 4 раза). Вследствие этого существенно сокращаются сроки и стоимость монтажа.

Ключевые слова: соя, соевое масло, шрот соевый, мисцелла, экстракция, нефрас

Optimization of the soybean oil production process

Ekaterina Yu. Zheltoukhova [1] katsturova@gmail.com 0000-0002-7463-9013
Natalia L. Kleimenova [1] klesha78@list.ru 0000-0002-1462-4055
Maria A. Bolgova [1] 14bolgova.masha9@gmail.com 0000-0001-7464-3883
Margarita A. Lesnyak [2] lesnyak.rita@mail.ru 0000-0003-3504-1702
Polina A. Tronza [3] tronza0207@yandex.ru 0000-0002-4583-1276

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The technology of direct extraction with nephras followed by the further miscella purification from the solvent and acid hydration (citric acid) is used to produce soybean oil. The miscella is cleared of solvent by passing through a range of heat exchangers and distillers. The final distillation unit is a 2-stage distillation apparatus operating at approximately absolute 400 mbar . A significant drawback of these installations is the irrational use of steam and its heat, the possibility of the finished product overheating and its quality deterioration, the process low speed, complex design and maintenance. To intensify the process of solvent evaporation from the miscella film in the structure of the troughs in the film chamber, it is advisable to install cylindrical or slotted holes through which free falling jets of miscella are formed sequentially from the overlying loop of the trough to the plane of the underlying one. In this case, the miscella film moving along the chute has a certain hydrodynamic instability at the points of flow and the fall of the jet on the plane of the chute. Directly in the jet, the liquid, as a rule, is turbulized, and there is no laminar film. This technique significantly intensifies the distillation process. An aeration system for supplying live steam, represented by a tubular bubbler, should be installed for intensification as well. The use of tubular aerators makes it possible to achieve an increase in the ratio of the aerated area to the total area of the section with the use of a smaller number of aeration elements and a reduction in the length of the pipelines (by 4 times on average). As a result, the time and cost of installation are reduced significantly.

Keywords: soybean, soybean oil, soybean meal, miscella, extraction, nefras

Введение

Основной целью работы является улучшение качественных показателей готового соевого масла благодаря внесению дополнительного сырья в рецептуру и введение нового оборудования, а также сокращение энергозатрат производства.

Соевое масло добывается из сои – однолетнего травянистого растения семейства бобовых. Соевое масло относится к жирным маслам семян, состоящим из сложной смеси различных триглицеридов, фосфолипидов, некоторого количества свободных жирных кислот и разнообразных нежировых веществ. Органолептический метод используется для определения показателей качества соевого масла на основе осязания, зрения и обоняния. Точность и достоверность данной оценки напрямую зависит от навыков и квалификации анализатора, а также условий проведения анализа [1, 3].

Для цитирования
Желтоухова Е.Ю., Клейменова Н.Л., Болгова М.А., Лесняк М.А., Тронза П.А. Оптимизация процесса производства соевого масла // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 78–85. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-78-85

For citation
Zheltouhova E.Yu., Kleimenova N.L., Bolgova M.A., Lesnyak M.A., Tronza P.A. Optimization of the soybean oil production process. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 78–85. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-78-85

© 2021, Желтоухова Е.Ю. и др. / Zheltouhova E.Yu. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Материалы и методы

Семена сои поступают подаются на транспортер и норию. Из нории соя поступает в буферную емкость. В бункер сырье поступает через магнитный сепаратор. Очистка важна для получения высококачественной продукции. Сепаратор состоит из набора сит для разделения следующих фракций: грубая фракция, чистая фракция, мелкая фракция, сор и песок, проходит через нижнее сито. Очищенное сырье после сепаратора поднимается норией и через транспортер равномерно подается в нагреватель / кондиционер. Нагреватель является вертикальной башней, где материал медленно перемещается самотеком сверху вниз. Материал в конечном итоге кондиционируется и достигает температуры 65° – 70° С на выходе из кондиционера. В этой секции производится сушка сырья, дважды процесс дробления и дважды аспирация соевой оболочки. Материал с конвейера поступает на сушилку через питательный бункер и шлюзовой затвор. Сушилка кипящего слоя используется для поверхностной обработки сои. Сырье нагревается в ней горячим воздухом, подаваемым вентиляторами, и нагретым в нагревателе воздуха. Подготовленное сырье выгружается самотеком на дробильный вальцевый станок, где оно дробится на половинки и четвертинки. Смесь загружается в первичный мульти-аспиратор через питатели. Оболочка аспирируется воздушным вентилятором. Оболочка и увлеченное ядро отделяются от воздуха в циклоне и через шлюзовый затвор подаются в транспортер. Дробленка после первичного обрушивания поступает на дробильный вальцевый станок самотеком, где она дробится на кусочки. Дробленое ядро после вторичного обрушивания подается в секцию лепесткования. Оболочка с примесью частиц ядра транспортируется в сепаратор оболочки. Установка оборудована вибрационными ситами с разным размером отверстий для отделения трех фракций продукта. Дробленое ядро после мульти-аспираторов перемещается в секцию лепесткования. Оболочка аспирируется потоком воздуха из вентилятора, отделяется в циклоне. Из бункера оболочка подается через питатель на молотковую дробилку для измельчения. Измельченная оболочка после дробилки за счёт разряжения, создаваемого вентилятором поступает в фильтр-циклон откуда шнековым конвейером и скребковым и норией подается в емкость. В кондиционере-смесителе продукт подготавливается для последующего гранулирования. Кондиционирование включает в себя увлажнение, за счет подачи в сырьё воды и(или) пара. Подготовленный продукт при помощи подающего шнека подаётся в камеру прессования гранулятора. Пресс-гранулятор предназначен для гранулирования измельченной соевой оболочки перед отгрузкой ее потребителю. Прессование производится путем продавливания материала с помощью валков, установленных на эксцентричном валу, через матрицу пресс-гранулятора. Гранулированный материал, выходящий из матрицы, срезается двумя регулируемыми ножами и по самотеку поступает далее в осушитель. Вертикальный противоточный осушитель предназначен для снижения влажности гранул перед охлаждением. Сушка гранулированной соевой оболочки осуществляется потоком воздуха, создаваемым вентилятором. Гранулы из охладителей подаются в транспортер и далее норией, скребковыми транспортерами и в отгрузочный бункер. Теплые, размягченные частицы ядра, собранные транспортером направляются в плющильные вальцевые станки. Плющильные вальцевые станки оснащены одной парой гладких валков большого диаметра, которые сплющивают дробленку в лепесток. Непрерывная экстракция растворителем (нефрасом) является самой современной технологией извлечения масла из масличных материалов. По сравнению с другими способами извлечения растительных масел, непрерывная экстракция обладает такими преимуществами, как малая трудоемкость, больший выход готовой продукции и низкая стоимость технического обслуживания и текущего ремонта, благодаря чему она стала обязательным условием экономического выживания в мире современной масложировой промышленности [2].

Материал, поступающий через питатель, постепенно заполняет ячейку экстрактора. Вместе с материалом, поступающим в ячейку экстрактора, подается мисцелла для создания пульпы. Непроницаемые перегородки барабана обеспечивают полное насыщение материала мисцеллой. Это минимизирует потерю времени при переходе между ступенями орошения и увеличивает время контакта. По мере движения, экстрагируемый материал орошается мисцеллой, подаваемой из разбрызгивателей, установленных по всему диаметру барабана. По мере вращения барабана, находящийся на нем соевый лепесток орошается мисцеллой убывающей концентрации, а из самого последнего разбрызгивателя подается чистый растворитель (нефрас), поступающий из водоотделителя. Приближаясь к концу процесса экстракции, экстрагируемый

материал освобождается от мисцеллы, которая стекает в последний поддон, и через выходное отверстие сбрасывается в разгрузочный бункер, откуда шнеком с регулируемой скоростью вращения подается в цепной транспортер и далее в секцию удаления растворителя из шрота.

Основной аппарат секции – десолвентизатор-тостер состоит из одиннадцати отделений, расположенных друг над другом, и условно делится на следующие отделения. В отделении десолвентизации и тостирования шрот кроме глухого пара, так же подвергается воздействию острого пара. Через отверстия пар проникает в массу шрота и равномерно распределяется в ней. Температура повышается и поддерживается на уровне 105–107 °С. Далее пары из нижнего чана проникают через отверстия в днище верхнего чана, и проходят через находящийся в нем шрот, затем таким же образом проходят вышестоящие чаны. После этого пары из отделений отгонки растворителя проходят газоходы третьего, второго и первого чанов, не контактируя в них со шротом во избежание его переувлажнения, и в конечном итоге выводятся из тостера в скруббер [5].

Острый пар в чан вводится в слой материала противоходом его движению, т. е. снизу-вверх. Пар конденсируется в шроте, тем самым своим скрытым теплом испаряя смесь растворитель – вода.

Таблица 1.

Органолептические и физико-химические показатели соевого шрота [12]

Table 1.

Organoleptic and physical and chemical characteristics of soybean meal [12]

Наименование показателя Indicator name	Характеристика Characteristic	Показатели полученного образца шрота Indicators of the received meal sample
Цвет ГОСТ 13979.4 Color GOST 13979.4	От светло-желтого до светло-коричневого Light yellow to light brown	Желтый Yellow
Запах ГОСТ 13979.4 Odor GOST 13979.4	Свойственный соевому шроту без посторонних запахов (затхлого, плесневелого, гнилостного) Characteristic of soybean meal without foreign odors (musty, moldy, putrid)	Свойственный соевому шроту Peculiar to soybean meal
Массовая доля влаги и летучих веществ, %, не более ГОСТ Р 54705–2011 Mass fraction of moisture and volatile substances, %, not more than GOST R 54705–2011	12,0	10,3
Массовая доля сырого протеина в пересчете на абсолютно сухое вещество, %, не менее ГОСТ 51417 Mass fraction of crude protein in terms of absolutely dry matter, %, not less than GOST 51417	41	47,6
Массовая доля сырой клетчатки в пересчете на абсолютно сухое вещество, %, не более ГОСТ Р 52839 Mass fraction of crude fiber in terms of absolutely dry matter, %, not more than GOST R 52839	8,0	6,6
Массовая доля сырого жира в пересчете на абсолютно сухое вещество, %, не более ГОСТ 13496.15 Mass fraction of crude fat in terms of absolutely dry matter, %, not more than GOST 13496.15	2,0 – 4,0	3,9
Массовая доля золы в пересчете на абсолютно сухое вещество, не более ГОСТ 13979.6 Mass fraction of ash in terms of absolutely dry matter, not more than GOST 13979.6	1,5	1,1
Посторонние примеси (камешки, стекло, земля) по п. 7.5 ГОСТ Р 53799 Impurities (stones, glass, earth) according to clause 7.5 of GOST R 53799	Не допускается Not allowed	Не допускается Not allowed
Содержание нитратов, мг/кг, не более ГОСТ 13496.19 Nitrate content, mg / kg, not more than GOST 13496.19	200,0	
Содержание нитритов, мг/кг, не более ГОСТ 13496.19 Nitrite content, mg/kg, not more than GOST 13496.19	10,0	

В отделении окончательной отгонки растворителя и тостирования шрот подвергается тепловой обработке только посредством глухого пара. В отделении сушки шрота нагретый воздух поступает в воздушную камеру с перфорированным днищем для равномерного пропускания воздуха через шрот. Из воздушной камеры воздух равномерно поднимается через шрот со скоростью 18–20 м/мин, что обеспечивает образование «кипящего слоя» шрота. «Кипящий слой» оптимизирует забор влаги и тепла воздухом. В процессе сушки температура шрота падает приблизительно до 65 ℃, а влажность опускается до значений на 1–2% выше нормы. В отделении охлаждения шрота материал продувается холодным воздухом таким же способом, как и в отделении сушки и выгружается через выпускной шлюзовый затвор в транспортер. Далее шрот, не содержащий растворителя, осушенный и охлажденный, направляется в склад хранения шрота. Органолептические и физико-химические показатели соевого шрота приведены в таблице 1 [12].

Секция дистилляции мисцеллы необходима для отгонки растворителя из мисцеллы для получения чистого масла. На всех стадиях процесс дистилляции ведется под вакуумом для облегчения отгонки растворителя и предотвращения окисления масла. Исходная мисцелла из емкости поступает в экономайзер, в котором из нее удаляется большая часть растворителя за счет тепла отходящих паров тостера. Испарение растворителя из мисцеллы проходит в восходящей пленке. Пары растворителя выводятся в систему конденсации, а мисцелла далее перекачивается в теплообменник. Теплообменник предназначен для нагрева мисцеллы путем рекуперации тепла масла, прошедшего дистилляцию. Мисцелла нагревается примерно до 75 °С, а сырое масло охлаждается со 100 до 70 °С. Далее мисцелла поступает в кожухотрубчатый теплообменник, где нагревается для компенсации потерь тепла после испарения растворителя на предыдущих стадиях дистилляции глухим паром. Мисцелла нагревается от 75 до 100 °С, а концентрация масла увеличивается с 70–90% до 95–97%. После масло, еще содержащее следы растворителя, поступает в выпариватель, являющийся расширительным баком над дистиллятором. В нем пары растворителя отделяются от мисцеллы, которая достигает концентрации 4–5% и нагревается до 100–105 °С. Далее мисцелла направляется на окончательную дистилляцию. Окончательный дистиллятор является двухступенчатым аппаратом с сетчатыми тарелками.

Далее из окончательного дистиллятора масло перекачивается либо в секцию неполной кислотной гидратации, либо напрямую через теплообменник в осушитель масла, работающий под глубоким вакуумом, который поддерживается эжектором пара.

Отработанный пар от этого эжектора используется как барботажный пар в окончательном дистилляторе. Осушенное масло затем подаётся окончательный охладитель масла. Охладитель охлаждает масло, выходящее из осушителя от приблизительно 90 до 50 °С. Из дистиллятора масло перекачивается через теплообменник масло/мисцелла, где охлаждается от 100 °С до температуры приблизительно 70 °С. Из данной емкости через теплообменник масло поступает в статический смеситель, где смешивается с 30% раствором лимонной кислоты. Задачей смесителя является диспергирование раствора в фазу масла [7, 9].

Реактор оборудован медленно работающей мешалкой и внутренними перегородками для обеспечения стандартного времени реакции 25–30 мин. Оттуда смесь под давлением от насоса подается в смеситель. Масляно-водяная смесь поступает в сат-рационную колонну-реактор, где происходит дополнительный процесс образования в масле фосфатидных образований. Далее полученная смесь поступает через пластинчатый теплообменник в центробежный сепаратор. В сепараторе эмульсия под действием центробежных сил разделяется на две фазы:

- легкую, т. е. влажное гидратированное масло (влажность 0,3 – 0,4%)
- тяжелую, т. е. эмульсию, содержащую приблизительно 40–50% воды, 35%-40% лецитина и 15–20% масла.

Из сепаратора гидратированное масло через нагреватель попадает в осушитель. Осушенное масло направляется в баки хранения готового масла через пластинчатый охладитель, понижающий температуру масла примерно до 50 °С.

Воздух, насыщенный парами растворителя, удаляется из установки вентилятором, который как раз и выполняет функцию поддержания разрежения в установке [13–20].

Таблица 2.

Органолептические и физико-химические показатели гидратированного соевого масла [12]

Table 2.

Organoleptic and physicochemical characteristics of hydrated soybean oil [12]

Наименование, показателя, метод испытания Name, indicator, test method	Норма для масла соевого нерафинированного первого сорта Norm for unrefined soybean oil of the first grade	Показатели полученного образца Indicators of the received sample
Вкус и запах ГОСТ 5472 Taste and smell GOST 5472	Свойственные соевому маслу без постороннего запаха и привкуса Characteristic of soybean oil without foreign smell and taste	Свойственные соевому маслу без постороннего запаха и привкуса Characteristic of soybean oil without foreign smell and taste
Прозрачность, ГОСТ 5472, ГОСТ Р 52110, ГОСТ Р 54896 Transparency, GOST 5472, GOST R 52110, GOST R 54896	Допускается осадок и легкое помутнение Sediment and slight turbidity are allowed	Прозрачное Transparent
Кислотное число, мг КОН/г, не более Acid number, mg KOH / g, no more	4,0	3,59
Массовая доля фосфора, мг/кг, не более Mass fraction of phosphorus, mg / kg, no more	200	188
Массовая доля влаги и летучих веществ, %, не более ГОСТ 11812 Mass fraction of moisture and volatile substances, %, not more than GOST 11812	0,2	0,19
Массовая доля нежировых примесей, %, не более ГОСТ 5481 Mass fraction of non-fatty impurities, %, not more than GOST 5481	–	–
Температура вспышки экстракционного масла, ^{0}C, не ниже ГОСТ 9287 Flash point of extraction oil, 0C, not lower than GOST 9287	225	234
Перекисное число, ммоль активного кислорода / кг не более ГОСТ Р 51487, ГОСТ Р 54896, ГОСТ Р 26593 Peroxide number, mmol of active oxygen / kg, no more GOST R 51487, GOST R 54896, GOST R 26593	10	7,1

Для извлечения растворителя из воздуха, выходящего из установки, между конденсатором и вентилятором устанавливается система масляной абсорбции. Воздух, освобожденный от паров растворителя, удаляется вентилятором в атмосферу. Минеральное масло, циркулируя в замкнутом контуре, откачивается насосом из абсорбера в рекуперационный теплообменник (масло-масло), где оно подвергается предварительному нагреву за счет уже прошедшего очистку масла из десорбера. Подогретое таким образом масло попадает затем в кожухотрубный подогреватель, где его температура доводиться до +100 ℃, и поступает в десорбер. В десорбере масло стекает в нижнюю часть через слой колец Палля, а ему навстречу снизу аппарата подается острый пар. Пары через каплеуловитель направляются в конденсатор, а очищенное минеральное масло поступает на охлаждение. Очищенное от растворителя масло насосом прокачивается через пластинчатый теплообменник, где оно отдает избыточное тепло маслу. Охлажденное абсорбционное масло попадает в верхнюю часть абсорбера и таким образом замыкает контур. Растворитель подвозится автоцистерной на оборотное бензохранилище и в соответствии с нормами техники безопасности сливается в емкость для растворителя через сетчатый фильтр. Из емкости для растворителя растворитель (нефрас) насосом закачивается в водоотделитель. Избыток растворителя через переливную трубу возвращается. Для создания вакуума во всасывающей линии насосов, в первоначальный момент работы насосов, предусмотрена вакуумная линия к конденсатору. Экстракционное масло поступает в промежуточные емкости. Масло, температура вспышки которого соответствует нормативным требованиям, отгружается в емкость.

Обсуждение

В результате предложенной модернизации, органолептических и физико-химических показателей соевого масла достигли характеристик, отвечающих нормам действующих ГОСТ (таблица 2), а также, требованиям потребителей.

По физико-химическим показателям соевой шрот нормируются по следующим показателям: массовая доля влаги и летучих веществ, массовая доля сырого протеина в пересчете на абсолютно сухое вещество, массовая доля сырой клетчатки в пересчете на абсолютно сухое вещество, массовая доля сырого жира в пересчете на абсолютно сухое вещество, массовая доля золы в пересчете на абсолютно сухое вещество, посторонние примеси, содержание нитратов, содержание нитритов.

Для физико-химических показателей соевого масла нормируются: кислотное число, массовая доля фосфора, массовая доля влаги и летучих веществ, массовая доля нежировых примесей, температура вспышки экстракционного масла, а также перекисное число. Для производства соевого масла используется технологическая линия прямой экстракции нефрасом с дальнейшим очищением мисцеллы от растворителя и лимонной кислотой. Полученная мисцелла очищается от растворителя посредством прохождения через целый ряд теплообменных аппаратов и дистилляторов. Это позволяет рационально использоватье пар и его тепло, исключить перегрев готового продукта и улучшить его качества, а также облегчить конструкцию и обслуживание. Для интенсификации процесса испарения растворителя из пленки мисцеллы в конструкции желобов в пленочной камере устанавливают цилиндрические или щелевые отверстия, через которые происходит образование свободно падающих струй мисцеллы последовательно с вышележащего витка желоба на плоскотсь нижележащего. При проведении данных анализов (таблицы 1,2) выявили, что длительность хранения контрольных экспериментальных образцов совпадает с длительностью хранения образцов соевого масла; при стабильной температуре хранения.

Заключение

По результатам работы удалось усовершенствовать настоящую линию производства соевого масла, т. к. проведенные органолептические и физико-химические показатели соевого шрота и гидратированного соевого масла показали улучшенные показателей и соответствие стандарту физико-химических. Для интенсификации. предложенной технологи производства соевого масла следует установить аэрационную систему подачи острого пара, представлена трубчатым барботером. Используемые рубчатые аэраторы позволябт достичь увеличения отношения аэрируемой площади к общей площади секции при использовании меньшего количества аэрационных элементов и сокращении длины трубопроводов (в среднем в 4 раза).

Литература

1 Петибская В.С. Соя: Химический состав и использование. Майкоп: ОАО «Полиграф-ЮГ», 2012. 432 с.

2 Нечаев А.П. Пищевые продукты XXI века // Масла и жиры. 2011. № 1. С. 4–7

3 Liu F., Liu Y., Liu X., Shan L., Wang X. Preparation of deolied soy lecithin by ultrafiltration // JAOCS. 2011. № 88. P. 1807–1812.

4 Соколовский С. Рынок сои РФ: тенденции и перспективы развития // Рынок сои и соевых шротов стран СНГ и Европы: II Международная конференция. Калининград, 2013.

5 Nahashon S.N., Kilonzo-Nthenge A.K. Advances in Soybean and Soybean by-products in monogastric nutrition and health // Soybean Nutr. 2011. P. 125–156.

6 ГОСТ Р 53799–2010. Шрот соевый кормовой тестированный. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2010. 12 с.

7 Cheng M.H., Rosentrater K.A. Economic feasibility analysis of soybean oil production by hexane extraction // Industrial crops and products. 2017. V. 108. P. 775-785. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.07.036

8 Lei Z. et al. Preparation of soybean oil factory sludge catalyst and its application in selective catalytic oxidation denitration process // Journal of Cleaner Production. 2019. V. 225. P. 220-226. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.254

9 Acik G. et al. Synthesis and properties of soybean oil-based biodegradable polyurethane films // Progress in Organic Coatings. 2018. V. 123. P. 261-266. doi: 10.1016/j.porgcoat.2018.07.020

10 Доморощенкова М. Об изменениях в стандартизации соевого шрота // Комбикорма. 2012. № 1. С. 77–79.

11 Alqaisi O., Moraes L.E., Ndambi O.A., Williams R.B. Optimal dairy feed input selection under alternative feeds availability and relative prices // Information Processing in Agriculture. 2019. V. 6. №. 4. P. 438-453. doi: 10.1016/j.inpa.2019.03.004

12 Marono S., Loponte R., Lombardi P., Vassalotti G. et al. Productive performance and blood profiles of laying hens fed Hermetia illucens larvae meal as total replacement of soybean meal from 24 to 45 weeks of age // Poultry Science. 2017. V. 96. №. 6. P. 1783-1790. doi: 10.3382/ps/pew461

13 Miao S., Zhao C., Zhu J., Hu J. et al. Dietary soybean meal affects intestinal homoeostasis by altering the microbiota, morphology and inflammatory cytokine gene expression in northern snakehead // Scientific reports. 2018. V. 8. №. 1. P. 1-10. doi: 10.1038/s41598-017-18430-7

14 Zhang Y., Chen S., Zong X., Wang C. et al. Peptides derived from fermented soybean meal suppresses intestinal inflammation and enhances epithelial barrier function in piglets // Food and Agricultural Immunology. 2020. V. 31. №. 1. P. 120-135. doi: 10.1080/09540105.2019.1705766

15 Shafaei S.M., Nourmohamadi-Moghadami A., Kamgar S., Eghtesad M. Development and validation of an integrated mechatronic apparatus for measurement of friction coefficients of agricultural products // Information Processing in Agriculture. 2020. V. 7. №. 1. P. 93-108. doi: 10.1016/j.inpa.2019.04.006

16 Spiller M., Muys M., Papini G., Sakarika M. et al. Environmental impact of microbial protein from potato wastewater as feed ingredient: Comparative consequential life cycle assessment of three production systems and soybean meal // Water research. 2020. V. 171. P. 115406. doi: 10.1016/j.watres.2019.115406

17 Wang Z., Li L., Yuan D., Zhao X. et al. Reduction of the allergenic protein in soybean meal by enzymatic hydrolysis // Food and Agricultural Immunology. 2014. V. 25. №. 3. P. 301-310. doi: 10.1080/09540105.2013.782268

18 Jazi V., Ashayerizadeh A., Toghyani M., Shabani A. et al. Fermented soybean meal exhibits probiotic properties when included in Japanese quail diet in replacement of soybean meal // Poultry science. 2018. V. 97. №. 6. P. 2113-2122. doi: 10.3382/ps/pey071

19 Dai C., Ma H., He R., Huang L. et al. Improvement of nutritional value and bioactivity of soybean meal by solid-state fermentation with Bacillus subtilis // LWT. 2017. V. 86. P. 1-7. doi: 10.1016/j.lwt.2017.07.041

20 Zhang Y., Shi C., Wang C., Lu Z. et al. Effect of soybean meal fermented with Bacillus subtilis BS12 on growth performance and small intestinal immune status of piglets // Food and Agricultural Immunology. 2018. V. 29. №. 1. P. 133-146. doi: 10.1080/09540105.2017.1360258

References

1 Petibskaya V.S. Soy: Chemical Composition and Uses. Maikop, JSC "Polygraph-Yug", 2012. 432 p. (in Russian).

2 Nechaev A.P. Food products of the XXI century. Oils and fats. 2011. no. 1. pp. 4–7. (in Russian).

3 Liu F., Liu Y., Liu X., Shan L., Wang X. Preparation of deolied soy lecithin by ultrafiltration. JAOCS. 2011. no. 88. pp. 1807–1812.

4 Sokolovsky S. Russian soybean market: trends and development prospects. Soybean and soybean meal market of the CIS and Europe: II International conference. Kaliningrad, 2013. (in Russian).

5 Nahashon S.N., Kilonzo-Nthenge A.K. Advances in Soybean and Soybean by-products in monogastric nutrition and health. Soybean Nutr. 2011. pp. 125–156.

6 GOST R 53799–2010. Soybean meal tested. Technical conditions. Moscow, Standartinform, 2010. 12 p. (in Russian).

7 Cheng M.H., Rosentrater K.A. Economic feasibility analysis of soybean oil production by hexane extraction. Industrial crops and products. 2017. vol. 108. pp. 775-785. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.07.036

8 Lei Z. et al. Preparation of soybean oil factory sludge catalyst and its application in selective catalytic oxidation denitration process. Journal of Cleaner Production. 2019. vol. 225. pp. 220-226. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.254

9 Acik G. et al. Synthesis and properties of soybean oil-based biodegradable polyurethane films. Progress in Organic Coatings. 2018. vol. 123. pp. 261-266. doi: 10.1016/j.porgcoat.2018.07.020

10 Domoroshchenkova M. About changes in the standardization of soybean meal. Compound feed. 2012. no. 1. pp. 77–79. (in Russian).

11 Alqaisi O., Moraes L.E., Ndambi O.A., Williams R.B. Optimal dairy feed input selection under alternative feeds availability and relative prices. Information Processing in Agriculture. 2019. vol. 6. no. 4. pp. 438-453. doi: 10.1016/j.inpa.2019.03.004

12 Marono S., Loponte R., Lombardi P., Vassalotti G. et al. Productive performance and blood profiles of laying hens fed Hermetia illucens larvae meal as total replacement of soybean meal from 24 to 45 weeks of age. Poultry Science. 2017. vol. 96. no. 6. pp. 1783-1790. doi: 10.3382/ps/pew461

13 Miao S., Zhao C., Zhu J., Hu J. et al. Dietary soybean meal affects intestinal homoeostasis by altering the microbiota, morphology and inflammatory cytokine gene expression in northern snakehead. Scientific reports. 2018. vol. 8. no. 1. pp. 1-10. doi: 10.1038/s41598-017-18430-7

14 Zhang Y., Chen S., Zong X., Wang C. et al. Peptides derived from fermented soybean meal suppresses intestinal inflammation and enhances epithelial barrier function in piglets. Food and Agricultural Immunology. 2020. vol. 31. no. 1. pp. 120-135. doi: 10.1080/09540105.2019.1705766

15 Shafaei S.M., Nourmohamadi-Moghadami A., Kamgar S., Eghtesad M. Development and validation of an integrated mechatronic apparatus for measurement of friction coefficients of agricultural products. Information Processing in Agriculture. 2020. vol. 7. no. 1. pp. 93-108. doi: 10.1016/j.inpa.2019.04.006

16 Spiller M., Muys M., Papini G., Sakarika M. et al. Environmental impact of microbial protein from potato wastewater as feed ingredient: Comparative consequential life cycle assessment of three production systems and soybean meal. Water research. 2020. vol. 171. pp. 115406. doi: 10.1016/j.watres.2019.115406

17 Wang Z., Li L., Yuan D., Zhao X. et al. Reduction of the allergenic protein in soybean meal by enzymatic hydrolysis. Food and Agricultural Immunology. 2014. vol. 25. no. 3. pp. 301-310. doi: 10.1080/09540105.2013.782268

18 Jazi V., Ashayerizadeh A., Toghyani M., Shabani A. et al. Fermented soybean meal exhibits probiotic properties when included in Japanese quail diet in replacement of soybean meal. Poultry science. 2018. vol. 97. no. 6. pp. 2113-2122. doi: 10.3382/ps/pey071

19 Dai C., Ma H., He R., Huang L. et al. Improvement of nutritional value and bioactivity of soybean meal by solid-state fermentation with Bacillus subtilis. LWT. 2017. vol. 86. pp. 1-7. doi: 10.1016/j.lwt.2017.07.041

20 Zhang Y., Shi C., Wang C., Lu Z. et al. Effect of soybean meal fermented with Bacillus subtilis BS12 on growth performance and small intestinal immune status of piglets. Food and Agricultural Immunology. 2018. vol. 29. no. 1. pp. 133-146. doi: 10.1080/09540105.2017.1360258

Сведения об авторах

Екатерина Ю. Желтоухова к.т.н, доцент, кафедра технологии жиров процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, katsturova@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-7463-9013

Наталья Л. Клейменова к.т.н., доцент, кафедра управления качеством и технологии водных биоресурсов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, klesha78@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-1462-4055

Мария А. Болгова студент, кафедра технологии жиров процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, 14bolgova.masha9@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-7464-3883

Маргарита А. Лесняк студент, кафедра технологии жиров процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lesnyak.rita@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3504-1702

Полина А. Тронза студент, кафедра технологии жиров процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tronza0207@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-4583-1276

Information about authors

Ekaterina Yu. Zheltoukhova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fat, processes and devices of chemical and food industries depart, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, katsturova@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-7463-9013

Natalia L. Kleimenova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, quality management and technology of aquatic bioresources department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia, klesha78@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-1462-4055

Maria A. Bolgova student, fat, processes and devices of chemical and food industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia, 14bolgova.masha9@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-7464-3883

Margarita A. Lesnyak student, fat, processes and devices of chemical and food industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia, lesnyak.rita@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3504-1702

Polina A. Tronza student, fat, processes and devices of chemical and food industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia, tronza0207@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-4583-1276

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 22/01/2020	**После редакции** 17/02/2020	**Принята в печать** 03/03/2020
Received 22/01/2020	**Accepted in revised** 17/02/2020	**Accepted** 03/03/2020

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-86-93 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.1.054 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Совершенствование кристаллизации утфелей в сахарном производстве

Надежда Г. Кульнева [1] ngkulneva@ya.ru 0000-0003-3802-9071
Владимир А. Федорук [2] yzas2006@ya.ru 0000-0002-7410-0165
Наталья А. Матвиенко [1] natali25_81@mail.ru 0000-0003-4777-003X
Екатерина М. Пономарева [1] katusha1234570@gmail.com 0000-0003-3142-7587

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 ООО «БМА Руссланд», ул. Комиссаржевской, 10, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены концепции работы вакуум-аппаратов непрерывного действия: вертикального VKT (VKT – Verdampfungs-Kristallisations-Turm) и горизонтального каскада вакуум-аппаратов VKH (VKH – horizontal vacuum pan) компании БМА (Германия). Показаны преимущества и особенности вертикального вакуум-аппарата непрерывного действия VKT, а также возможности по увеличению эффективности работы продуктового отделения сахарных заводов. Благодаря специальной конструкции кристаллизационных камер, низкому уровню утфеля над греющей камерой и применению механических мешалок в каждой камере аппарат VKT может без затруднений работать с очень малой разностью температур между греющим паром и утфелем, а также с абсолютным давлением греющего пара значительно ниже 1 бар. При оптимальном использовании вакуум-аппаратов VKT могут быть реализованы самые различные энергосберегающие схемы, например, испарение с двойным эффектом в кристаллизационном отделении. Часть вторичного пара кристаллизации используется для обогрева одного из аппаратов VKT, что позволяет сэкономить идущий на эти цели греющий пар выпарной установки. При увеличении производительности сахарного завода возможно быстрое оснащение аппарата VKT дополнительной камерой. Аппарат работает непрерывно в течение всего сезона, в особенности с продуктами чистотой утфеля более 94 %. Очистка камер производится без остановки всего аппарата. Уваривание утфелей всех ступеней кристаллизации в аппаратах VKT обеспечивает равномерный режим работы продуктового отделения, позволяет добиться увеличения выхода сахара и способствует сокращению расхода пара на заводе.

Ключевые слова: вакуум-аппарат, кристаллизация, утфель, сахар, сахарное производство

Improving the massecuite crystallization in sugar production

Nadezhda G. Kulneva [1] ngkulneva@ya.ru 0000-0003-3802-9071
Vladimir A. Fedoruk [2] yzas2006@ya.ru 0000-0002-7410-0165
Natalya A. Matvienko [1] natali25_81@mail.ru 0000-0003-4777-003X
Ekaterina M. Ponomareva [1] katusha1234570@gmail.com 0000-0003-3142-7587

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
2 LLC BMA russland, Komissarzhevskaya St., 10, Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The article discusses the concepts of continuous vacuum apparatus operation: vertical VKT (VKT – Verdampfungs-Kristallisations-Turm) and horizontal cascade of VKH vacuum apparatus (VKH —horizontal vacuum pan) from BMA (Germany). The advantages and features of the vertical continuous vacuum apparatus VKT are shown, as well as the possibilities for increasing the efficiency of the product department of sugar factories. Thanks to the special design of the crystallization chambers, the low massecuite level above the heating chamber and the use of mechanical stirrers in each chamber, the VKT apparatus can operate without difficulty with a very small temperature difference between heating steam and massecuite, as well as with an absolute heating steam pressure well below 1 bar. With optimal use of VKT vacuum apparatus, a variety of energy-saving schemes can be implemented, for example, double-effect evaporation in the crystallization section. Part of the secondary crystallization steam is used to heat one of the VKT units, which saves the heating steam of the evaporator unit used for this purpose. With an increase in the productivity of the sugar factory, it is possible to quickly equip the VKT apparatus with an additional chamber. The device works continuously throughout the season, especially with products with massecuite purity of more than 94%. The chambers are cleaned without stopping the entire apparatus. The boiling of massecuite of all stages of crystallization in VKT devices ensures a uniform operating mode of the food compartment, allows to achieve an increase in sugar yield and helps to reduce steam consumption at the plant.

Keywords: vacuum apparatus, crystallization, massecuite, sugar, sugar production

Введение

Известно, что цикличность процесса промышленного получения сахарных утфелей в вакуум-аппаратах периодического действия (ВАПД) нарушает непрерывность технологического потока современного сахарного завода, вызывает пиковые расходы греющего пара, ограничивает внедрение комплексной автоматизации одного из основных процессов – промышленной кристаллизации сахарозы, тормозит совершенствование технологических процессов центрифугирования утфелей и сушки сахара, снижает эффективность всего производства в целом.

Для цитирования
Кульнева Н.Г., Федорук В.А., Матвиенко Н.А., Пономарева Е.М. Совершенствование кристаллизации утфелей в сахарном производстве // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 86–93. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-86-93

For citation
Kulneva N.G., Fedoruk V.A., Matvienko N.A., Ponomareva E.M. Improving the massecuite crystallization in sugar production. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 86–93. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-86-93

© 2021, Кульнева Н.Г.и др. / Kulneva N.G. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Процесс кристаллизации в ВАПД сопровождается градиентами температур и неоднородности физических свойств утфелей (пересыщения, вязкости, плотности), перегревом в пристенном слое кипятильных труб и протекает с 5–10-кратным замедлением циркуляции в течение цикла уваривания.

Наиболее интенсивно данный процесс протекает в кипящем утфеле, однако в периодическом варианте аппаратурной реализации в многофазной системе «раствор– кристаллы–пар» при наличии температурных, скоростных и концентрационных полей он трудно регулируется. Это определяет необходимость перехода к технологии непрерывного уваривания в вакуум-аппаратах непрерывного действия, которая является кардинальным шагом в направлении экономии энергоносителей [1].

В сахарной промышленности достаточно долго эксплуатируются вакуум-аппараты двух типов непрерывного действия: горизонтальный (англ. CVP – continuous vacuum pan) [2] и вертикальный (англ. VKT – vertical continuous vacuum pan) [3].

В настоящее время более 90 единиц вертикальных вакуум-аппаратов непрерывного действия (VKT) производства компании БМА (Германия) находятся в эксплуатации в свеклосахарной, сахарорафинадной и тростниковосахарной промышленности. Краткая история важнейших этапов развития [1]:

- 1983 г. – первая установка VKT;
- 1985 г. – первый белый сахар, полученный в VKT;
- 1994 г. – первый VKT для сахарарафинада;
- 1995 г. – первый VKT для тростникового сахара (II продукт);
- 2015 г. – первый запуск VKT (II продукт) на свеклосахарном заводе в России.

Обсуждение

Аппарат VKT успешно используется для уваривания утфелей всех ступеней кристаллизации. Например, в 2014 году VKT был установлен для уваривания утфеля первой ступени рафинадной кристаллизации с чистотой более 98 % (сахарорафинадный завод Etihad, Ирак). В соответствии с назначением аппарата подбирается его конструктивное исполнение и техническое оснащение.

Аппараты VKT располагаются вне производственного помещения на простом фундаменте небольшого размера на отметке +0,000 м, что делает более низкими капитальные и эксплуатационные затраты.

Производительность VKT для свеклосахарных заводов представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Производительность 4-камерных аппаратов VKT, в тоннах утфеля в час

Table 1.

Productivity of 4 chamber devices VKT, tons of massecuite per hour

Продукт Product	Диаметр аппарата VKT, мм VKT apparatus diameter, mm					
	3600	4000	4400	4800	5200	5600
утфель I продукта massecuite product I	<61	<77	<95	<115	<136	<160
утфель II продукта massecuite product II	<42	<53	<65	<79	<94	<110
утфель III продукта massecuite product III	<21	<26	<32	<39	<46	<55

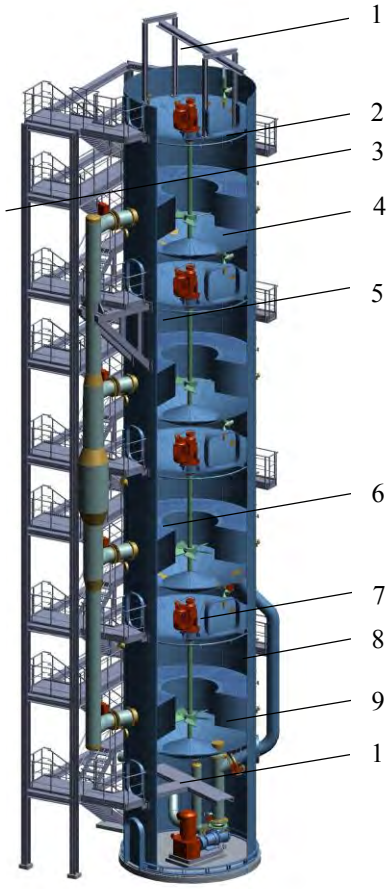


Рисунок 1. Концепция аппарата VKT: *1* – каркас для подъемного оборудования и демонтажа привода циркулятора; *2* – кристаллизационная камера; *3* – башенная лестничная клетка с площадками обслуживания; *4* – промежуточная царга; *5* – циркулятор; *6* – двухконусное сливное днище; *7* – греющая камера; *8* – переливной трубопровод утфеля; *9* – вертикальная царга с опорным кольцом; *10* – насос утфеля

Figure 1. VKT apparatus concept: 1 – frame for lifting equipment and dismantling of the circulator drive; 2 – crystallization chamber; 3 – tower staircase with service platforms; 4 – intermediate side-bar; 5 – circulator; 6 – double-cone drain bottom; 7 – heating chamber; 8 – massecuite overflow pipeline; 9 – vertical drawer side with a support ring; 10 – massecuite pump

Аппарат VKT состоит из четырех расположенных друг над другом одинаковых кристаллизационных камер *2*.

Каждая камера аппарата (рисунок 1) представляет собой вакуум-аппарат периодического действия, снабженный механическим циркулятором *5*. Тип и мощность привода циркуляторов соответствует вязкости утфеля. То, что циркулятор введен в аппарат сверху, а также легкий доступ к его приводу в промежуточных царгах *4* обеспечивают его беспрепятственное техобслуживание.

Каждая камера имеет двухконусное сливное днище *6* обтекаемой формы. Такая форма днища наряду с применением циркулятора исключает наличие застойных зон под нижней трубной решеткой греющей камеры, в которых утфель охлаждается и может происходить повторное кристаллообразование.

Греющие камеры *7* выполнены как трубчатые камеры. Участки впуска и выпуска вварных кипятильных труб имеют хорошие аэродинамические характеристики и выполнены заподлицо с трубными решетками.

Вторичный пар отводится из камер через встроенные в камеры каплеловушки, в которых задерживаются унесенные паром капли подкачки или утфеля.

Аппарат VKT оснащен башенной лестничной клеткой с площадками обслуживания *3*, с которых обеспечивается доступ ко всем кристаллизационных камерам, клапанам и измерительным приборам.

Конструкция VKT позволяет выполнить модернизацию за счет установки пятой камеры для увеличения его производительности, что более экономически эффективно чем установка дополнительного вакуум-аппарата периодического действия. При этом монтаж на верх аппарата еще одной кристаллизационной камеры не представляет проблем, так как фундамент VKT и его статическая прочность изначально рассчитываются на возможное расширение.

Для получения утфеля постоянно высокого качества, а также для обеспечения оптимального и бесперебойного режима работы в аппарате VKT (в том числе и с точки зрения достижения длительных периодов работы между очистками) были предусмотрены особые конструктивные и технологические меры:

- устройство для увлажнения подкачкой внутренней стенки надутфельного пространства в кристаллизационных камерах (кроме VKT III продукта) и трубопроводов для утфеля. Наносимый таким образом слой подкачки предотвращает прилипание утфеля к стенкам и образование отложений в надутфельном пространстве, а также зарастание трубопроводов для утфеля в ходе эксплуатации;
- оснащение устройств для измерения содержания сухих веществ, уровнемера, пробоотборных кранов, регулирующих заслонок утфеля и других встроенных узлов собственными (частично автоматизированными) устройствами для промывки. Промывание производится периодически с автоматическим управлением от системы управления процессом. Оно предотвращает образование отложений в упомянутой арматуре и обеспечивает надежность измерений. Другие встроенные устройства промывки имеют ручное управление и включаются только при необходимости;
- снабжение аппаратов изоляцией для снижения тепловых потерь и уменьшения образования отложений на соприкасающихся с утфелем стенках;
- обогрев определенных участков аппарата. Обогрев сливного днища, а также цилиндрического участка между нижним краем греющей камеры и сливным днищем служит для снижения тепловых потерь утфеля вблизи стенок, которые могут привести к усиленному засахариванию этих участков.

Если на сахарном заводе существующая станция I, II или III продукта оснащена современными вакуум-аппаратами, то для непрерывной работы также может быть использован горизонтальный каскад (VKH) (рисунок 2). Для этого все используемые вакуум-аппараты должны быть аналогичны по конструкции и быть оснащены циркулятором.

Действие обеих систем – VKT и VKH – аналогично. Кристаллическая основа высокого качества поступает только в первую кристаллизационную камеру. Подкачка непрерывно подается во все камеры, перемешивание между камерами исключается. Утфель течет от первой камеры к последней по соединяющим камеры трубопроводам под действием силы тяжести. Затем утфель откачивается из последней камеры насосом с частотным регулированием и подается в утфелемешалку.

Благодаря непрерывному влагоиспарению во всех камерах кристаллы кристаллической основы наращиваются при обессахаривании раствора от одной камеры к другой. При этом содержание сухих веществ, а следовательно, и содержание кристаллов в утфеле увеличивается и достигает своего максимума в последней камере.

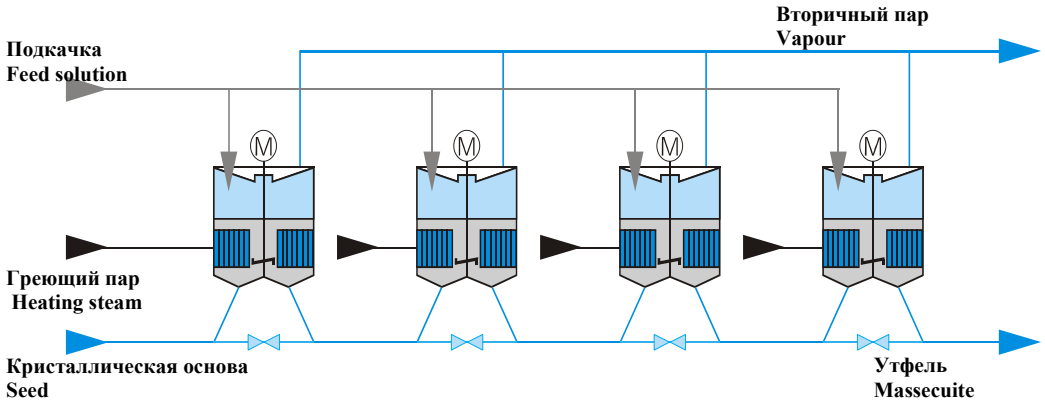


Рисунок 2. Горизонтальный каскад вакуум-аппаратов (VKH)

Figure 2. Horizontal vacuum pan system (VKH)

Ошибка! Закладка не определена.

Эффективность процесса кристаллизации определяется выходом сахара из центрифуг, который зависит от содержания кристаллов в утфеле и их однородности.

Механическая циркуляция утфеля в аппарате VKT обеспечивает высокое содержание кристаллов, которое может достигать 55 % утфеля I продукта, что позволяет получить выход сахара из центрифуг около 50 % к массе утфеля. Без механического перемешивания таких показателей практически не удается достичь.

Гранулометрический состав кристаллов утфеля, полученного в вакуум-аппарате непрерывного действия, имеет несколько большую степень неравномерности по сравнению с вакуум-аппаратами периодического действия. Поэтому для получения утфеля с малым содержанием конгломератов и мелких фракций кристаллов важно иметь кристаллическую основу с определенным размером и высокой однородностью кристаллов.

Система управления аппарата VKT гораздо проще, чем вакуум-аппарата периодического действия, так как в данном случае производится только автоматическая стабилизация параметров вместо следящего регулирования (рисунок 3).

Режим работы каждой камеры VKT регулируется индивидуально, что обеспечивает надежную работу в непрерывном режиме. Кроме того, независимые друг от друга камеры позволяют использовать вторичные пары различных потенциалов (3 и 4 корпус выпарной станции) для обогрева греющей камеры.

Основные параметры, которые подлежат контролю:

- давление греющего пара;
- давление вторичного пара;
- содержание сухих веществ в утфеле;
- расход продуктов на подкачки;
- соотношение кристаллическая основа/ подкачка;
- уровень утфеля (только для утфеля I продукта).

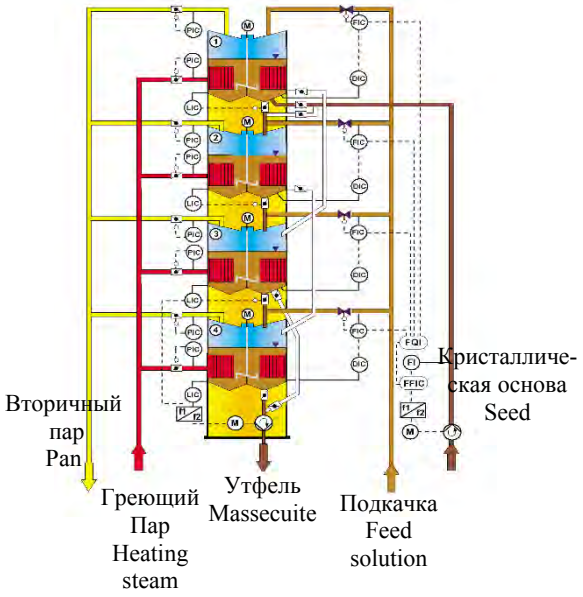


Рисунок 3. Схема управления аппаратом VKT утфеля I продукта

Figure3. VKT control diagram

Ошибка! Закладка не определена.

Давление греющего и вторичного пара контролируется в каждой камере, обеспечивая оптимальную эксплуатацию и отключение камеры для очистки. Путем корректировки давления греющего пара для всех камер может быть быстро скорректирована пропускная способность VKT к изменяющимся производственным условиям завода.

Для правильного функционирования аппарата VKT важно, чтобы давление вторичного пара всегда поддерживалось на одном и том же уровне, независимо от количества испаренной в камере воды. Давление вторичного пара регулируется имеющейся в каждой камере регулирующей заслонкой с требуемой точностью в ±1 мбар. Для утфеля III продукта давление может регулироваться одной регулирующей заслонкой для двух камер или только одной регулирующей заслонкой для всех камер.

Содержание сухих веществ утфеля во всех четырех камерах регулируется сигналом прибора, измеряющего содержание сухих веществ в утфеле (для утфеля I, II продукта) или температуру утфеля (для утфеля III продукта). Аналоговые сигналы этих приборов определяют задаваемое значение для регулирования количества подкачки посредством электромагнитного расходомера и регулирующей арматуры.

Подача подкачки и кристаллической основы находятся в постоянной пропорции друг к другу для обеспечения равномерного роста кристаллов. Количество кристаллической основы рассчитывается через коэффициент от суммарного количества подкачки.

Уровень утфеля поддерживается постоянным (примерно 400 мм над греющей камерой) с помощью клапанов управления в перепускных трубопроводах и в последней камере при помощи изменения производительности насоса утфеля. Аппараты VKT, предлагаемые для использования на втором и третьем продукте при переработке сахарной свеклы, оснащены наружной системой перелива, так как для этих продуктов наблюдается меньше отложений кристаллов на стенках. Благодаря этому в 1–3 камерах VKT не требуется регулировать уровни. Это упрощает и удешевляет систему автоматизации вакуум-аппаратов.

Помимо основных контролируемых параметров, также для аппарата VKT рекомендуется измерять количество конденсата для каждой камеры, так как этот показатель помогает оценить влагоиспарение, определить надлежащий момент для очистки камер и локализовать причины ошибок при неполадках. То же касается и измерения количества промывающей среды, так как по ошибке забытый открытый клапан для промывки может привести к значительному разжижению утфеля и к перебоям в производственном процессе завода.

В непрерывно работающих системах кристаллизации невозможно полностью избежать инкрустации – особенно в случае утфеля с высокой чистотой. Вертикальный (а также горизонтальный) каскадный дизайн VKT позволяет проводить очистку камер без необходимости прерывать процесс кристаллизации. С этой целью осуществляется обход одной из камер аппарата, которая выводится на очистку, и VKT продолжает работать в трехкамерном режиме. При этом производительность аппарата остается номинальной за счет увеличения давления греющего пара. Типичный процесс очистки для VKT показан на рисунке 4.

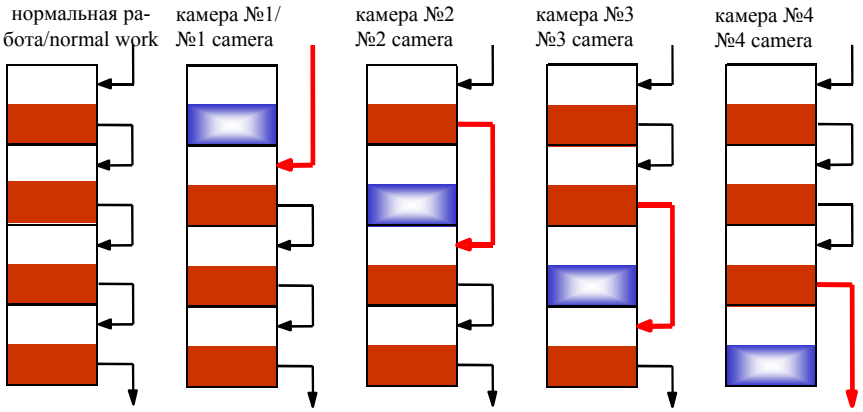


Рисунок 4. Схематичное изображение процесса очистки аппарата VKT

Figure4. Diagram the VKT apparatus cleaning process

Рабочий цикл аппарата VKT, то есть до необходимости в очистке четырех камер, составляет от 15 до 20 дней для утфеля I продукта, от 20 до 30 дней для утфеля II продукта и от 45 до 60 дней для утфеля III продукта.

Благодаря специальной конструкции кристаллизационных камер, низкому уровню утфеля над греющей камерой и применению механических мешалок в каждой камере аппарат VKT может без затруднений работать с очень малой разностью температур между греющим паром и утфелем, а также с абсолютным давлением греющего пара значительно ниже 1 бар. Поэтому при оптимальном использовании VKT могут быть реализованы самые различные энергосберегающие схемы. Одна из таких возможных схем – испарение с двойным эффектом в кристаллизационном отделении [4–10]. Принцип испарения с двойным эффектом заключается в том, что часть вторичного пара кристаллизации используется для обогрева одного из аппаратов VKT (например, для утфеля I продукта), что

позволяет сэкономить идущий на эти цели греющий пар выпарной установки. Благодаря оптимальной адаптации процесса конденсирования остается достаточно тепла для подогрева диффузионного сока, для чего обычно используется часть вторичного пара кристаллизации.

Преимущества VKT:

– при увеличении производительности сахарного завода быстрое оснащение VKT дополнительной камерой;

– аппарат работает непрерывно в течение всего сезона, в особенности с продуктами чистотой утфеля более 94 % (очистка камер производится без остановки всего аппарата: исключают из работы одну камеру для очистки, остальные – в работе);

– для очистки камер не требуются большие емкости для промывочных растворов;

– для установки аппарата VKT требуется около 23 т металлоконструкций – для изготовления вертикальной лестницы, что в 5–7 раз ниже, чем для установки CVP;

– равномерное потребление пара с многокорпусной выпарной установки (МВУ), греющий пар IV корпуса МВУ давлением не менее 0,71 бар абс.; возможность использования пара после компрессии 0,24 бар абс. [11–20].

На Знаменском сахарном заводе в рамках проекта реконструкции с 6000 до 8000 тонн сахарной свеклы в сутки была установлена новая станция уваривания утфеля II продукта в вертикальном вакуум-аппарате непрерывного действия VKT (рисунок 5) с производительностью 8000 тонн свеклы в сутки.

Технологическая схема станции уваривания утфеля II продукта предусматривает использование аффинационного утфеля в качестве кристаллической основы для VKT. С этой целью в центрифугах непрерывного действия проводится аффинация желтого сахара III продукта первым оттеком утфеля I продукта. Полученный аффинационный утфель накапливается в аффинационной мешалке, и затем насосом подается в первую камеру аппарата VKT. Благодаря этому не требуются дополнительные вакуум-аппараты для производства маточного утфеля II продукта. Кроме того, такая технологическая схема создает предпосылки для снижения потребления пара в продуктовом отделении завода.

Подтверждением эффективности работы аппарата VKT являются высокие технологические показатели, достигнутые на Знаменском сахарном заводе (таблица 2).

Таблица 2.

Параметры работы аппарата VKT II продукта на Знаменском сахарном заводе в течение производственного сезона 2015 года

Table 2.

Parameters VKT apparatus for massecuite II at the Znamensky sugar plant in the 2015 production season

Давление греющего пара, бар абс. Heating steam pressure, bar abs.	0,55–0,61 (вторичный пар IV корпуса выпарной установки secondary steam of the IV shell of the evaporator plant)
Давление вторичного пара, бар абс. Secondary steam pressure bar abs.	0,20
Содержание сухих веществ в утфеле Dry matter content in massecuite, %	92,0 – 92,5
Содержание кристаллов в утфеле The content of crystals in massecuite, %	47,0–47,2
Средний размер кристаллов, мм Average crystals size, mm	0,45–0,50
Соотношение масс кристаллической основы и утфеля, т/т The ratio of the masses of the crystalline base and massecuite, t/t	0,25–0,30
Эффект кристаллизации на станцииII продукта	12,5–13,5 %

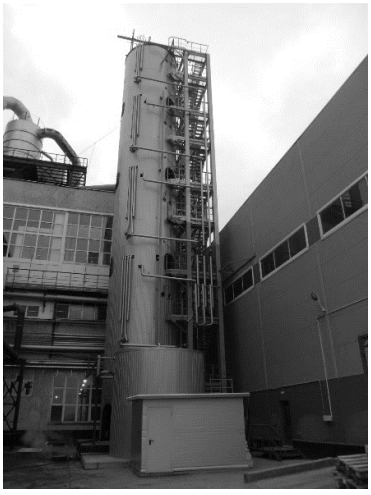


Рисунок 5. Аппарат VKT II продукта на Знаменском сахарном заводе

Figure5. Apparatus VKT II product at Znamensky sugar plant

Заключение

Уваривание утфелей всех ступеней кристаллизации в аппаратах VKT обеспечивает равномерный режим работы продуктового отделения, позволяет добиться увеличения выхода сахара и способствует сокращению расхода пара на заводе.

Литература

1 Петров С.М., Подгорнова Н.М., Тужилкин В.И., Филатов С.Л. Преимущества непрерывного уваривания утфеля // Сахар. 2017. № 4. С. 30–37.

2 Шаруда И.В. Вакуум-аппарат непрерывного действия: история развития // Сахар. 2014. № 1. С. 48–55.

3 Moor B.S.C., Rosettenstein S., du Plessis N. Key considerations for high-performance continuous vacuum pans // International Sugar Journal. 2020.

4 Broadfoot R., Rackemann D., Moller D. Why the emerging strong interest in vertical continuous pans? // Proceedings of the 40th Australian Society of Sugar Cane Technologists Conference. Australian Society of Sugar Cane Technologists, 2018. P. 512-525.

5 Fernandes E.S., Alves C., Pagnocca F.C., Contiero J. et al. Sugar and ethanol production process from sugarcane // Sugarcane: Production Systems, Uses and Economic Importance. 2017. P. 193-216.

6 Mukesh K., Amit S. Evaporating cooling system: a review // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 2018. V. 6. № 6. P. 1178-1187. doi: 10.22214/ijraset.2018.6172

7 Vejerano E.P., Marr L.C. Physico-chemical characteristics of evaporating respiratory fluid droplets // Journal of The Royal Society Interface. 2018. V. 15. №. 139. P. 20170939. doi: 10.1098/rsif.2017.0939

8 Qazi M.J., Liefferink R.W., Schlegel S.J., Backus E.H. et al. Influence of surfactants on sodium chloride crystallization in confinement // Langmuir. 2017. V. 33. №. 17. P. 4260-4268. doi: 10.1021/acs.langmuir.7b00244

9 Wang Q., Zhang W., Zhang Z., Liu S. et al. Crystallization Control of Ternary-Cation Perovskite Absorber in Triple-Mesoscopic Layer for Efficient Solar Cells // Advanced Energy Materials. 2020. V. 10. №. 5. P. 1903092. doi: 10.1002/aenm.201903092

10 Gregson F.K.A., Robinson J.F., Miles R.E.H., Royall C.P. et al. Drying kinetics of salt solution droplets: Water evaporation rates and crystallization // The Journal of Physical Chemistry B. 2018. V. 123. №. 1. P. 266-276. doi: 10.1021/acs.jpcb.8b09584

11 Fang C., Boe K., Angelidaki I. Anaerobic co-digestion of by-products from sugar production with cow manure // Water research. 2011. V. 45. №. 11. P. 3473-3480. doi: 10.1016/j.watres.2011.04.008

12 Anderson N.G. Using continuous processes to increase production // Organic Process Research & Development. 2012. V. 16. №. 5. P. 852-869. doi: 10.1021/op200347k

13 Eggleston G., Côté G., Santee C. New insights on the hard-to-boil massecuite phenomenon in raw sugar manufacture // Food Chemistry. 2011. V. 126. №. 1. P. 21-30. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.10.038

14 Pogoriliy T. The distribution of temperatures in the sucrose solution–sugar crystal–sucrose solution–massecuite cells depending on the boiling sugar massecuite time // Ukrainian Journal of Food Science. 2015. V. 3. №. 1. P. 139-148.

15 Rozsa L. On-line monitoring and control of supersaturation and other massecuite parameters in vacuum pans: A control engineering approach // International sugar Journal. 2011. V. 113. №. 1356. P. 853.

16 Pogoriliyy T. Temperatures distribution in the larger sugar crystal–larger crystal sucrose solution–less crystal sugar sucrose solution–smaller sugar crystal–massecuite cells system depending on the boiling sugar massecuite time //Ukrainian food journal. 2015. №. 4. P. 648-661.

17 Khan H.R., Ramzan Z. An experience with four (04) massecuite boiling system // Pakistan Sugar Journal. 2020. V. 35. №. 3.

18 Gonzales P.E.M., de Souza Peloso M.A., Olivo J.E., Andrade C.M.G. Fed-Batch Sucrose Crystallization Model for the B Massecuite Vacuum Pan, Solution by Deterministic and Heuristic Methods // Processes. 2020. V. 8. №. 9. P. 1145. doi: 10.3390/pr8091145

19 Sadjadi F.S., Honarvar M., Kalbasi-Ashtari A., Motaghian P. Bleaching effects of massecuite on some properties of crystallized sugar beet and milk chocolate bars produced // Journal of food science and technology. 2018. V. 55. №. 4. P. 1224-1233. doi: 10.1007/s13197-017-3007-8

20 Umo A.M., Alabi S.B. Predictive Model for Post-Seeding Super-Saturation of Sugar Massecuite in a Fed-Batch Evaporative Crystalliser // International Journal of Food Engineering. 2016. V. 2. №. 2. P. 119-123.

References

1 Petrov S.M., Podgornova N.M., Tuzhilkin V.I., Filatov S.L. Advantages of continuous boiling of massecuite. Sugar. 2017. no. 4. pp. 30–37. (in Russian).

2 Sharuda I.V. Continuous vacuum apparatus: history of development. Sugar. 2014. no. 1. pp. 48–55. (in Russian).

3 Moor B.S.C., Rosettenstein S., du Plessis N. Key considerations for high-performance continuous vacuum pans. International Sugar Journal. 2020.

4 Broadfoot R., Rackemann D., Moller D. Why the emerging strong interest in vertical continuous pans? Proceedings of the 40th Australian Society of Sugar Cane Technologists Conference. Australian Society of Sugar Cane Technologists, 2018. pp. 512-525.

5 Fernandes E.S., Alves C., Pagnocca F.C., Contiero J. et al. Sugar and ethanol production process from sugarcane. Sugarcane: Production Systems, Uses and Economic Importance. 2017. pp. 193-216.

6 Mukesh K., Amit S. Evaporating cooling system: a review. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 2018. vol. 6. no. 6. pp. 1178-1187. doi: 10.22214/ijraset.2018.6172

7 Vejerano E.P., Marr L.C. Physico-chemical characteristics of evaporating respiratory fluid droplets. Journal of The Royal Society Interface. 2018. vol. 15. no. 139. pp. 20170939. doi: 10.1098/rsif.2017.0939

8 Qazi M.J., Liefferink R.W., Schlegel S.J., Backus E.H. et al. Influence of surfactants on sodium chloride crystallization in confinement. Langmuir. 2017. vol. 33. no. 17. pp. 4260-4268. doi: 10.1021/acs.langmuir.7b00244

9 Wang Q., Zhang W., Zhang Z., Liu S. et al. Crystallization Control of Ternary-Cation Perovskite Absorber in Triple-Mesoscopic Layer for Efficient Solar Cells. Advanced Energy Materials. 2020. vol. 10. no. 5. pp. 1903092. doi: 10.1002/aenm.201903092

10 Gregson F.K.A., Robinson J.F., Miles R.E.H., Royall C.P. et al. Drying kinetics of salt solution droplets: Water evaporation rates and crystallization. The Journal of Physical Chemistry B. 2018. vol. 123. no. 1. pp. 266-276. doi: 10.1021/acs.jpcb.8b09584

11 Fang C., Boe K., Angelidaki I. Anaerobic co-digestion of by-products from sugar production with cow manure. Water research. 2011. vol. 45. no. 11. pp. 3473-3480. doi: 10.1016/j.watres.2011.04.008

12 Anderson N.G. Using continuous processes to increase production. Organic Process Research & Development. 2012. vol. 16. no. 5. pp. 852-869. doi: 10.1021/op200347k

13 Eggleston G., Côté G., Santee C. New insights on the hard-to-boil massecuite phenomenon in raw sugar manufacture. Food Chemistry. 2011. vol. 126. no. 1. pp. 21-30. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.10.038

14 Pogoriliy T. The distribution of temperatures in the sucrose solution–sugar crystal–sucrose solution–massecuite cells depending on the boiling sugar massecuite time. Ukrainian Journal of Food Science. 2015. vol. 3. no. 1. pp. 139-148.

15 Rozsa L. On-line monitoring and control of supersaturation and other massecuite parameters in vacuum pans: A control engineering approach. International sugar Journal. 2011. vol. 113. no. 1356. pp. 853.

16 Pogoriliyy T. Temperatures distribution in the larger sugar crystal–larger crystal sucrose solution–less crystal sugar sucrose solution–smaller sugar crystal–massecuite cells system depending on the boiling sugar massecuite time. Ukrainian food journal. 2015. no. 4. pp. 648-661.

17 Khan H.R., Ramzan Z. An experience with four (04) massecuite boiling system. Pakistan Sugar Journal. 2020. vol. 35. no. 3.

18 Gonzales P.E.M., de Souza Peloso M.A., Olivo J.E., Andrade C.M.G. Fed-Batch Sucrose Crystallization Model for the B Massecuite Vacuum Pan, Solution by Deterministic and Heuristic Methods. Processes. 2020. vol. 8. no. 9. pp. 1145. doi: 10.3390/pr8091145

19 Sadjadi F.S., Honarvar M., Kalbasi-Ashtari A., Motaghian P. Bleaching effects of massecuite on some properties of crystallized sugar beet and milk chocolate bars produced // Journal of food science and technology. 2018. V. 55. №. 4. P. 1224-1233. doi: 10.1007/s13197-017-3007-8

20 Umo A.M., Alabi S.B. Predictive Model for Post-Seeding Super-Saturation of Sugar Massecuite in a Fed-Batch Evaporative Crystalliser // International Journal of Food Engineering. 2016. V. 2. №. 2. P. 119-123.

Сведения об авторах

Надежда Г. Кульнева д.т.н., профессор, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия,ngkulneva@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-3802-9071

Владимир А. Федорук к.т.н., доцент, ООО "БМА Руссланд", Общество с ограниченной ответственностью "БМА Руссланд", ул. Комиссаржевской, 10, г. Воронеж, 394036, Россия, yzas2006@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-7410-0165

Наталья А. Матвиенко к.т.н., доцент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, natali25_81@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-4777-003X

Екатерина М. Пономарева студент, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, katusha1234570@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-3142-7587

Information about authors

Nadezhda G. Kulneva Dr. Sci. (Engin.), professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, ngkulneva@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-3802-9071

Vladimir A. Fedoruk Cand. Sci. (Engin.), associate professor, LLC "BMA Russland", Limited liability company "BMA Russland", Komissarzhevskaya St., 10, Voronezh, 394036, Russia, yzas2006@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-7410-0165

Natalya A. Matvienko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, natali25_81@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-4777-003X

Ekaterina M. Ponomareva student, Voronezh State University of Engineering Technologies , Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, katusha1234570@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-3142-7587

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 25/01/2021	**После редакции** 15/02/2021	**Принята в печать** 01/03/2021

Received 25/01/2021	**Accepted in revised** 15/02/2021	**Accepted** 01/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-94-101 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.8/.9:636.085.55 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Разработка технологии высокоусвояемых комбикормов с вакуумным напылением жидких компонентов

Валерий А. Афанасьев [2] vnii_kp@vmail.ru 0000-0003-4129-0422
Александр Н. Остриков [1] ostrikov27@ya.ru 0000-0002-2335-0017
Игорь С. Богомолов [2] igor-bog@ya.ru
Павел В. Филипцов [2] pavel-filiptsov@mail.ru 0000-0002-0144-6421
Лариса Н. Фролова [1] fln-84@mail.ru 0000-0002-6505-4136

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 АО «НПО «ВНИИ комбикормовой промышленности», проспект Труда, 91, Воронеж, 304026, Россия

Аннотация. Разработана технология производства комбикормов для сельскохозяйственных (свиней) и непродуктивных (собак, кошек) животных, а также для пушных зверей (норок, песцов, соболей) и рыб ценных пород (осетр, форель, и др.), в которой осуществлена замена дорогостоящих компонентов животного происхождения (рыбная мука, мясокостная мука, кровяная мука, субпродукты), на экструдированные растительные высокобелковые компоненты (соевый, подсолнечный или рапсовый шрот, люпин, горох, соя). Применение вакуумного напыления термолабильных жидких компонентов (аминокислот, белково-витаминно-минеральных добавок, витаминов, жиров) на поверхность экструдированных гранул позволит получать высокоусвояемые комбикорма. Определены кинетические закономерности исследуемых процессов увлажнения и пропаривания, экструдирования, сушки/охлаждения и дражирования, а также выявлены их рациональные режимы. Разработана технологическая схема линии производства высокоусвояемых комбикормов, которая включает следующее оборудование: бункер; экструдер; сушилку-охладитель; установку ввода жидких компонентов, дражировочный аппарат; конвейер и бункер готовой продукции. Изготовленные дражировочный аппарат и установка ввода жидких компонентов по техническим характеристикам (габаритные размеры, масса, занимаемая площадь, мощность привода, равномерность нанесения жира на поверхность гранул) превосходит лучшие мировые аналоги. Технология вакуумного смешивания с вводом жидких компонентов обеспечит их равномерное распределение по всему объему, сократит продолжительность перемешивания, что позволит увеличить производительность вакуумного смесителя и снизить энергозатраты. Разработанная технология и перспективные виды технологического оборудования (смеситель, экструдер, вакуумный напылитель, сушилку-охладитель) позволят получать высокоусвояемые комбикорма нового поколения с содержанием белка 60 %, жира 40 %, с введением стимуляторов роста, биологически активных добавок. Увеличение протеинового и жирового комплекса повысит усвояемость комбикормов на 10–12 %, увеличит привесы на 10–12 % и снизит конверсию корма на 15 %.

Ключевые слова: технология, комбикорм, вакуум, напыление, жировитаминные добавки, оборудование

Development of technology of highly accessible compound feeds with vacuum spraying of liquid components

Valery A. Afanasiev [2] vnii_kp@vmail.ru 0000-0003-4129-0422
Alexander N. Ostrikov [1] ostrikov27@ya.ru 0000-0002-2335-0017
Igor S. Bogomolov [2] igor-bog@ya.ru
Pavel V. Filiptsov [2] pavel-filiptsov@mail.ru 0000-0002-0144-6421
Larisa N. Frolova [1] fln-84@mail.ru 0000-0002-6505-4136

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
2 NPO Research Institute of Feed Industry, 91 Truda Avenue, Voronezh, 304026, Russia

Abstract. The technology of production of compound feeds for agricultural (pigs) and unproductive (dogs, cats) animals, as well as for fur-bearing animals (minks, arctic foxes, sables) and valuable fish (sturgeon, trout, etc.), in which the replacement of expensive components of animal origin (fish meal, meat and bone meal, blood meal, offal), for extruded vegetable high-protein components (soy, sunflower or rapeseed meal, lupine, peas, soy) is carried out. The use of vacuum spraying of thermolabile liquid components (amino acids, protein-vitamin-mineral additives, vitamins, fats) on the surface of extruded pellets will allow you to obtain highly digestible feed. The kinetic regularities of the studied processes of humidification and steaming, extrusion, drying/cooling and draining are determined, and their rational modes are revealed. The technological scheme of the line for the production of highly digestible compound feeds has been developed, which includes the following equipment: hopper; extruder; dryer-cooler; liquid component injection plant, draining machine; conveyor and finished product hopper. According to the technical characteristics (overall dimensions, weight, occupied area, drive power, uniformity of application of fat on the surface of granules), the manufactured coating machine and the liquid component injection unit exceed the best world analogues. The technology of vacuum mixing with the introduction of liquid components will ensure their uniform distribution over the entire volume, reduce the duration of mixing, which will increase the productivity of the vacuum mixer and reduce energy consumption. The developed technology and promising types of technological equipment (mixer, extruder, vacuum sprayer, dryer-cooler) will make it possible to obtain highly digestible feed of a new generation with a protein content of 60 %, fat content of 40 %, with the introduction of growth stimulants, biologically active additives. An increase in the protein and fat complex will increase the digestibility of compound feeds by 10-12 %, increase weight gain by 10-12 % and reduce feed conversion by 15 %.

Keywords: technology, compound feed, vacuum, spraying, fat-and-vitamin supplements, equipment

Для цитирования
Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Богомолов И.С., Филипцов П.В., Фролова Л.Н. Разработка технологии высокоусвояемых комбикормов с вакуумным напылением жидких компонентов // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 94–101. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-94-101

For citation
Afanasiev V.A., Ostrikov A.N., Bogomolov I.S., Filiptsov P.V., Frolova L.N. Development of technology of highly accessible compound feeds with vacuum spraying of liquid components. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 94–101. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-94-101

© 2021, Афанасьев В.А. и др. / Afanasiev V.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Объем производства комбикормов в России в 2020 г. составил 30,8 млн тонн, а в 2021 г. по прогнозу Минсельхоза объем производства комбикормов превысит 32 млн т. Для обеспечения растущих потребностей в обеспечении животноводческих, птицеводческих и рыбоводческих хозяйств высококачественными комбикормами необходимо внедрение новых технологий и техническое переоснащение современным технологическим оборудованием [7].

Анализ материально-технической базы комбикормового производства за 2019 г. показал, что доля технологического оборудования отечественного производства составляет 60,0%, импортного – 40,0% [4, 5].

Однако, высокотехнологичные виды оборудования (вакуумные напылители, экструдеры, экспандеры, плющилки, сушилки и др.) либо не производятся в России, либо по своим технико-экономическим показателям существенно уступают зарубежным аналогам.

Доля комбикормовых заводов оснащенных морально устаревшим и физически изношенным технологическим оборудованием составляет 35–40%.

Для наращивания производства продукции животноводства, повышения рентабельности животноводства и снижения зависимости от импортных поставок, весьма важным и своевременным представляется разработка новых технологий, производства высокоусвояемых комбикормов с использованием высокоэффективного технологического оборудования [6, 3].

Цель работы – разработка технологии высокоусвояемых комбикормов, максимально отвечающих потребностям для сельскохозяйственных (свиней) и непродуктивных животных (собак, кошек), а также для пушных зверей (норок, песцов, соболей) и рыб ценных пород в питательных веществах; определение их качественные показатели и питательную ценность и оптимальные уровни включения в рацион животным для оптимизации питания и снижения конверсии корма.

Материалы и методы

Объектом исследования являются технологии и оборудование для производства высокоэффективных комбикормов для сельскохозяйственных (свиней) и непродуктивных животных (собак, кошек), а также для пушных зверей (норок, песцов, соболей) и рыб ценных пород; новые виды рецептов комбикормов для них.

Анализ используемых технологий производства комбикормов для сельскохозяйственных (свиней) и непродуктивных животных (собак, кошек), а также для пушных зверей (норок, песцов, соболей) и рыб ценных пород (осетр, форель, и др.) выявил следующие направления их совершенствования:

– замена дорогостоящих компонентов (рыбная мука, мясокостная мука, кровяная мука, субпродукты и т. п.), содержащие белки животного происхождения, на растительные высокобелковые компоненты (соевый, подсолнечный или рапсовый шрот, люпин, горох, соя и т. п.);

– растительные высокобелковые компоненты (соевый, подсолнечный или рапсовый шрот, люпин, горох, соя и т. п.) необходимо подвергать баротермической обработке с целью частичной денатурации белков, декстринизации крахмала, инактивации ферментов для повышения степени их усвояемости при скармливании животным;

– полученные экструдированные микропористые гранулы лучше пропитываются жидкими компонентами и удерживают их в порах, предотвращая его вытекание.

Применение гидробаротермической обработки смеси компонентов с высоким содержанием растительного протеина совместно с вакуумным эмульгированием термолабильных жидких (аминокислот, белково-витаминно-минеральных добавок, витаминов, жиров и т. п.) компонентов на поверхность экструдированных гранул позволит выйти на создание комбикормов с программируемыми свойствами. Увеличение протеинового и жирового комплекса в наиболее усвояемых формах, полученных в результате новой комбинации гидробаротермической обработки и вакуумного эмульгирования позволит получать высокоэффективные комбикорма, превосходящие зарубежные аналоги по степени усвояемости на 10–12%, повышая конкурентоспособность комбикормов. Технология вакуумного смешивания с вводом микродозированных и жидких компонентов обеспечит их равномерное распределение по всему объему, сократит продолжительность перемешивания, что позволит увеличить производительность вакуумного смесителя и снизить энергозатраты. В процессе работы проводились исследования процессов увлажнения и пропаривания, экструдирования зерновых культур, охлаждению и дражировки.

Результаты и обсуждение

Выполненные исследования процесса пропаривания позволили установить кинетические закономерности увлажнения зерна в зависимости от параметров пара. Установлено, что при подаче влажного пара с давлением 0,2–0,3 МПа увлажнение зерна проходит более интенсивно.

Характер изменения влажности зерна при обработке в пропаривателе паром под давлением 0,5 МПа при различном расходе приведен в таблице 1.

Температура зерна после пропаривания возросла до 85–90 °С, объемная масса пропаренного ячменя снизилась с 670 кг/м^3 до 610–630 кг/м^3, что объясняется набуханием зерна при увлажнении.

Эксперименты (рисунок 1) по обработке зерна ячменя паром под давлением 0,15–0,20 МПа показывают, что процесс увлажнения происходит более интенсивно и при расходе 0,11 кг/(кг·мин), влажность зерна в течение 3–5 мин достигает величины 30–33%.

Сравнение расчетных и фактических данных увлажнения зерна показывает, что в первые три минуты около 90% пара поглощается зерном. В дальнейшем по достижении влажности 27–30% темп увлажнения зерна замедляется, однако, но нашему мнению, длительная обработка паром должна увеличить степень клейстеризации крахмала зерна [1].

Эффективность процесса увлажнения ячменя влажным паром очень высокая особенно в начальный период времени, так, например, в первые три минуты около 90% пара поглощается зерном. В дальнейшем по достижении влажности 27–30% темп увлажнения зерна замедляется, однако, длительная обработка паром увеличивает степень клейстеризации крахмала зерна. Так как крахмал является основным компонентом злаковых культур, процесс клейстеризации его является наилучшим показателем изменений при пропаривании (таблица 2).

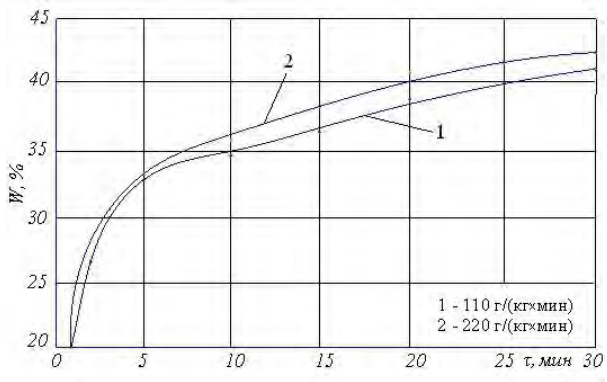


Рисунок 1. Характер изменения влажности зерна при обработке паром давлением 0,15–0,20 МПа

Figure 1. The nature of changes in grain moisture during steam treatment at a pressure of

Таблица 1.

Характер изменения влажности зерна при пропаривании паром под давлением 0,5 МПа

Table 1.

The nature of changes in grain moisture when steaming with steam at a pressure of 0.5 MPa

Расход пара, г/(кг·мин) Steam content	Длительность пропаривания, мин | Duration, min				
	3	5	7	10	30
влажность зерна, % | water content, %					
110	23,5	25,5	26,7	28,8	30,5
220	24,8	26,9	28,2	31,2	31,7
330	28,8	34,1	35,0	35,4	37,1

Таблица 2.

Влияние расхода пара и продолжительности пропаривания на степень клейстеризации крахмала ячменя

Table 2.

Effect of steam consumption and steaming time on the degree of gelatinization of barley starch

Время пропаривания, мин. Duration, min	Расход пара, г/(кг·мин) Steam content				
	0,110	0,220	0,330	0,440	0,550
3	3	3	3	3	3
5	5	7	6	5	5
7	8	8	6	8	7
10	13	12	12	12	13
20	23	25	25	23	24
30	38	38	36	40	40
60	83	80	85	82	86
70	100	100	100	100	100

Установлено также, что пропаривание при атмосферном давлении пара в течение более 5 минут приводит к снижению растворимости всех фракций белка, что свидетельствует о денатурационных изменениях в нем.

Определено, что общее содержание декстринов возрастает с увеличением длительности обработки (рисунок 2). В первые 10 мин пропаривания количество декстринов увеличивается примерно на 0,5–1,0%, по сравнению с исходным образцом, через 30 мин возрастает на 1,5–2,0% и по истечении 60 мин – на 4,0–4,5%.

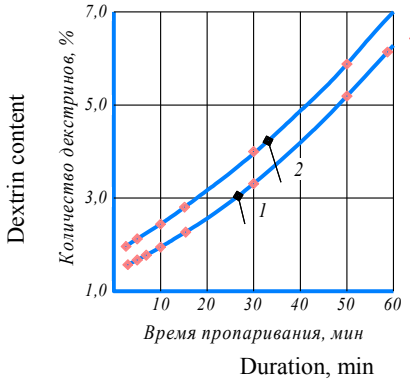


Рисунок 2. Изменение количества декстринов в процессе пропаривания ячменя паром 1–18%; 2–25%

Figure 2. Change in the amount of dextrins in the process of steaming barley with steam 1-18%; 2-25%

Для исследования влияния условий экструзионной обработки многокомпонентных зерновых смесей на характер экструдирования и качество готового продукта была проведена серия экспериментов при различных параметрах экструзионного процесса.

Распределение температуры продукта по длине рабочей зоны экструдера при постоянной частоте вращения шнека 1,4 $с^{-1}$ характеризуется ее резким возрастанием, начиная с зоны сжатия вплоть до матрицы. После выхода из матрицы продукт расширяется, и его температура понижается [2].

Как видно из графиков (рисунок 3), давление возрастает при увеличении отношения длины канала отверстия матрицы к его диаметру, тем сильнее, чем меньше влагосодержание исходной смеси и чем выше частота вращения шнека. Это связано с тем, что при уменьшении диаметра отверстия матрицы и увеличении длины канала матрицы растет сопротивление формующего инструмента (матрицы), поэтому падает производительность и поднимается давление в предматричной зоне экструдера.

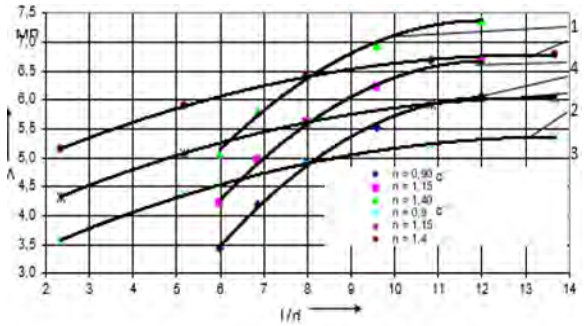


Рисунок 3. Зависимость давления экструдата от отношения длины канала к диаметру отверстия матрицы при u = 0,22 и различной частоте вращения шнека n = 1,15 $с^{-1}$ 1 – 3: l = 4 ×10^{-2} м, $d_м$ = (2…4) ×10^{-3} м; 4 – 5: l = (3…6) ×10^{-2} м, $d_м$ = 8×10^{-3} м

Figure 3. The dependence of the extrudate pressure on the amount of channel length the diameter of the matrix hole at u = 0.22 and different screw rotation speed n = 1.15 s^{-1} 1 – 3 l = 4 ×10^{-2} m, $d_м$ = (2...4) ×10^{-3} m; 4-5: l = (3...6) ×10^{-2} m, $d_м$ = 8×10^{-3} m

Как отмечалось ранее, при перемешивании жировитаминной добавки и гранул в смесителе одновременно с процессом перемешивания идет процесс комкования гранул, снижая эффективность нанесения добавки на поверхность гранул. Существует мнение, что для снижения комкования гранул целесообразно добавлять растительные и животные жиры.

В результате выявлена обратно пропорциональная зависимость коэффициента неоднородности смеси от содержания жира на гранулах (рисунок 4).

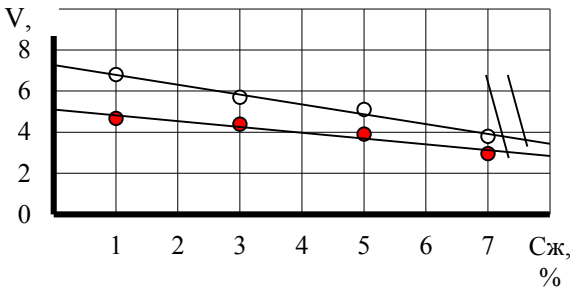


Рисунок 4. Зависимость коэффициента вариации (равномерности распределения жировитаминной добавки) от содержания жира: 1–12%; 2–21%

Figure 4. Dependence of the coefficient of variation (uniformity of the distribution of the vitamin supplement) on the fat content: 1-12%; 2-21%

Анализ полученных результатов показывает, что наличие жира улучшает распределение контрольных компонентов. Наличие жира в основном компоненте снижает интенсивность процесса разделения вследствие прилипания частиц. Таким образом, содержание жира благоприятно влияет на распределение контрольных компонентов [3].

В результате выполненных экспериментальных исследований были определены не только кинетические закономерности исследуемых процессов увлажнения и пропаривания, экструдирования, сушки/охлаждения и дражирования, но и рациональные режимы:

- процесса пропаривания кормовой смеси: при расходе пара 120–160 кг/ч и давлении 0,2–0,35 МПа в течение 12–15 минут [1];
- процесса экструдирования: температура кормовой смеси перед матрицей – 440…460 К; угловая скорость вращения шнека – 5,0…7,0 $с^{-1}$; влажность – 22…26% [2].
- процесса сушки: расход сушильного агента – от 45 до 55 $м^3$/ч; высота слоя продукта – от 0,1 до 0,2 м; температура сушильного агента 323–353 К; влагосодержание сушильного агента 3–5,5 г/кг; начальная влажность 13–17%.
- процесса вакуумного напыления жировых компонентов в процессе приготовления комбикормов для ценных пород рыб: загрузка продукта – 20 с, длительность вакуума – 50 с, добавление масла – 45 с, напыление под действием капиллярных сил – 25 с, прекращение вакуума – 120 с, разгрузка – 40 с., влажность гранул 6–8%; содержание жира в гранулах 35–40%.

Технологическая схема линии производства высокоусвояемых комбикормов включает следующее оборудование (рисунок 5): бункер *1*; установка для экструзионной обработки *2*; сушилка-охладитель *3*; установка ввода жидких компонентов *8*, дражировочный аппарат *5*; конвейер *6*, бункер готовой продукции *7*.

Компоненты комбикорма из производственного бункера *1*, из которых с помощью дозаторов направляются в установку *2* для экструзионной обработки. В ней смесь подается шнековым питателем в кондиционер-пропариватель вместе с другими компонентами для приготовления пропаренной смеси. Режим работы питателя определяется в зависимости от объемной массы рассыпного комбикорма, которая доводится оператором перед запуском линии или при переходе с одного рецепта на другой.

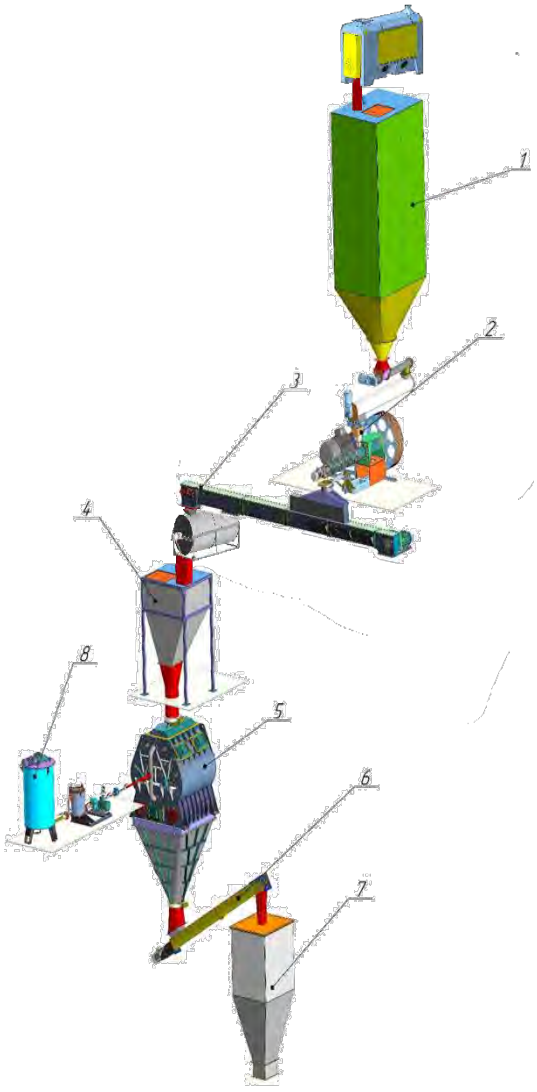


Рисунок 5. Технологическая схема линии производства высокоусвояемых комбикормов: 1 – бункер; 2 – установка экструдерная; 3 – сушилка-охладитель; 4 – бункер производственный; 5 – дражировочный аппарат; 6 – конвейер; 7 – бункер готовой продукции; 8 – установка ввода жидких компонентов

Figure 5. Technological scheme of the production line of highly digestible mixed feeds: 1 – hopper; 2 – extruder unit; 3 – dryer-cooler; 4 – production hopper; 5 – draining machine; 6 – conveyor; 7 – finished product hopper; 8-liquid components input unit

Величина объемной массы рассыпного комбикорма является важным параметром функционирования системы управления, определяющим ввод жидких компонентов, а также режим работы питателя. В кондиционере-пропаривателе под воздействием пара рассыпной комбикорм предварительно подогревается и увлажняется для последующей передачи на гидротермическую обработку. Пропаривание ведется в следующем режиме: давление пара – 0,3 МПа; расход пара – 120–140 кг; температура пропаренной смеси – 80–100 °С; влажность пропаренной смеси – 20–21%. В процессе кондиционирования в рассыпной комбикорм вводятся жидкие компоненты. После кондиционирования рассыпной комбикорм в виде пропаренной смеси направляется в экструдер.

Баротермическая обработка рассыпного комбикорма осуществляется при следующих параметрах: температура продукта на выходе из экструдера – 1250–140 °С; давление в установке – до 7,0 МПа; время обработки – 4–5 с.

Экструдированные гранулы подаются в сушилку-охладитель *3*, где охлаждается до температуры, не превышающей температуру окружающей среды более, чем на 10 °С. Охлажденные гранулы направляются в производственный бункер *4*, а из него – в аппарат *5* для нанесения жировитаминных добавок на поверхность экструдированных гранул (дражировочный аппарат). Одновременно в него подается жировитаминные добавки из установки ввода жидких компонентов *8*.



Рисунок 6. Установка ввода жидких компонентов

Figure 6. Liquid component injection unit

Установка *8* ввода жидких компонентов (рисунок 6) осуществляет автоматическое объемное дозирование с помощью расходомера. Ее основными элементами являются: расходная емкость с мешалкой и змеевиковым теплообменником, фильтр, насос, расходомер, электроконтактный манометр, ультразвуковой датчик, регулятор температуры. Она нагревает жир

до заданной температуры для оптимизации величины вязкости, что позволяет добиться более точного дозирования и равномерного распределения жидких компонентов при подаче их в дражировочный аппарат.

Непосредственный ввод жидких компонентов и подача пара в кондиционер осуществляется через коллектор с эжекторными соплами, расположенными вдоль всей длины кондиционера, что позволяет вести обработку рассыпного комбикорма в кондиционере равномерно по всей его массе.

Дражировочные гранулы направляются конвейером *6* затем в бункер *7* готовой продукции для дальнейшей реализации.

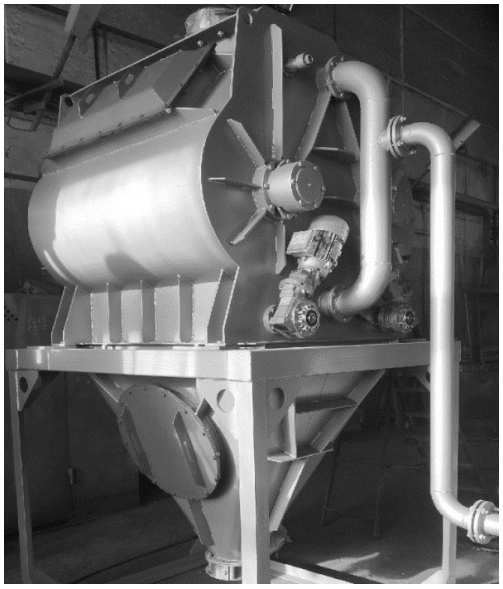


Рисунок 7. Дражировочный аппарат
Figure 7. Drapery machine

Дражировочный аппарат (рисунок 7), предназначенный для нанесения жировитаминных добавок на поверхность экструдированных гранул, состоит из рабочей камеры, в верхней части которой расположены форсунки для ввода жировитаминных добавок, патрубок для соединения с вакуум-линией, а внутри аппарата расположен вращающийся перемешивающий рабочий орган.

Непосредственный ввод жидких компонентов осуществляется через коллектор с эжекторными соплами, расположенными вдоль всей длины дражировочного аппарата, что позволяет вести обработку рассыпного комбикорма равномерно по всему объему с использованием квазиневесомого режима.

Изготовленный дражировочный аппарат по техническим характеристикам (габаритные размеры, масса, занимаемая площадь, мощность привода, равномерность нанесения жира на поверхность гранул) превосходит лучшие мировые аналоги.

Кинематический режим и геометрические размеры перемешивающего органа дражировочного аппарата обеспечивают равномерное распределение жира по поверхности экструдированных гранул.

В изготовленном комплекте оборудования для производства высокоэффективных комбикормов была реализована инновационная технология, отличительными особенностями которой являются: замена дорогостоящих белковых компонентов животного происхождения на растительные высокобелковые компоненты, прошедшие экструзионную обработку и нанесение жировых компонентов на поверхность экструдированных гранул.

Заключение

Разработанная технология и перспективные виды технологического оборудования (смеситель, экструдер, вакуумный напылитель, сушилку-охладитель) позволит высокоусвояемые комбикорма нового поколения для сельскохозяйственных (свиней) и непродуктивных животных (собак, кошек), а также для пушных зверей (норок, песцов, соболей) и рыб ценных пород с содержанием белка 60%, жира 40%, с введением стимуляторов роста, биологически активных добавок и т. д. позволят повысить усвояемость комбикормов на 10–12%, повысить привесы на 10–12%, снизить стоимость товарной продукции на 10–15%, снизить конверсию корма на 15%.

Литература

1 Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Мануйлов В.В., Александров А.И. Разработка высокоэффективной технологии влаготепловой обработки зерна и кондиционера-пропаривателя // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 1. № 1. С. 19–26. doi: 10.20914/2310-1202-2019-1-19-26

2 Murugesan R., Orsat V. Spray drying for the production of nutraceutical ingredients—a review // Food and Bioprocess Technology. 2012. V. 5. №. 1. P. 3-14. doi: 10.1007/s11947-011-0638-z

3 Betoret E., Betoret N., Rocculi P., Dalla Rosa M. Strategies to improve food functionality: Structure–property relationships on high pressures homogenization, vacuum impregnation and drying technologies // Trends in Food Science & Technology. 2015. V. 46. №. 1. P. 1-12. doi: 10.1016/j.tifs.2015.07.006

4 Агеец В.Ю. и др. Современные тенденции в разработке эффективных комбикормов для рыб // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2019. Т. 57. № 3. С. 323–333.

5 Агеец В., Кошак Ж. Качественный комбикорм – здоровая рыба – экологически чистая продукция // Наука и инновации. 2020. № 3 (205). С. 17–21.

6 Анализ состояния и перспективные направления развития аквакультуры: науч. аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 88 с.

7 Aas T.S., Oehme M., Sørensen M., He G. et al. Analysis of pellet degradation of extruded high-energy fish feeds with different physical qualities in a pneumatic feeding system // Aquac. Eng. 2011. V. 44. P. 25–34. doi: 10.1016/j. aquaeng.2010.11.002

8 Borquez A., Perez E. Vacuum coating pelleted feed. Victam International. Feed and Food Industries Show. Aquafeed Horizons. URL: https://fr.slideserve.com/wynona/victam-inte rnational-feed-and-food-industries-show-aquafeed-horizons-vacuum-coating-pelle ted-feed

9 Dethlefsen M.W. Die Hard-improving the physical quality of extruded fish feed pellets. 2017. URL: https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/138706490/_public.pdf

10 Jovanović R. et al. New technologies and quality of trout and carp aquafeed // Archiva Zootechnica. 2009. V. 12. №. 1. P. 18-26. URL: https://www.ibna.ro/arhiva/AZ%2012-1/AZ%2012-1%2002% 20Rade%20Jovanovic.pdf.

11 Lamichhane S., Sahtout K., Smillie J., Scott T.A. Vacuum coating of pelleted feed for broilers: opportunities and challenges // Animal Feed Science and Technology. 2015. V. 200. P. 1-7. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2014.11.015

12 Maas R.M., Verdegem M.C.J., Stevens T.L., Schrama J.W. Effect of exogenous enzymes (phytase and xylanase) supplementation on nutrient digestibility and growth performance of Nile tilapia (Oreochromis niloticus) fed different quality diets // Aquaculture. 2020. V. 529. P. 735723. doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.735723

13 Meng Y., Qian K., Ma R., Liu X. et al. Effects of dietary lipid levels on sub-adult triploid rainbow trout (Oncorhynchus mykiss): 1. Growth performance, digestive ability, health status and expression of growth-related genes // Aquaculture. 2019. V. 513. P. 734394. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.734394

14 Pandey B. Pellet technical quality of feeds for Atlantic salmon. Norwegian University of Life Sciences, Ås, 2018.

15 Sørensen M. A review of the effects of ingredient composition and processing conditions on the physical qualities of extruded high- energy fish feed as measured by prevailing methods // Aquaculture nutrition. 2012. V. 18. №. 3. P. 233-248. doi: 10.1111/j.1365- 2095.2011.00924.x.

16 Мейрманов А.М., Зимин Р.Н., Гальцева О.В., Гальцев О.А. Математические модели диффузии в пороупругих средах // Научные ведомости. Серия: Математика. Физика. 2012. № 17(136). С. 77–90.

17 Golzarand M., Hollis B.W., Mirmiran P., Wagner C.L. et al. Vitamin D supplementation and body fat mass: a systematic review and meta-analysis // European journal of clinical nutrition. 2018. V. 72. №. 10. P. 1345-1357. doi: 10.1038/s41430-018-0132-z

18 Huang C., Chiba L.I., Magee W.E., Wang Y. et al. Effect of flaxseed oil, animal fat, and vitamin E supplementation on growth performance, serum metabolites, and carcass characteristics of finisher pigs, and physical characteristics of pork // Livestock Science. 2019. V. 220. P. 143-151. doi: 10.1016/j.livsci.2018.11.011

19 Modroño S., Soldado A., Martínez-Fernández A., de la Roza-Delgado B. Handheld NIRS sensors for routine compound feed quality control: Real time analysis and field monitoring // Talanta. 2017. V. 162. P. 597-603. doi: 10.1016/ j.talanta.2016.10.075

20 Shrinivasa D.J., Mathur S.M. Compound feed production for livestock // Curr Sci. 2020. V. 118. P. 553-559.

References

1. Afanasyev V.A., Ostrikov A.N., Manuilov V.V., Aleksandrov A.I. Development of a highly efficient technology for moisture-heat treatment of grain and a conditioner-steamer. Proceedings of VSUET. 2019. vol. 1. no. 1. pp. 19–26. doi: 10.20914/2310-1202-2019-1-19-26 (in Russian).

2. Murugesan R., Orsat V. Spray drying for the production of nutraceutical ingredients—a review. Food and Bioprocess Technology. 2012. vol. 5. no. 1. pp. 3-14. doi: 10.1007/s11947-011-0638-z

3. Betoret E., Betoret N., Rocculi P., Dalla Rosa M. Strategies to improve food functionality: Structure–property relationships on high pressures homogenization, vacuum impregnation and drying technologies. Trends in Food Science & Technology. 2015. vol. 46. no. 1. pp. 1-12. doi: 10.1016/j.tifs.2015.07.006

4. Ageets V.Yu. et al. Modern trends in the development of effective feed for fish. Vestsi National Academy of Sciences of Belarus. Gray agrarian navuk. 2019. vol. 57. no. 3. pp. 323–333. (in Russian).

5. Ageets V., Koshak J. High-quality compound feed - healthy fish - environmentally friendly products. Science and innovations. 2020. no. 3 (205). pp. 17–21. (in Russian).

6. Analysis of the state and promising directions of development of aquaculture: scientific. analyte. overview. Moscow, FGBNU "Rosinformagrotech", 2019. 88 p. (in Russian).

7. Aas T.S., Oehme M., Sørensen M., He G. et al. Analysis of pellet degradation of extruded high-energy fish feeds with different physical qualities in a pneumatic feeding system. Aquac. Eng. 2011. vol. 44. pp. 25–34. doi: 10.1016/j. aquaeng.2010.11.002

8. Borquez A., Perez E. Vacuum coating pelleted feed. Victam International. Feed and Food Industries Show. Aquafeed Horizons. Available at: https://fr.slideserve.com/wynona/victam-inte rnational-feed-and-food-industries-show-aquafeed-horizons-vacuum-coating-pelle ted-feed

9. Dethlefsen M.W. Die Hard-improving the physical quality of extruded fish feed pellets. 2017. Available at: https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/138706490/_public.pdf

10. Jovanović R. et al. New technologies and quality of trout and carp aquafeed. Archiva Zootechnica. 2009. vol. 12. no. 1. pp. 18-26. Available at: https://www.ibna.ro/arhiva/AZ%2012-1/AZ%2012-1%2002% 20Rade%20Jovanovic.pdf.

11. Lamichhane S., Sahtout K., Smillie J., Scott T.A. Vacuum coating of pelleted feed for broilers: opportunities and challenges. Animal Feed Science and Technology. 2015. vol. 200. pp. 1-7. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2014.11.015

12. Maas R.M., Verdegem M.C.J., Stevens T.L., Schrama J.W. Effect of exogenous enzymes (phytase and xylanase) supplementation on nutrient digestibility and growth performance of Nile tilapia (Oreochromis niloticus) fed different quality diets. Aquaculture. 2020. vol. 529. pp. 735723. doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.735723

13. Meng Y., Qian K., Ma R., Liu X. et al. Effects of dietary lipid levels on sub-adult triploid rainbow trout (Oncorhynchus mykiss): 1. Growth performance, digestive ability, health status and expression of growth-related genes. Aquaculture. 2019. vol. 513. pp. 734394. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.734394

14. Pandey B. Pellet technical quality of feeds for Atlantic salmon. Norwegian University of Life Sciences, Ås, 2018.
15. Sørensen M. A review of the effects of ingredient composition and processing conditions on the physical qualities of extruded high- energy fish feed as measured by prevailing methods. Aquaculture nutrition. 2012. vol. 18. no. 3. pp. 233-248. doi: 10.1111/j.1365- 2095.2011.00924.x.
16. Meirmanov A.M., Zimin R.N., Galtseva O.V., Galtsev O.A. Mathematical models of diffusion in poroelastic media. Nauchnye vedomosti. Series: Mathematics. Physics. 2012. no. 17(136). pp. 77–90. (in Russian).
17.Golzarand M., Hollis B.W., Mirmiran P., Wagner C.L. et al. Vitamin D supplementation and body fat mass: a systematic review and meta-analysis. European journal of clinical nutrition. 2018. vol. 72. no. 10. pp. 1345-1357. doi: 10.1038/s41430-018-0132-z
18. Huang C., Chiba L.I., Magee W.E., Wang Y. et al. Effect of flaxseed oil, animal fat, and vitamin E supplementation on growth performance, serum metabolites, and carcass characteristics of finisher pigs, and physical characteristics of pork. Livestock Science. 2019. vol. 220. pp. 143-151. doi: 10.1016/j.livsci.2018.11.011
19. Modroño S., Soldado A., Martínez-Fernández A., de la Roza-Delgado B. Handheld NIRS sensors for routine compound feed quality control: Real time analysis and field monitoring. Talanta. 2017. vol. 162. pp. 597-603. doi: 10.1016/j.talanta.2016.10.075
20. Shrinivasa D.J., Mathur S.M. Compound feed production for livestock. Curr Sci. 2020. vol. 118. pp. 553-559.

Сведения об авторах

Валерий А. Афанасьев д.т.н., профессор, генеральный директор, Научно-производственный центр «ВНИИ комбикормовой промышленности», пр-т Труда, 91, г. Воронеж, 394026, Россия, vnii_kp@vmail.ru
https://orcid.org/0000-0003-4129-0422

Александр Н. Остриков д.т.н., профессор, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ostrikov27@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-2335-0017

Игорь С. Богомолов к.т.н., первый заместитель генерального директора, Научно-производственный центр «ВНИИ комбикормовой промышленности», пр-т Труда, 91, г. Воронеж, 394026, Россия, igor-bog@ya.ru

Павел В. Филипцов старший инженер, отдел разработки новых технологий, оборудования и конструкторских работ, Научно-производственный центр «ВНИИ комбикормовой промышленности», пр-т Труда, 91, г. Воронеж, 394026, Россия, pavel-filiptsov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0144-6421

Лариса Н. Фролова д.т.н., профессор, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия,, fln-84@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6505-4136

Information about authors

Valery A. Afanasiev Dr. Sci. (Engin.), professor, CEO, NPO Research Institute of Feed Industry, 91 Truda Avenue, Voronezh, 304026, Russia, vnii_kp@vmail.ru
https://orcid.org/0000-0003-4129-0422

Alexander N. Ostrikov Dr. Sci. (Engin.), professor, head of department, technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ostrikov27@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-2335-0017

Igor S. Bogomolov Cand. Sci. (Engin.), CEO, NPO Research Institute of Feed Industry, 91 Truda Avenue, Voronezh, 304026, Russia, igor-bog@ya.ru

Pavel V. Filiptsov chief engineer, new technologies, equipment and design effort development department, NPO Research Institute of Feed Industry, 91 Truda Avenue, Voronezh, 304026, Russia, pavel-filiptsov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0144-6421

Larisa N. Frolova Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, fln-84@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6505-4136

Вклад авторов

Валерий А. Афанасьев консультация в ходе исследования
Александр Н. Остриков выполнил расчёты
Игорь С. Богомолов участие в разработке конструкторской документации, консультация в ходе исследования
Павел В. Филипцов написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат
Лариса Н. Фролова проведение экспериментов, обработка данных

Contribution

Valery A. Afanasiev consultation during the study
Alexander N. Ostrikov performed computations
Igor S. Bogomolov consultation during the study

Pavel V. Filiptsov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Larisa N. Frolova conducted an experiment, performed computations

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 27/01/2021	**После редакции** 19/02/2021	**Принята в печать** 03/03/2021
Received 27/01/2021	**Accepted in revised** 19/02/2021	**Accepted** 03/03/2021

Пищевая биотехнология

Food biotechnology

Review article
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-102-107

Microgreens: a newly merging product, aspects, prospectives, and disadvantages

Ali J. Othman [1] ali.mcisa@gmail.com 0000-0002-8309-1854
Ludmila G. Eliseeva [1] eliseeva-reu@mail.ru 0000-0003-2715-9989
Daria V. Simina [1] daria.simina@mail.ru 0000-0003-3543-7125

[1] Russian Economic University. G. V. Plekhanova, Stremyanny avenue, 36, Moscow, 115093, Russia Federation)

Summary. In this article we demonstrate the connotation of microgreens, the newly merging product in the Russian market. Microgreens are normal plants planted in highly density on a substrate medium and harvested shortly after the first true leaves appear. Microgreens of many aromatic plants possess intensive flavour similar to its mature product. We also expound the aspects related to this product, including growth, harvesting time, Seeds utilization, light requirements, available suitable substrate, as well as the disadvantages related to its production. There is still a lot of controversy about the health benefits of consuming microgreens. Some researchers believe that there is currently not enough scientific evidence to support a higher nutrient level in microgreens than in mature plants. In this review, we discuss whether microgreening is a great addition to gardening or not. Still, other prospects for the future of this product indicates that the demand of the market for the microgreens will be strong especially with the wide spread of home-growing facilities like phytotrons and simple growing chambers.

Keywords: microgreens, nutritional value, antioxidants, superfood, vitamins, production

Introduction

According to the UN, by 2050 the world's population will grow to almost 10 billion people, which will put enormous pressure on the possibilities of modern agriculture [1].

Despite the fact that the percentage of people with insufficient access to food has dropped significantly over the past 50 years, from 60 % in 1960 to about 15 % in 2010, there are currently about 1 billion people who are chronically malnourished and about 2 billion more. suffer from a deficiency of essential micronutrients [2, 3].

In this context, and with projections and scenarios for a population growth of more than 9 billion by 2050 [4], it becomes necessary to focus our attention and efforts on finding innovative tools that can help solve this problem and ensure food security for the population. To meet the need for fresh, nutrient-rich and high-phytochemicals in the diet for healthy body development, the vegetable industry has introduced a new product: microgreens. Microgreens can be seen as a concept innovation in vegetable growing in general, with the potential to change the whole idea of vegetables [5].

Microgreens, also known as “vegetable confetti” [6] or “micrograsses” for aromatic herbs [7], are plant foods. Although they are often referred to as culinary delicacies used as an ingredient in high-end restaurant kitchens, they are becoming increasingly popular and are increasingly used in the daily diet of people.

Microgreens are emerging sector in vegetable products which are gaining popularity and increased attention. They are young and tender cotyledonary leafy greens that are found in a pleasing palette of colors, textures and flavors. Microgreens are a new class of edible vegetables harvested when either when first leaves have fully expanded and before true leaves have emerged or upon the appearance of first true leaves. Microgreens are normal plants planted at medium to high density and harvested shortly after the first true leaves appear. Harvesting is done by cutting the stem directly above the soil in which they grow, or above the roots if growing without soil. The time period from sowing to harvest is usually 7 to 14 days, in exceptional cases up to 21 days for some slower growing species such as celery. The collected product is a microstructure with stems, cotyledon leaves and the first (1–2) true leaves. Sometimes, depending on the species, the seed coat remains attached to the cotyledonous leaves and may also be considered edible [7]. Microgreens are classified as a new category of vegetables, distinguishing themselves from the more widely known sprouts and early cut leafy vegetables, also known as baby leaves.

Для цитирования
Othman A.J., Eliseeva L.G., Simina D.V. Microgreens: a newly merging product, aspects, prospectives, and disadvantages // Вестник ВГУИТ. 2021. Т 83. № 1. С. 102–107. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-102-107

For citation
Othman A.J., Eliseeva L.G., Simina D.V. Microgreens: a newly merging product, aspects, prospectives, and disadvantages. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83 no. 1. pp. 102–107. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-102-107

© 2021, Othman A.J. и др. / Othman A.J. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

The harvested product is these microstructures with stems, cotyledonous leaves and the first (1–2) true leaves. Sometimes, depending on the species, the seed coat remains attached to the cotyledonous leaves and may also be considered edible [7]. Microgreens are classified as a new category of vegetables, distinguishing themselves from the more widely known sprouts and early cut leafy vegetables.

Young, leafy vegetables that are harvested by cutting and then sold lose nutrients before they reach the final consumer. Microgreens can be sold by keeping the sprouts alive in the soil or growth medium, and the end consumer can cut the product a few minutes before being used or consumed. This innovation of selling the product while it is growing guarantees a longer shelf life and guarantees high quality in terms of freshness and nutritional value [7].

Of the three product categories (seedlings, microgreens, young leaves), only "seedlings" have a legal definition and their production and commercialization must comply with strict regulations due to their relatively higher risk of microbial contamination [6]. Easy sprouting and fast growing crops are suitable for growing as microgreens. Microgreens include many common types of vegetables and greens. The various types of microgreens include: cabbage, radish, turnip, carrot, beet, chard, peas, broccoli, cabbage, bok choy, celery, sesame, amaranth, watercress, lettuce, endive, arugula, mustard, sunflower, alfalfa, clover, sorrel, canola, chia, flax, fennel, dill, basil, cilantro and chervil. Microgreens are planted with the same seeds used to grow their full-sized counterparts. The basic concept of growing microgreens is collecting plants while they are still young. Microgreens provide a wide variety of flavors, colors and textures.

The scientists hypothesized that producing microgreens from local varieties of traditional vegetables and wild types of vegetables would be more profitable due to their higher nutrient content compared to commercial improved varieties.

Production Methods, Pest Management, and Harvesting

Microgreens can be grown on a small scale by individuals for home use or on a large scale in industrial production systems for commercial marketing. Growing, harvesting, and post-harvest handling can have a significant effect on the accumulation and degradation of phytonutrients in microgreens.

When it comes to growing conditions, microgreens are a versatile product. They can be grown in a greenhouse or indoors, with natural or artificial light sources, in soil or in soilless systems.

Recently, we started to see some microgreens products sold in Russian markets. In case if microgrees were grown outdoor, the production time could vary upon the season and crop variety. During spring to summer seasons when days are long and warm, seeds of radished from (Raphanus raphanistrum subsp. Sativus) family can be harvested in 5–7 days from germination. But, because frosts and cold in most of Russian areas, the growing area has to be in closed controlled rooms or growing chambers like phytotron of synergetrons, where all factors affecting growth can be controlled in isolation from the surrounding environment.

The microgreens are grown in 25 × 50 cm flats or blocks of nearly inert materials like growing on flat jute, cannabis fibers, coco hair, and polystyrene sheets or it can be grown on blocks that are filled with peat and vermiculite or perlite alone, together or mixed with other fine commercial ready substrates mixtures.

It is recommended in order to avoid washing out the drainage holes when it is watered to place a polyethylene sheet or paper towel over the bottom of the block to prevent the fine potting mix before filling the block with the substrate materials. The growing blocks is filled only to a depth of about 2–3 cm.

Currently, the sowing process is still done manually, hand seeding may be the most efficient method for small operations. There are several brands of hand seeders available, but, for small amounts of seeds, it takes more time to fill and empty the seeders than it does to seed manually. Since seed size varies, the volume of seed used varies. Approximately, 50 seeds of any variety is enough to spread them on a substrate area of 15 × 20 cm. If seeds were sown closely to each other's, some of them could not have the chance to grow in a correct manner. Results can be clearer upon harvesting. However, if only little number of seeds were sown, then the efficiency of the production per unit area will be proportionally inefficient. For small scale production, it is probably better to cut the greens upon order, so they are always cut no more than 24 hours before delivery. Colors and flavors are usually mixed in the boxes for a “rainbow” mix. But some chefs wish to buy a single variety or a specific mix (for instance, a spicy one made with radishes, arugula, and mustards).

Introducing microgreens into the market could be as mixes of different varieties (ready to eat salads) or as single variety. Most restaurants are willing or demanding to buy a single variety of microgreens or a specific mix of them, consequently, rising another challenge for growers for anticipating the demands of chefs. Some chefs prefer to buy the greens uncut in the flat and cut

their own as needed. They should be advised that, to keep them longer than 1–2 days, they need to be able to put them in full light. Often they do not have that option in a restaurant kitchen.

The substrate aspect

Traditional microgreening is recommended for individual growers, but hydroponic growing systems perform better on larger scale. These systems use a variety of soilless media. The main substrates used for the production of microgreens are peat-based mixtures and synthetic mats. Since these types of substrates are expensive and not renewable, scientists have tried to find alternative solutions. The study was carried out on microgreens "rapini" (Brassica rapa L., Broccoleto group).

The results of this study showed that, in addition to polyethylene terephthalate and peat, other alternative low-cost substrates (textile fibers and jute-kenaf fiber) can be used. Another conclusion of the study is that the choice of growing medium is one of the most important aspects that have a significant impact on the productivity, quality and safety of microgreens, and the Kenaf jute fiber substrate performs better than the other substrate, which in turn, contributed to our choice of producing a safer and more optimized microgreen product.

Seeds utilization aspect

The production of microgreens requires a large amount of seeds, which entails high costs. The seeds used for microgreening must be of high quality and have a germination rate of more than 95 %. Also, the seeds must be of a good percentage of purity and free of pathogenic bacteria or mold.

As foodborne disease outbreaks have been reported over time due to infection of Escherichia coli O157: H7 germs, their production is now subject to a number of international regulatory standards. In this regard, in the Russian Federation there are no standards for the microbiological safety of microgreens.

Scientists have studied the possibility of these bacteria growing in various microgreen growing systems using seeds inoculated with Escherichia coli O157: H7. The results showed that bacteria grew on both microgreeny plants and growth substrates. The survival and proliferation of bacterial cells was higher in the hydroponic production system than in the soil substitute system [8] (Xiao et al., 2015). Another comparative study conducted earlier comparing the growth of this pathogen during germination and microgreen growth concluded that significant proliferation of E. coli O157: H7 and O104: H4 occurred both during germination and during microgreen growth. This means that the production of microgreens must comply with the food safety standards applicable to seedlings [9].

Light aspects

The light environment plays an important role in the development and accumulation of phytochemicals in microgreens. Some microgreens (dill, cilandro, chervil, argala, amaranth) grow best in indirect sunlight, but artificial light also promotes plant growth and can be optimized for the best results. There are many types of artificial light sources used in the production of microgreens, among them a light emitting diode (LED) is the best choice. LEDs are designed to emit visible light and have been proven to be an effective radiation source for plant growth [10, 21]. LEDs require the least amount of energy to produce light and very little heat, making them the most efficient and economical compared to other artificial sources.

Some research has focused on increasing the accumulation of shoot tissue nutrient pigments in leafy vegetables that control light source. Speaking of artificial light sources, the important parameters are the light spectra and the light level.

A group of scientists [11] published a study on the influence of LED illumination on growth, nutritional quality and antioxidant properties of Brassica microgreens. They used a high light load to activate the photoprotection mechanism in microgreens. As a result, the production of antioxidants (anthocyanins, alpha-tocopherol and ascorbate) is increased.

The study concluded that moderate levels of light are more effective in enhancing the nutritional value of microgreens, while strong lighting can have a detrimental effect on product quality. Depending on the species, the most suitable conditions for the growth and nutritional value of microgreens were 320–440 μmol $m^{-2}s^{-1}$ [22]. To establish the optimal level of illumination, the scientists took into account both agronomic and economic aspects.

The influence of the light source on microgreens was also studied. Researchers compared the effects of fluorescent light/incandescent light and blue/red LED light on the pigment content of 30-day-old Chinese cabbage (Brassica oleracea var. Alboglabra). They found that LED lighting from a single source promoted higher concentrations of carotenoid and chlorophyll pigments in cabbage microgreens.

Nutritional benefits of microgreens

Several studies over the past two decades have shown that the old adage “We are what we eat” is true. Sometimes our diets do not provide all the nutrients, minerals, vitamins and antioxidants we need for health. We often use pills to solve the problem quickly and easily. But are these supplements effective? Functional foods with a moderate concentration of bioactive compounds seem to be

much better absorbed by our bodies than concentrated supplements.

Clinical trials as well as epidemiological studies have shown that a plant-based diet high in fruits and vegetables is associated with a reduced risk of cancer, cardiovascular disease and other chronic diseases.

Several bioactive plant compounds, commonly referred to as antioxidants, appear to be responsible for this beneficial effect. The evidence that bioactive compounds in vegetables have important health effects is a strong motivation for people to increase their intake of fruits and vegetables. An important strategy for increasing the intake of biologically active substances related to health is to increase their concentration in food plants. In this respect, microgreens are a desirable product in the market. Thus, microgreens belong to a group known as "functional food".

Different types of microgreens contain different amounts of functional compounds such as antioxidants, minerals, vitamins, and phenols. Growing, harvesting and storage conditions can have a significant impact on nutrient content.

Researchers estimated the concentration of vitamins and carotenoids in 25 microgreens. The highest concentrations of vitamin C, carotenoids, phylloquinone and tocopherols were found in red cabbage, cilantro, pomegranate amaranth and daikon green radish. The study concluded that microgreen cotyledon leaves have higher nutritional value than mature leaves. The researchers also found that the vitamin levels in microgreens are about five times higher than in their mature plants [12].

Researchers at the Laboratory for Food Quality and the Laboratory for Crop Production Systems and Global Change, USDA-ARS, conducted a study that analyzed the concentrations of macronutrients (calcium, magnesium, phosphorus, sodium, potassium) and micronutrients (copper, iron, manganese and zinc) in 30 microgreen species from 10 genera of the Brassicaceae family.

The results showed that Brassicaceae microgreens are a good source of macronutrients (such as potassium and calcium) and micronutrients (such as iron and zinc). This study appears to be the first document on the mineral content of commercially available Brassicaceae microgreens [13].

The protective effect against oxidative stress exhibited by Brassicaceae (broccoli, Brussels sprouts, cabbage, cabbage, cauliflower) is provided by glucosinolates, which are sulfur-containing glucosides.

For example, broccoli contains: sinigrin, glucoraphanin, and progoitrin; Chinese cabbage has indolyl glucosinolate glucobrassicin, and glucoraphanin is one of the most common glucosinolates found in broccoli.

Vegetables of the Brassicaceae family are also known to contain high concentrations of polyphenols associated with human health: anthocyanins, flavonol glycosides, hydroxycinnamic acids, etc. Assuming microgreens are more nutritious than mature plants, other researchers have compared five Brassica species. The results showed that microgreens contain more diverse complex polyphenols than mature plants. 164 polyphenols were identified, of which 30 were anthocyanins, 105 were flavonol glycosides, and 29 were derivatives of hydroxycinnamic and hydroxybenzoic acids, which proves that microgreens are an important source of biologically active substances [14].

The salad contains a variety of health-promoting phytochemicals, including vitamins and phenolic compounds with antioxidant properties. The researchers found that young lettuce (Lactuca sativa) seedlings after 7 days of germination had the highest total phenolic concentration and antioxidant capacity compared to mature leaves [15, 16].

For most people, when talking about food, sensory attributes are no less, and perhaps more important than nutritional value. Appearance, texture and taste are the main sensory attributes for judging the quality of fresh produce.

The chemical composition and sensory qualities (sweetness, bitterness, astringency, sourness, heat) of some microgreens were assessed in a study conducted [8]. Six types of microgreens were evaluated: Dijon mustard (*Brassica juncea L. Czern.*), Opal basil (*Ocimum basilicum L.),* bovine beet (*Beta vulgaris L.*), red amaranth (*Amaranthus tricolor L.*), watercress (*Lepidium bonariense L.*) and Chinese radish (*Raphanus sativus L.*). Researchers have found a strong correlation between the chemical composition (total phenols) of microgreens and their taste. Chemical analysis showed that Chinese radish, opal basil, and red amaranth have the highest concentrations of total ascorbic acid, phylloquinone, carotenoids, and tocopherols, while the highest concentrations of total phenolic compounds were found in Chinese pink radish and opal basil [23, 24].

The study also concluded that pH values and total phenolic compounds can be used by microgreen growers as indicators and predictors of consumer acceptance. Unfortunately, the results of the study reflected the fact that people refuse certain vegetables because of their unpleasant taste (bitterness, astringency), even if they have a beneficial effect on human health.

Disadvantages associated with microgreens production

The main two disadvantages associated with the production of microgreens are: short shelf life with reduced nutritional value during storage and the risk of contamination by pathogens and public health. The industrial production and marketing of microgreens is limited by their short shelf life associated with a rapid deterioration in product quality. Various methods are currently used before and after harvest to prolong the shelf life of microgreens.

Post-harvest methods are related to storage conditions and require tight control of temperature and atmospheric composition. Thus, the shelf life of microgreens depends on many factors, such as temperature, relative humidity, type of packaging film and microbial load. Researchers have tried to find solutions to avoid product degradation during post-harvest storage.

Related studies have been carried out on extending the shelf life of buckwheat microgreens [20]. Although microgreens from buckwheat are rich in antioxidants and vitamins, their short shelf life limits their commercial use. In this study, an attempt was made to optimize storage conditions in order to preserve the nutritional quality of the product.

Temperatures between 5° C and 10° C and an atmosphere with moderately high O2 (14.0–16.5 kPa) and moderately low CO2 (1.0–1.5 kPa) have been found to be optimal for maximum shelf life [17, 18]. The researchers also optimized the packaging to provide the optimal atmosphere composition needed to extend the shelf life of buckwheat microgreens.

But the shelf life of microgreens can also be extended by using some preparation methods for harvesting. Scientists investigated the effect of preharvest calcium application on the quality of broccoli microgreens. The post-harvest quality and shelf life of the treated microgreens increased to 21 days [17].

Untreated microgreens were edible for only 14 days. A dose of 10 mM calcium chloride increased biomass production (by more than 50 %), enhanced superoxide dismutase and peroxidase activity in microgreens, and significantly reduced microbial growth during storage. The treatment also tripled the calcium concentration in the microgreens.

In practice, in order to prevent the growth of microbes in the post-harvest stage, microgreens are washed with chlorinated water in doses that do not affect the taste and aroma of the product. Others have studied the effect of various disinfectants on the quality and microbial population of Brassica campestris var. microgreen farinosa. The scientists used the following disinfectants in various combinations: chlorine, citric acid, ascorbic acid, and ethanol spray. The results show that the combination of citric acid with an ethanol spray can successfully replace chlorine commonly used for washing microgreens [19].

Another disadvantage for growing microgreens could be their high prices, due to the production costs such as substrate media, the cost of seeds, and labor hood. Also, prices in some areas have dropped recently as larger growers have entered the market and developed more efficient production and harvesting methods.

Customers may try to save money by purchasing microgreens from large farms in other parts of the country, but then discover that the savings is not worth the difference in quality and shelf life of the product [25]. It is also more convenient for restaurants or brokers to be able to call up and order fresh microgreens for that day, instead of having to anticipate needs and place orders a day or two before, carrying a larger inventory. With rising fuel costs, the advantage for growers who are very close to their markets may even increase.

Conclusion

A healthy and well-balanced diet is the main strategy for achieving good health. Without a balanced diet based on functional foods such as microgreens, diets are likely to have less impact on public health. There is still a lot of controversy about the health benefits of consuming microgreens. Some believe that there is currently not enough scientific evidence to support a higher nutrient level in microgreens than in mature plants. But as this review has shown, microgreening is certainly a great addition to gardening. Microgreens can be a good crop for beginning growers. They are easy to grow and do not require a large infrastructure or initial investment in land or equipment. They are still newly merging into the Russian market, expectations prognosing that the demand of the market for the microgreens will be strong.

References

1 McClung C.R. Plant science. Making hunger yield. Science. 2014. vol. 344. pp. 699–700. doi: 10.1126/science.1254135

2 Godfray H.C.J., Beddington J.R., Crute I.R., Haddad L. et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. Science. 2010. vol. 327. no. 5967. pp. 812-818. doi: 10.1126/science.1185383

3 Godfray H.C.J., Garnett T. Food security and sustainable intensification. Philosophical transactions of the Royal Society B: biological sciences. 2014. vol. 369. no. 1639. pp. 20120273. doi: 10.1098/rstb.2012.0273

4 Lutz W., KC S. Dimensions of global population projections: what do we know about future population trends and structures? Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 2010. vol. 365. no. 1554. pp. 2779-2791. doi: 10.1098/rstb.2010.0133

5 Di Gioia F., De Bellis P., Mininni C., Santamaria P. et al. Physicochemical, agronomical and microbiological evaluation of alternative growing media for the production of rapini (Brassica rapa L.) microgreens. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2017. vol. 97. no. 4. pp. 1212-1219. doi: 10.1002/jsfa.7852

6 Treadwell D.D., Hochmuth R., Landrum L., Laughlin W. Microgreens: A new specialty crop. EDIS. 2010. vol. 2010. no. 3

7 Di Gioia F., Santamaria P. Microgreens-Novel fresh and functional food to explore all the value of biodiversity. Italy: ECO-logica srl Bari. 2015. vol. 118.

8 Xiao Z., Bauchan G., Nichols-Russell L., Luo Y. et al. Proliferation of Escherichia coli O157:H7 in Soil-Substitute and Hydroponic Microgreen Production Systems. Journal of Food Protection. 2015. vol. 10. pp. 1785–1790. doi: 10.4315/0362-028X.JFP-15-063

9 Xiao Z., Nou X., Luo Y., Wang Q. Comparison of the growth of Escherichia coli O157: H7 and O104: H4 during sprouting and microgreen production from contaminated radish seeds. Food Microbiology. 2014. vol. 44. pp. 60-63. doi: 10.1016/j.fm.2014.05.015

10 Nayak S. L., Dhami K. S., Sahu D. Microgreens: A Potential Source of Energy. Biotica Research Today. 2021. vol. 3. no. 2. pp. 098-099.

11 Samuolienė G., Brazaitytė A., Jankauskienė J., Viršilė A. et al. LED irradiance level affects growth and nutritional quality of Brassica microgreens. Central European Journal of Biology. 2013. vol. 8. no. 12. pp. 1241-1249. doi: 10.2478/s11535-013-0246-1

12 Xiao Z., Lester G.E., Luo Y., Wang Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. Journal of agricultural and Food Chemistry. 2012. vol. 60. no. 31. pp. 7644-7651. doi: 10.1021/jf300459b

13 Xiao Z., Codling E.E., Luo Y., Nou X. et al. Microgreens of Brassicaceae: Mineral composition and content of 30 varieties. Journal of Food Composition and Analysis. 2016. vol. 49. pp. 87-93. doi: 10.1016/j.jfca.2016.04.006

14 Sun J., Xiao Z., Lin L., Lester G.E. et al. Profiling polyphenols in five Brassica species microgreens by UHPLC-PDA-ESI/HRMS n. Journal of agricultural and food chemistry. 2013. vol. 61. no. 46. pp. 10960-10970. doi: 10.1021/jf401802n

15 Oh M., Carey E.E., Rajashekar C.B. Regulated water deficits improve phytochemical concentration in lettuce. Journal of the American Society for Horticultural Science. 2010. vol. 135. no. 3. pp. 223-229. doi: 10.21273/JASHS.135.3.223

16 Osman A.D., Eliseeva L.G., Zelenkov V.N., Latushkin V.V. et al. Nutritional value of microgreens and mature lettuce (Lactuca sativa) grown under phytotron of urban type (ISR 0.2). Proccedings of VSUET. 2020. vol. 2. pp. 55-60. doi: 10.20914/2310-1202-2020-2-55-60

17 Kou L., Luo Y., Yang T., Xiao Z. et al. Postharvest biology, quality and shelf life of buckwheat microgreens. LWT-Food Science and Technology. 2013. vol. 51. no. 1. pp. 73-78. doi: 10.1016/j.lwt.2012.11.017

18 Kou L., Yang T., Luo Y., Liu X. et al. Pre-harvest calcium application increases biomass and delays senescence of broccoli microgreens. Postharvest biology and technology. 2014. vol. 87. pp. 70-78. doi: 10.1016/j.postharvbio.2013.08.004

19 Chandra D., Kim J.G., Kim Y.P. Changes in microbial population and quality of microgreens treated with different sanitizers and packaging films. Horticulture, Environment, and Biotechnology. 2012. vol. 53. no. 1. pp. 32-40. doi: 10.1007/s13580-012-0075-6

20 Weber C.F. Broccoli microgreens: A mineral-rich crop that can diversify food systems. Frontiers in nutrition. 2017. vol. 4. pp. 7. doi: 10.3389/fnut.2017.00007

21 Jones-Baumgardt C., Llewellyn D., Ying Q., Zheng Y. Intensity of sole-source light-emitting diodes affects growth, yield, and quality of Brassicaceae microgreens. HortScience. 2019. vol. 54. no. 7. pp. 1168-1174. doi: 10.21273/HORTSCI13788-18

22 Ying Q., Kong Y., Jones-Baumgardt C., Zheng Y. Responses of yield and appearance quality of four Brassicaceae microgreens to varied blue light proportion in red and blue light-emitting diodes lighting. Scientia Horticulturae. 2020. vol. 259. pp. 108857. doi: 10.1016/j.scienta.2019.108857

23 Lenzi A., Orlandini A., Bulgari R., Ferrante A. et al. Antioxidant and mineral composition of three wild leafy species: A comparison between microgreens and baby greens. Foods. 2019. vol. 8. no. 10. pp. 487. doi: 10.3390/foods8100487

24 Paradiso V.M., Castellino M., Renna M., Gattullo C.E. et al. Nutritional characterization and shelf-life of packaged microgreens. Food & function. 2018. vol. 9. no. 11. pp. 5629-5640. doi: 10.1039/C8FO01182F

25 Michell K.A., Isweiri H., Newman S.E., Bunning M. et al. Microgreens: Consumer sensory perception and acceptance of an emerging functional food crop. Journal of food science. 2020. vol. 85. no. 4. pp. 926-935. doi: 10.1111/1750-3841.15075

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Ali J. Othman PhD student, commodity science and commodity expertise department / laboratory of plant products expertise, Plekhanov Russian University of Economics, 36 Stremyanny avenue, Moscow, 115093, Russia, ali.mcisa@gmail.com
https://orcid.org/введите здесь orcid

Ludmila G. Eliseeva Dr. Sci. (Engin.), professor, commodity science and commodity expertise department / laboratory of plant products expertise, Plekhanov Russian University of Economics, 36 Stremyanny avenue, Moscow, 115093, Russia, eliseeva-reu@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-427-9587

Daria V. Simina student, commodity science and commodity expertise department / laboratory of plant products expertise, Plekhanov Russian University of Economics, 36 Stremyanny avenue, Moscow, 115093, Russia, daria.simina@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-427-9587

CONTRIBUTION

Ali J. Othman wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Ludmila G. Eliseeva consultation during the study
Daria V. Simina wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 1.15.2021
ACCEPTED 3.3.2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-108-114 Оригинальная статья/Research article
УДК 634.74 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Антиоксидантные комплексы облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides L.*) северо-запада России

Людмила П. Нилова [1] nilova_l_p@mail.ru 0000-0002-5154-7095
Светлана М. Малютенкова [1] malutesha66@mail.ru 0000-0002-8081-6688

1 Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул., Политехническая, 29, г. Санкт-Петербург, 195251, Россия

Аннотация. Плоды облепихи благодаря содержанию комплексов водо- и жирорастворимых антиоксидантов обладают лечебно-профилактическими свойствами. Их содержание зависит от видов, подвидов, разновидностей, ботанических сортов, эколого-географического происхождения плодов облепихи. В работе представлены результаты исследований состава антиоксидантов и антиоксидантной активности трех ботанических сортов облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides L.*), произрастающей в Ленинградской области северо-западного региона России. В составе антиоксидантного комплекса исследовано содержание антиоксидантов фенольного типа (фенольных соединений, флавоноидов, фенольных кислот) и витамин С. Наибольшая вариабельность водорастворимых антиоксидантов облепихи связана с содержанием витамина С – от 82 до 297 мг/100г в зависимости от ботанического сорта. Содержание общих фенольных соединений составило 600–795 мг/100г, а флавоноидов и фенольных кислот – 265–346 и 105–170 мг/100г, соответственно. В составе комплекса жирорастворимых антиоксидантов плодов облепихи разных сортов исследовано содержание витамина Е и каротиноидов, которое составило 6,9–8,3 и 10,7–14,9 мг/100г, соответственно. Содержание витамина С оказывает влияние на формирование антиоксидантных свойств, определенных DPPH методом и кулонометрическим титрованием водных и спиртовых фракций, формируя ряд ботанических сортов облепихи: Оранжевая> Витаминная> Великан. Антиоксидантная активность спиртовых фракций выше, чем водных в 1,3–1,7 раза в зависимости от ботанического сорта плодов облепихи. Содержание антиоксидантов фенольного типа (общих фенольных соединений, флавоноидов и фенольных кислот) оказало влияние на антиоксидантную активность, определенную методом FRAP, формируя ряд сортов облепихи: Витаминная > Оранжевая > Великан

Ключевые слова: облепиха крушиновидная, ботанический сорт, антиоксидантный комплекс, регион произрастания антиоксиданты

Antioxidant complexes of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides L.*) of northwest Russia

Liudmila P. Nilova [1] nilova_l_p@mail.ru 0000-0002-5154-7095
Svetlana M. Malyutenkova [1] malutesha66@mail.ru 0000-0002-8081-6688

1 Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Politechnicheskaya St., 29, Saint-Petersburg, 195251, Russia

Abstract. Sea buckthorn fruits, due to the content of complexes of water- and fat-soluble antioxidants, have therapeutic and prophylactic properties. Their content depends on the species, subspecies, varieties, botanical varieties, ecological and geographical origin of sea buckthorn fruits. The paper presents the results of studies of the composition of antioxidants and antioxidant activity of three botanical varieties of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides L.*) growing in the Leningrad region of the northwestern region of Russia. As part of the antioxidant complex, the content of phenolic antioxidants (phenolic compounds, flavonoids, phenolic acids) and vitamin C was investigated. The greatest variability of water-soluble sea buckthorn antioxidants is associated with the content of vitamin C – from 82 to 297 mg/100g, depending on the botanical variety. The content of total phenolic compounds was 600–795 mg/100g, and the content of flavonoids and phenolic acids was 265–346 and 105–170 mg/100g, respectively. In the complex of fat-soluble antioxidants of sea buckthorn fruits of different varieties, the content of vitamin E and carotenoids was investigated, which was 6.9–8.3 and 10.7–14.9 mg/100g, respectively. The content of vitamin C influences the formation of antioxidant properties determined by the DPPH method and coulometric titration of water and alcohol fractions, forming a number of botanical varieties of sea buckthorn: Orange> Vitamin> Giant. The antioxidant activity of alcoholic fractions is 1.3–1.7 times higher than that of aqueous fractions, depending on the botanical variety of sea buckthorn fruits. The content of phenolic antioxidants (total phenolic compounds, flavonoids and phenolic acids) influenced the antioxidant activity determined by the FRAP method, forming a number of sea buckthorn varieties: Vitamin> Orange> Giant

Keywords: sea buckthorn buckthorn, botanical variety, antioxidant complex, growing region, antioxidants

Введение

Облепиха крушиновидная (*Hippophaë rhamnoides L.*) является самым распространенным видом облепихи, произрастающим в РФ. Общеизвестны лечебные свойства облепихи, причем не только плодов, но и листьев, семян, коры, которые связывают с содержанием в них комплекса водо- и жирорастворимых антиоксидантов [1–3]. Именно благодаря комплексу антиоксидантов облепиху используют в профилактических и лечебных целях для поддержания сердечно-сосудистой и иммунной систем, липидного обмена, как противовоспалительные, заживляющие и антирадиационные средства [4, 5].

Для цитирования
Нилова Л.П., Малютенкова С.М. Антиоксидантные комплексы облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides L.*) северо-запада России // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 108–114. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-108-114

For citation
Nilova L.P., Malyutenkova S.M. Antioxidant complexes of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides L.*) of northwest Russia. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 108–114. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-108-114

© 2021, Нилова Л.П. и др. / Nilova L.P. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

В зависимости от видов, подвидов, разновидностей и эколого-географического происхождения облепиха сильно различается биохимическим составом. Содержание антиоксидантов может варьировать от десятков до тысяч мг/ 100 г., особенно витамина С и антиоксидантов фенольного типа. Наибольшее количество антиоксидантов содержит облепиха, произрастающая в Китае, но которое может сильно варьировать. Так, среди четырех подвидов *Hippophaë rhamnoides L. subsp*., подвид *Sinensis* показал наибольшее общее содержание фенольных соединений (38,7 г/кг СВ), с преобладанием их в свободном состоянии [6]. В европейской облепихе антиоксидантов содержится меньше. В разных сортах одного вида облепихи, произрастающих в Чехии, общее содержание фенольных соединений варьирует от 0,70 до 3,62 г/кг, а флавоноидов – от 0,55–4,11 мг/г [7, 8]. Четыре сорта облепихи из Румынии имеют меньшие вариации в составе фенольных антиоксидантов. Общее содержание полифенолов в ягодах колеблется в пределах, мг/г, 10,12–18,66, флавоноидов – 6,57–9,01, что коррелирует со значениями антиоксидантной активности [9]. Содержание фенольных соединений облепихи, произрастающей в Алтайском крае, в зависимости от сортов и гидридов отличается еще большей вариабельностью на уровне 42%. Такой разброс данных связывают не только с ботаническими признаками, но и сроками сбора плодов [10]. Общую антиоксидантную активность в значительной степени связывают с общими фенольными соединениями, в частности с изорамнетин-3-рутинозидом и изорамнетин-3- глюкозид. Клеточную антиоксидантную активность и антипролиферативную активность биохимических веществ связывают с фенольными кислотами и флавоноидными агликонами [6, 11].

Наибольшая изменчивость от различных внешних и внутренних факторов в облепихе установлена для витамина С – от 28 до 2500 мг/100 г. [7, 12]. При этом значительное влияние оказывают сроки сбора плодов с преобладанием витамина С в начальной стадии и дальнейшим его расходованием при созревании плодов [1].

Комплекс жирорастворимых антиоксидантов в облепихе представлен токоферолами, токотриенолами, каротиноидами, фитостеролами [3, 12, 13]. Среди токоферолов преобладает α-токоферол 80–85%. Доля остальных изомеров в десятки раз меньше и приблизительно в равном соотношении [12, 12]. Количество токотриенолов варьирует в пределах 1,5–8,1 мг/100г почти с равным соотношением всех изомеров, за исключением ó-токоферола, который не обнаружен [3].

Изменчивость в содержании каротиноидов связана не только с общим их содержанием, но и преобладанием отдельных представителей каротинов или ксантофиллов. В мякоти плодов облепихи могут преобладать каротины, в частности β-каротин, но и его количество также может сильно варьировать от 4,6 до 26 мг/100 г. [3, 14]. Из 9 исследованных сортов облепихи в восьми случаях преобладали каротины [14]. В алтайской облепихе содержание α- и β-каротинов в среднем было почти одинаковым, но вариативность результатов в зависимости от сорта доходила до 80%. При этом сумма лютеина и ликопина была больше, чем сумма α- и β-каротинов. Колебания в общем содержании фитостеролов не так выражены и находятся в пределах 20–30 г./кг с преобладанием β-ситостерола [3]. При исследовании влияния срока сбора плодов облепихи на содержание β-ситостерола установлено максимальное его накопление в средний период.

Антиоксидантный комплекс облепихи позволяет использовать ее плоды и продукты переработки в производстве нутрицевтиков, пищевых продуктов, косметологии [16–18].

Цель работы – проведение сравнительного анализа состава антиоксидантов и антиоксидантной активности плодов облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides L.*) разных ботанических сортов, произрастающей в северо-западном регионе России.

Материалы и методы

Объектами исследований явились три ботанических сорта плодов облепихи, различающихся органолептическими показателями (вкусом и крупностью плодов), произрастающие в Ленинградской области. Плоды облепихи сорта «Оранжевая» были темно-оранжевого цвета, овальной формы, кислого с легкой терпкостью вкуса, средняя масса плода 0,67 г. Плоды сорта «Витаминная» были овально-округлые выраженного оранжевого цвета, умеренно кислые, средняя масса плода 0,56 г. Плоды сорта «Великан» были цилиндрической формы, крупные со средней массой плода 0,88 г., оранжево-желтые, сладковато-кисловатого вкуса. Сбор плодов облепихи осуществляли в первой половине сентября, замораживали при температуре минус 18 °С, хранили при этой температуре до проведения исследований.

Исследования проводили в целых плодах в трехкратной повторности, растирая плоды в экстрагентах согласно методам исследований, при этом семена облепихи не участвовали в исследовании. Содержание сахаров определяли методом Бертрана по ГОСТ 13192, общую кислотность – визуальным методом прямого титрования гидроксидом натрия с пересчетом на яблочную кислоту.

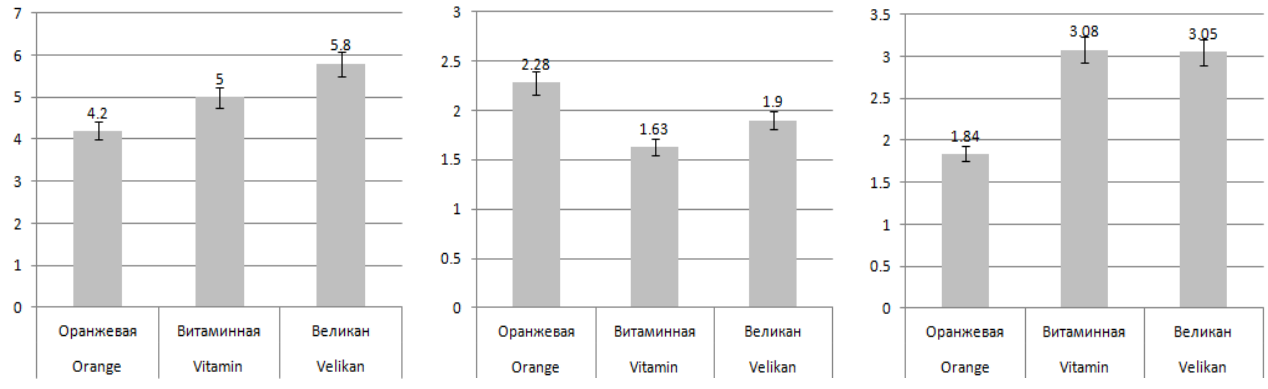
Из индивидуальных антиоксидантов определяли аскорбиновую кислоту титриметрическим методом с визуальным определением конца титрования по ГОСТ 24556; общие фенольные соединения определяли спектрофотометрически при 725 нм с использованием реактива Фолина-Чокальтеу в пересчете на галловую кислоту; общее содержание флавоноидов определяли спектрофотометрически при 510 нм с хлоридом алюминия в пересчете на рутин [19]. Общее содержание фенольных кислот в пересчете на хлорогеновую кислоту определяли на спектрофотометре при длине волны 327 нм после предварительного экстрагирования 95%-ным этанолом [20]. Определение суммы каротиноидов проводили спектрофотометрически при длине волны 450 нм после предварительного экстрагирования гексаном по ІОСТ 8756.22. Витамин Е определяли методом Эммери-Энгеля с *о*-фенантролином спектрофотометрически при длине волны 520 нм.

Антиоксидантные свойства определяли с использованием методов FRAP, DPPH и кулонометрического титрования. Определение FRAP с хлоридом железа и *о*-фенантролином и DPPH со стабильным свободным радикалом дифенилпикрилгидразилом в пересчете на аскорбиновую кислоту определяли на спектрофотометре при длинах волн 593 нм и 517 нм, соответственно. Кулонометрическое титрование осуществляли в водных и этанольных экстрактах плодов облепихи на кулонометре «Эксперт-006» в пересчете на рутин.

Результаты

Исследуемые образцы плодов облепихи различались содержанием сахаров и титруемых кислот (рисунок 1), что соответствовало их вкусовым характеристикам. Но вкусовые характеристики формировало соотношение сахаров и кислот. Так, по содержанию сахаров сорта плодов облепихи распределились: Великан> Витаминная> Оранжевая, а по содержанию кислот ряд имел другой вид: Оранжевая> Великан> Витаминная. В результате образцы сортов «Витаминная» и «Великан» имели практически одинаковый сахарокислотный индекс, а образцы сорта «Оранжевая» в 1,67 раз меньше. Более выраженный сладковатый вкус у образцов плодов сорта «Великан» по сравнению с сортом «Витаминная» мог быть связан с вариациями моносахаридов – преобладанием фруктозы с более сладким вкусом, а возможно, и присутствием многоатомных спиртов [3, 9].

Исследуемые образцы плодов облепихи различались составом антиоксидантов (таблица 1). В целом фенольные соединения преобладали в плодах сорта «Витаминная», включая флавоноиды и фенолокислоты. В образцах плодов сорта «Оранжевая» фенольных соединений было больше, чем в сорте Великан на 13%, но меньше по сравнение с сортом Витаминная на 14,5%. И хотя флавоноидов в этих плодах было меньше всего, но фенолокислот больше, чем в сорте «Великан». По общему содержанию фенольных соединений плоды облепихи северо-запада РФ приближаются к европейским сортам облепихи, но превышают значения, полученные в алтайских сортообразцах облепихи, возможно, из-за исследования плодов на поздних сроках созревания [7, 8, 10]. Доля флавоноидов в составе фенольных соединений составляет от 35 до 49%, а фенольных кислот – 17–21%.



Общий сахар, г/100 г.
Total sugars, g 100 g^{-1}

Титруемые кислоты, %
Titratable acids, %

Сахаро-кислотный индекс
Sugar acid index

Рисунок 1. Содержание и соотношение общих сахаров и титруемых кислот в различных ботанических сортах плодов облепихи

Figure 1. Content and ratio of total sugars and titratable acids in various botanical varieties of sea buckthorn fruits

Таблица 1.
Содержание индивидуальных антиоксидантов в различных ботанических сортах плодов облепихи, мг/100 г

Table 1.
Content of individual antioxidants in various botanical varieties of sea buckthorn

Антиоксиданты Antioxidants	Плоды облепихи крушиновидной сортов Sea buckthorn fruits of varieties		
	Оранжевая Orange	Витаминная Vitamin	Великан Velikan
Фенольные соединения Total fenolic content	680 ± 20	795 ± 22	600 ± 21
Флавоноиды Total flavonoids	265 ± 5	346 ± 2	291 ± 2
Фенольные кислоты Total phenolic acids	145 ± 6	170 ± 4	105 ± 5
Витамин С Vitamin C	297,0 ± 5,9	136,0 ± 4,1	82,0 ± 2,5
Витамин Е Vitamin E	8,3 ± 0,3	8,0 ± 0,3	6,9 ± 0,3
Сумма каротиноидов Carotenoid content	12,5 ± 0,2	14,9 ± 0,2	10,7 ± 0,2

Наибольшие отличия у исследуемых образцов облепихи были установлены в содержании витамина С: Оранжевая> Витаминная> Великан (таблица 1). Разница между максимальным и минимальным значениями составила 262%. По данным [1, 21] у плодов облепихи, произрастающих в России, содержание витамина С может колебаться от 80 до 280 мг/100 г. с уменьшением его содержания в плодах полной степени зрелости. Сорт «Оранжевая» по содержанию витамина С был приближен для плодов этого сорта, произрастающих в Красноярском крае, который был лидером среди нескольких изученных сортов [21]. Содержание витамина С в плодах облепихи может быть еще больше и доходить до 350 мг/100 г., что было установлено у четырех сортов облепихи из девяти изученных в Чехии [7].

Содержание витамина Е в исследуемых образцах плодов облепихи отличалось в меньшей степени, но наименьшие значения были у плодов сорта «Великан». Сорта «Оранжевая» и «Витаминная» не имели статистически значимых отклонений. Можно сказать, что исследуемые плоды имели среднее содержание витамина Е, так как по данным [7] содержание витамина Е у девяти сортов плодов облепихи колеблется от 6,98 до 29,91 мг/100г. У сорта облепихи «Иня» из Алтайского края содержание витамина Е всего лишь 5,2 мг/100г, а у сорта «Новость Алтая» – 2,87 мг/100г [13, 21].

Незначительные отличия между сортами облепихи были установлены в содержании каротиноидов. Они преобладали в сорте «Витаминная», где их количество составило 14,9 мг/100г. В сорте «Оранжевая» их было меньше на 18%, но больше на 14,4%, чем в сорте «Великан». Похожие результаты были получены в содержании каротиноидов при исследовании четырех сортов плодов облепихи, произрастающих в Румынии, и четырех сортов, произрастающих в Польше [9, 14]. В целом содержание каротиноидов в исследованных образцах не очень высокое, но количество каротиноидов уменьшается с достижением полной зрелости плодов. В Алтайской облепихе с середины августа до середины сентября содержание каротиноидов может снизиться на 25% [1]. Некоторые сорта облепихи в Китае и Пакистане могут содержать до 800 мг/100г каротиноидов [12].

Комплекс антиоксидантов плодов облепихи сформировал их антиоксидантные свойства, которые были изучены разными методами (таблица 2). FRAP тест охарактеризовал антиоксидантную активность различных ботанических сортов облепихи как ряд: Витаминная > Оранжевая > Великан, что повторило ряд фенольных антиоксидантов. DPPH тест, характеризующий антирадикальную активность, выстроил другой ряд: Оранжевая > Витаминная > Великан, повторяющий ряд витамина С в зависимости от ботанических сортов. Полученные значения DPPH были приближены к данным, полученных другими авторами, которые колебались в зависимости от сортов облепихи от 8,73–42,25 мг/г СВ [9, 11]. Сильную зависимость антиоксидантной активности от содержания витамина С установили в различных сортах облепихи, произрастающей в Китае [6]. При этом авторы не установили влияния содержания жирорастворимых антиоксидантов (каротиноидов и витамина Е) на антиоксидантные свойства из-за изменчивости их содержания в процессе созревания плодов.

При использовании кулонометрического титрования спиртовые фракции имели более высокие значения антиоксидантной активности, связанной с переходом агликонов флавоноидов. Наибольшие отличия были зафиксированы в плодах сорта «Оранжевая»: антиоксидантная активность спиртовых фракций была выше в 1,7 раза, чем водных фракций. Причем между сортами «Оранжевая» и «Витаминная» статистически значимых различий антиоксидантной активности спиртовых фракций не установлено.

Таблица 2.

Антиоксидантная активность различных ботанических сортов плодов облепихи

Table 2.

Antioxidant activity of various botanical varieties of sea buckthorn fruits

Плоды облепихи Sea buckthorn	Антиоксидантная активность, мг аскорбиновой кислоты/г сухих веществ Antioxidant activity, mg ascorbic acid/g dry matter		Кулонометрическое титрование, мг рутина/г сухих веществ Coulometric titration, mg rutin/g dry matter	
	FRAP	DPPH	водные фракции aqueous fractions	спиртовые фракции alcohol fractions
Оранжевая | Orange	6,15 ± 0,25	11,20 ± 0,40	17,74 ± 0,25	29,85 ± 1,20
Витаминная | Vitamin	6,90 ± 0,22	9,52 ± 0,40	17,48 ± 0,20	27,64 ± 1,10
Великан | Giant	4,85 ± 0,22	6,35 ± 0,30	16,87 ± 0,20	21,76 ± 1,00

Заключение

Плоды облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides L.*), произрастающей в Ленинградской области, содержат комплекс водо- и жирорастворимых антиоксидантов, приближенный по составу к плодам, произрастающим в Европе. В зависимости от ботанических сортов плоды могут содержать, мг/100г: фенольные соединения – 600–795; флавоноиды – 265–346; фенолокислоты – 105–170; витамин С – 82–297; витамин Е – 6,9–8,3; каротиноиды – 10,7–14,9. Антиоксидантная активность плодов облепихи зависит, в первую очередь, от количества витамина С и антиоксидантов фенольного типа. На значения FRAP теста оказывают влияние антиоксиданты фенольного типа, формируя ряд сортов облепихи: Витаминная> Оранжевая> Великан. На значения DPPH теста оказывает влияние содержание витамина С, формируя ряд сортов облепихи: Оранжевая> Витаминная> Великан. Антиоксидантная активность спиртовых фракций выше, чем водных в 1,3–1,7 раза в зависимости от ботанического сорта плодов облепихи.

Литература

1 Земцова А.Я., Зубарев Ю.А., Гунин А.В. Оценка сортообразцов облепихи разного экологогеографического происхождения по биохимическому составу плодов // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 9. С. 48–52.

2 Burri S.C.M., Ekholm A., Håkansson Å., Tornberg E. et al. Antioxidant capacity and major phenol compounds of horticultural plant materials not usually used // Journal of Functional Foods. 2017. № 38. P. 119–127. doi: 10.1016/j.jff.2017.09.003

3 Ciesarova Z., Murkovic M., Cejpek K., Kreps F. et al. Why is sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) so exceptional? A review // Food Research International. 2020. № 133. 109170 doi: 10.1016/j.foodres.2020.109170.

4 Brno A.V. Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides L.*) as a potential source of nutraceutics and its therapeutic possibilities – A review // ACTA VET. BRNO. 2015. № 84. P. 257–268. doi: 10.2754/avb201584030257

5 Eccleston C., Baoru Y., Tahvonen R., Kallio H. et al. Effects of an antioxidant-rich juice (sea buckthorn) on risk factors for coronary heart disease in humans // J. Nutr. Biochem. 2002. № 13 (6). P. 346–354. doi: 10.1016/s0955–2863(02)00179–1

6 Guo R., Guo X., Li T., Fu X. et al. Comparative assessment of phytochemical profiles, antioxidant and antiproliferative activities of Sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides L.*) berries // Food Chemistry. 2017. № 221. P. 997–1003. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.11.063

7 Sytařova I., Orsavova Ja., Snopek L., Mlčeka J. et al. Impact of phenolic compounds and vitamins C and E on antioxidant activity of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) berries and leaves of diverse ripening times // Food Chemistry 2020. № 310. 125784. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125784

8 Skrovankova S., Sumczynski D., Mlcek J., Jurikova T. et al. Bioactive Compounds and Antioxidant Activity in Different Types of Berries // International Journal of Molecular Sciences. 2015. № 16. P. 24673–24706. doi:10.3390/ijms161024673

9 Criste A., Urcan A.C., Bunea A., Furtuna F.R.P. et al. Phytochemical Composition and Biological Activity of Berries and Leaves from Four Romanian Sea Buckthorn (*Hippophae Rhamnoides L.*) Varieties // Molecules. 2020. № 25. P. 1170–1192. doi:10.3390/molecules25051170

10 Земцова А.Я., Зубарев Ю.А., гунин А.В., Мерзель Й.Т. Общее содержание фенольных веществ в плодах сортообразцов облепихи (*Hippophaë rhamnoides* L.) различного эколого-географического происхождения // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2016. № 15. С. 478–479.

11 Dienaitˇe L., Pukalskas A., Pukalskienˇe M., Pereira C.V. et al. Phytochemical Composition, Antioxidant and Antiproliferative Activities of Defatted Sea Buckthorn (*Hippophaë rhamnoides L.*) Berry Pomace Fractions Consecutively Recovered by Pressurized Ethanol and Water // Antioxidants. 2020. V. 9. P. 274–296. doi:10.3390/antiox9040274

12 Bal L.M., Meda V., Naik S.N., Satya S. Sea buckthorn berries: A potential source of valuable nutrients for nutraceuticals and cosmoceuticals // Food Research International. 2011. № 44. P. 1718–1727. doi:10.1016/j.foodres.2011.03.002

13 Земцова А.Я., Зубарев Ю.А., гунин А.В. Токоферолы плодовой мякоти четырех подвидов облепихи (*Hippophaë rhamnoides* L.) в условиях лесостепи Алтайского края // Химия растительного сырья. 2019. № 1. С. 147–155. doi: 10.14258/jcprm.2019014256

14 Kruczek M., Świderski A., Mech-Nowak A., Krol K. Antioxidant capacity of crude extracts containing carotenoids from the berries of various cultivars of Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) // Acta Biochimica Polonika. 2012. № 59 (1). P.135–137.

15 Курегян А.Г., Печинский С.В., Карандеева Е.А. Сравнительный анализ каротиноидов облепихового масла методом тонкослойной хроматографии // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2–2. С. 507–513.

16 Nilova L., Malyutenkova S. The possibility of using powdered sea-buckthorn in the development of bakery products with antioxidant properties // Agronomy Research. 2018. № 16 (S2). P. 1444–1456. doi: 10.15159/AR.18.055.

17 Tkacz K., Wojdyło A., Turkiewicz I.P., Nowicka P. Anti-diabetic, anti-cholinesterase, and antioxidant potential, chemical composition and sensory evaluation of novel sea buckthorn-based smoothies // Food Chemistry. 2021. № 338. 128105. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128105

18 Mosanu A.G., Sturza R., Opris O., Lung I. et al. Effect of lipophilic sea buckthorn extract on cream cheese properties // J Food Sci Technol., 2020. № 57 (2). P. 628–637. doi: 10.1007/s13197–019–04094-w

19 Рогожин В.В., Рогожина Т.В. Практикум по биохимии сельскохозяйственной продукции. СПб: ГИОРД, 2016. 480 с.

20 Абрамова Я.И., Калинкина Г.И., Чучалин В.С. Разработка методики количественного определения фенольных соединений в желчегонном сборе № 2 // Химия растительного сырья. 2011. № 4. С. 265–268.

21 Гуленкова Г.С. Особенности биохимического состава плодов облепихи // Вестник КрасГАУ. 2013. № 11. С. 262–265.

References

1 Zemtsova A.Ya., Zubarev Yu.A., Gunin A.V. Assessment of sea buckthorn cultivars of different ecological and geographic origin according to the biochemical composition of fruits. Achievements of Science and Technology. 2016. vol. 30. no 9. pp. 48–52. (in Russian).

2 Burri S.C.M., Ekholm A., Håkansson Å., Tornberg E. et al. Antioxidant capacity and major phenol compounds of horticultural plant materials not usually used. Journal of Functional Foods. 2017. no. 38. pp. 119–127. doi: 10.1016/j.jff.2017.09.003

3 Ciesarova Z., Murkovic M., Cejpek K., Kreps F. et al. Why is sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) so exceptional? A review. Food Research International. 2020. no. 133. 109170. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109170

4 Brno A.V. Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides L.*) as a potential source of nutraceutics and its therapeutic possibilities – A review. ACTA VET. BRNO. 2015. no. 84. pp. 257–268. doi: 10.2754/avb201584030257

5 Eccleston C., Baoru Y., Tahvonen R., Kallio H. et al. Effects of an antioxidant-rich juice (sea buckthorn) on risk factors for coronary heart disease in humans. J. Nutr. Biochem. 2002. vol. 13. no. 6. pp. 346–354. doi: 10.1016/s0955–2863(02)00179–1

6 Guo R., Guo X., Li T., Fu X. et al. Comparative assessment of phytochemical profiles, antioxidant and antiproliferative activities of Sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides L.*) berries. Food Chemistry. 2017. no. 221. pp. 997–1003. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.11.063

7 Sytařova I., Orsavova Ja., Snopek L., Mlčeka J. et al. Impact of phenolic compounds and vitamins C and E on antioxidant activity of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) berries and leaves of diverse ripening times. Food Chemistry. 2020. no. 310. 125784. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125784

8 Skrovankova S., Sumczynski D., Mlcek J., Jurikova T. et al. Bioactive Compounds and Antioxidant Activity in Different Types of Berries. International Journal of Molecular Sciences. 2015. no. 16. pp. 24673–24706. doi:10.3390/ijms161024673.

9 Criste A., Urcan A.C., Bunea A., Furtuna F.R.P. et al. Phytochemical Composition and Biological Activity of Berries and Leaves from Four Romanian Sea Buckthorn (*Hippophae Rhamnoides L.*) Varieties. Molecules. 2020. no. 25. pp. 1170–1192. doi:10.3390/molecules25051170

10 Zemtsova A.Ya., Zubarev Yu.A., Gunin A.V., Merzel J.T. The total content of phenolic substances in the fruits of sea buckthorn varieties (*Hippophaë rhamnoides L.*) of various ecological and geographical origin. Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia. 2016. no. 15. pp. 478–479. (in Russian).

11 Dienaitė L., Pukalskas A., Pukalskienė M., Pereira C.V. et al. Phytochemical Composition, Antioxidant and Antiproliferative Activities of Defatted Sea Buckthorn (*Hippophaë rhamnoides L.*) Berry Pomace Fractions Consecutively Recovered by Pressurized Ethanol and Water. Antioxidants 2020. no. 9. pp. 274–296. doi:10.3390/antiox9040274

12 Bal L.M., Meda V., Naik S.N., Satya S. Sea buckthorn berries: A potential source of valuable nutrients for nutraceuticals and cosmoceuticals. Food Research International. 2011. no 44. pp. 1718–1727. doi:10.1016/j.foodres.2011.03.002

13 Zemtsova A.Ya., Zubarev Yu.A., Gunin A.V. Tocopherols of fruit pulp of four subspecies of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides L.*) in the forest-steppe conditions of the Altai Territory. Chemistry of plant raw materials. 2019. no. 1. pp. 147–155. doi: 10.14258/jcprm.2019014256. (in Russian).

14 Kruczek M., Świderski A., Mech-Nowak A., Krol K. Antioxidant capacity of crude extracts containing carotenoids from the berries of various cultivars of Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.). Acta Biochimica Polonika. 2012. vol. 59. no. 1. pp. 135–137.

15 Kuregyan A.G., Pechinsky S.V., Karandeeva E.A. Comparative analysis of sea buckthorn oil carotenoids by thin layer chromatography. Modern problems of science and education. 2015. no. 2–2. pp. 507–513. (in Russian).

16 Nilova L., Malyutenkova S. The possibility of using powdered sea-buckthorn in the development of bakery products with antioxidant properties. Agronomy Research. 2018. vol. 16. no. S2. pp. 1444–1456. doi: 10.15159/AR.18.055

17 Tkacz K., Wojdyło A., Turkiewicz I.P., Nowicka P. Anti-diabetic, anti-cholinesterase, and antioxidant potential, chemical composition and sensory evaluation of novel sea buckthorn-based smoothies. Food Chemistry. 2021. no. 338. 128105. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128105

18 Mosanu A.G., Sturza R., Opris O., Lung I. et al. Effect of lipophilic sea buckthorn extract on cream cheese properties. J Food Sci Technol. 2020. no. 57 (2). pp. 628–637. doi: 10.1007/s13197–019–04094-w

19 Rogozhin V.V., Rogozhina T.V. Workshop on biochemistry of agricultural products. SPb, GIORD, 2016. 480 p. (in Russian).

20 Abramova Ya.I., Kalinkina G.I., Chuchalin V.S. Development of a method for the quantitative determination of phenolic compounds in the cholagogue collection. Chemistry of plant raw materials. 2011. no. 4. pp. 265–268. (in Russian).

21 Gulenkova G.S. Features of the biochemical composition of sea buckthorn fruits. Bulletin of KrasGAU. 2013. no. 11. pp. 262–265. (in Russian).

Сведения об авторах

Людмила П. Нилова к.т.н., доцент, Высшая школа сервиса и торговли, Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, 29, г. Санкт-Петербург, 195251, Россия, nilova_l_p@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5154-7095

Светлана М. Малютенкова к.т.н., доцент, Высшая школа сервиса и торговли, Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, 29, г. Санкт-Петербург, 195251, Россия, malutesha66@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8081-6688

Information about authors

Liudmila P. Nilova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, graduate school of service and trade, institute of industrial management, economics and trade, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nilova_l_p@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5154-7095

Svetlana M. Malyutenkova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, graduate school of service and trade, institute of industrial management, economics and trade, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Politechnicheskaya St., 29, Saint-Petersburg, 195251, Russia, malutesha66@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8081-6688

Вклад авторов

Людмила П. Нилова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Светлана М. Малютенкова предложила методику проведения эксперимента

Contribution

Liudmila P. Nilova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Svetlana M. Malyutenkova proposed a scheme of the experiment

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/01/2021	После редакции 12/02/2021	Принята в печать 04/03/2021

Received 11/01/2021	Accepted in revised 12/02/2021	Accepted 04/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-115-120 Оригинальная статья/Research article
УДК 579.66 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Разработка стратегии индукции AOX1 промотора при культивировании метилотрофных дрожжей *Komagataella phaffii*

Денис С. Бытяк [1] bytyak.denis@mail.ru 0000-0002-4281-2758
Ольга С. Корнеева [1] korneeva-olgas@ya.ru 0000-0002-2863-0771
Екатерина А. Мотина [1] emotina18@mail.ru 0000-0002-3433-2754

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. В настоящее время наблюдается значительное повышение интереса к промышленному производству ферментных препаратов (и других рекомбинантных белков) при помощи различных микроорганизмов, в том числе метилотрофных дрожжей, таких как Komagataellaphaffii. При этом наиболее значимая продуктивность целевых белков достигается при метанольной индукции гетерологичных генов, клонированных под контролем AOX1 промотора. Таким образом эффективность биосинтеза во многом определяется метаболизмом метанола. В связи с чем целью работы является разработка оптимальной стратегии метанольной индукции AOX1 промотора Komagataella phaffii.Объектом исследования является культура рекомбинантного штамма-продуцента фосфолипазы А2 Komagataellaphaffii. Исследования проводились в лабораторном ферментере InforsMinifors (Швейцария) на жидкой питательной среде BSM (BasalSaltMedium). В работе применяли общепринятые методы исследований характеристик метаболической активности, в том числе расчета удельных характеристик и продуктивности штамма. Результатом исследования является определение удельной скорости потребления метанола, используемого в качестве источника углерода, которая составила 19,2±1,8 мг/г*ч. Также в ходе выполнения работы определена удельная скорость роста Komagataella phaffii и составила 0,24 $ч^{-1}$. На основании данных, полученных в ходе исследований разработана стратегия индукции AOX1 промотора при культивировании метилотрофных дрожжей Komagataellaphaffii, путем поддержания концентрации метанола в диапазоне от 0,6 до 2 % на основании концентрации растворенного кислорода в среде. Разработанная стратегия индукции AOX1 промотора позволила обеспечить получение не менее 1,87 г/л рекомбинантного белка (фосфолипаза А2) при культивировании Komagataella phaffii на протяжении 96 ч, что в 3,7 раз превосходит известные результаты.

Ключевые слова: Komagataella phaffii, фосфолипаза А2, Streptomyces violaceoruber, генная инженерия, биотехнология ферментов, экспрессия, AOX промотор

Development of a strategy induction AOX1 promoter methylotrophic yeast *Komagataella phaffii*

Denis S. Bytyak [1] bytyak.denis@mail.ru 0000-0002-4281-2758
Olga S. Korneeva [1] korneeva-olgas@ya.ru 0000-0002-2863-0771
Ekaterina A. Motina [1] emotina18@mail.ru 0000-0002-3433-2754

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Currently, there is a significant increase in interest in the industrial production of enzyme preparations (and other recombinant proteins) using various microorganisms, including methylotrophic yeasts such as Komagataella phaffii. At the same time, the most significant productivity of the target proteins is achieved by methanol induction of heterologous genes cloned under the control of the AOX1 promoter. Thus, the efficiency of biosynthesis is largely determined by the metabolism of methanol. In this connection, the aim of the work is to develop an optimal strategy for methanol induction of the AOX1 promoter of Komagataella phaffii. The object of the study is the culture of the recombinant phospholipase A2 producing strain Komagataella phaffii. The studies were carried out in a laboratory fermenter Infors Minifors (Switzerland) on a liquid nutrient medium BSM (Basal Salt Medium) We used the generally accepted methods of studying the characteristics of metabolic activity, including the calculation of specific characteristics and productivity of the strain. The result of the study is the determination of the specific rate of consumption of methanol used as a carbon source, which was 19.2±1.8 mg/g*h. Also, the specific growth rate of Komagataella phaffii was determined and amounted to 0.24 h-1.Based on the data obtained during the research, a strategy for the induction of the AOX1 promoter in the cultivation of the methylotrophic yeast Komagataella phaffii was developed by maintaining the methanol concentration in the range of 0.6 to 2% based on the concentration of dissolved oxygen in the medium. The developed strategy of induction of the AOX1 promoter made it possible to obtain at least 1.87 g / l of recombinant protein (phospholipase A2) during cultivation of Komagataella phaffii for 96 h, which is 3.7 times higher than the known results.

Keywords: Komagataella phaffii, phospholipase A2, Streptomyces violaceoruber, genetic engineering, enzyme biotechnology, expression, AOX promoter

Для цитирования
Бытяк Д.С., Корнеева О.С., Мотина Е.А. Разработка стратегии индукции AOX1 промотора при культивировании метилотрофных дрожжей *Komagataella phaffii* //Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 115–120. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-115-120

For citation
Bytyak D.S., Korneeva O.S., Motina E.A. Development of a strategy induction AOX1 promoter methylotrophic yeast *Komagataella phaffii*. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 115–120. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-115-120

© 2021, Бытяк Д.С. и др. / Bytyak D.S. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Дрожжевые системы экспрессии, в том числе *Komagataellaphaffii* способны к эффективной секреции рекомбинантных белков непосредственно в культуральную жидкость, что значительно облегчает последующие стадии очистки целевых белков от сопутствующих примесей и вторичных метаболитов [1, 7, 15].

Наибольший уровень секреции рекомбинантных белков при культивировании *Komagataellaphaffii*, до 30% от тотальной фракции белка достигается при метанольной индукции гетерологичных генов, клонированных под контролем AOX1 промотора, однако точный механизм регуляции промотора AOX1 до сих пор не изучен [2, 5, 8].

Важно отметить, что AOX1 промотор репрессируется в присутствии глюкозы или глицерина, что позволяет разделить процесс культивирования на стадию набора биомассы (при наличии в среде репрессирующего источника углерода) и стадию синтеза целевого белка (при наличии в среде метанола) [3, 6, 11, 19].

Цель работы – разработка оптимальной стратегии метанольной индукции AOX1 промотора *Komagataellaphaffii*.

Результаты и обсуждение

В ходе выполнения настоящей работы исследована скорость роста биомассы и потребления глицерина, при культивировании *Komagataella phaffii* в лабораторном ферментере Infors Minifors (*Швейцария*) на жидкой питательной среде *BSM (Basal Salt Medium)* при следующих параметрах: температура 30 ± 0,1 ºС; pH 6 ± 0,2; скорость вращения мешалки 900 ± 10 об/мин; скорость подачи воздуха 1,7 ± 0,05 л/л/мин; давление 0,05 ± 0,01 МПа.

В процессе культивирования обеспечивалось поддержание концентрации глицерина в диапазоне от 0,5 до 2%, за счет периодического внесения подпиточного раствора, содержащего глицерин и микроэлементы РТМ. Избыток источника углерода обеспечивает длительную Log-фазу, характеризующуюся линейной скоростью роста биомассы [4, 9, 10]. В результате чего была определена удельная скорость роста *Komagataella phaffii* и составила 0,24 $ч^{-1}$.

Расчет удельной скорости роста *Komagataella phaffii* проводился по формуле:

$$\mu = \frac{X_1 - X_0}{X_0 (t_1 - t_0)}$$

где μ – удельная скорость роста, $ч^{-1}$; X_0 – начальная концентрация биомассы, г/л; X_1 – конечная концентрация биомассы, г/л; t_0 – начальный момент времени, ч; t_1 – конечный момент времени, ч.

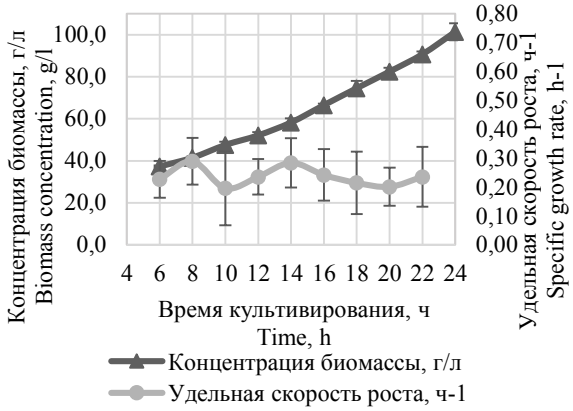


Рисунок 1. Удельная скорость *Komagataella phaffii*

Figure 1. Specific growth rate *Komagataella phaffii*

Также проведен расчет удельной скорости потребления глицерина, которая составила 36,99 мг/г×ч. Однако важно учитывать, что скорость потребления глицерина может варьироваться в достаточно широком диапазоне. Рассчитанный показатель устанавливает максимальную скорость потребления глицерина. При этом потенциал роста биомассы ограничивается не исчерпанием питательных веществ, а недостатком растворенного кислорода, при достижении концентрации биомассы более 300 г./л (в пересчете на влажную биомассу). Недостаток кислорода объясняется спецификой массообменных характеристик в заданных условиях ведения процесса [12, 20].

Исследование влияния массовой доли метанола на жизнедеятельность *Komagataella phaffii* проведено путем культивирования штамма на среде BSM в колбах, с градиентной концентрацией метанола, в диапазоне от 0,2% до 3,6% с шагом 0,2%. Установлено, что при накоплении метанола в культуральной среде более 2% наблюдается значительное снижение скорости роста культуры, что наглядно отражено на рисунке 2.

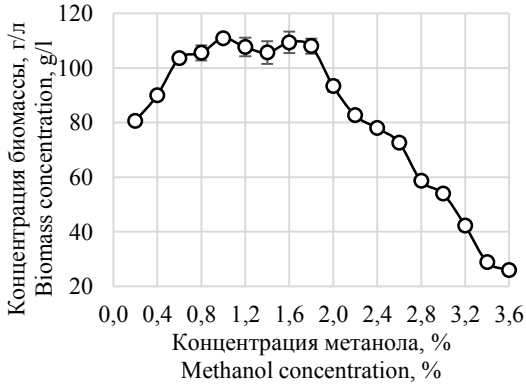


Рисунок 2. Влияние концентрации метанола на прирост биомассы *Komagataella phaffii*

Figure2. Effect of methanol concentration on *Komagataella phaffii* biomass growth

Полученные данные также свидетельствуют о том, что при концентрации метанола менее 0,6% наблюдается снижение скорости прироста биомассы, что вероятно, связано с лимитирующим количеством метанола в среде, в связи с чем особенно важно поддерживать оптимальную концентрацию метанола. Для поддержания оптимальной концентрации метанола был проведен расчет потребления метанола *Komagataella phaffii* при культивировании в лабораторном ферментере Infors Minifors (*Швейцария*), полученные результаты отражены на рисунке 3.

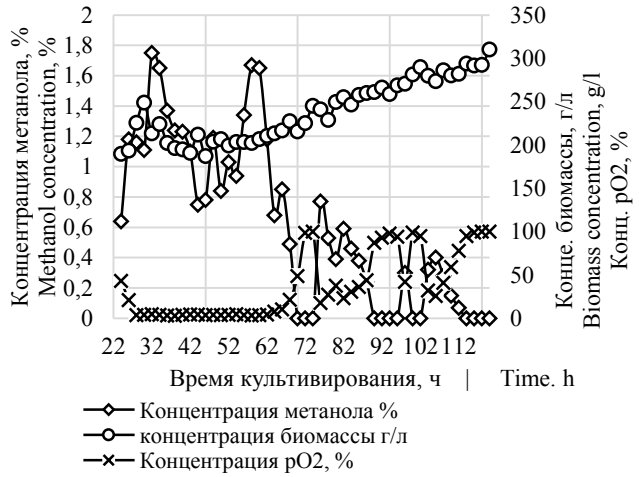


Рисунок3. Динамика потребления метанола

Figure 3. Dynamics of methanol consumption

Полученные данные свидетельствуют о том, что скорость потребления метанола в процессе культивирования варьируется в зависимости от физиологического состояния культуры, наличия или отсутствия определенных компонентов среды и накопления целевого продукта в диапазоне от 0 до 11,256 мкл/ч/г [13, 18].

Расчет скорости потребления метанола *Komagataellaphaffii* проводился по формуле:

$$\mu M = \frac{S_x - S_0 * 10}{C * t} \times 1000 .$$

где μM – скорость потребления метанола, мкл/ч/г; S_0 – начальная концентрация метанола, %; Sx – конечная концентрация метанола, %; 10 – коэффициент пересчета% в мл/л; C – средняя концентрация биомассы, г/л; t – время исследования, ч; 1000 – коэффициент пересчета в мкл/г.

При этом из рисунка 3 видна прямая зависимость между массовой долей метанола в среде и концентрацией растворенного кислорода, pO2, в следствии чего в ПО Irisstandart была разработана рецептура внесения метанола на основании показаний датчика pO2, в соответствии с которой при достижении концентрации растворенного кислорода в среде 20% и менее активировался перистальтический насос со скоростью не менее 3 мл/ч на литр среды, до момента достижения концентрации pO2 80%, но не более 20 мл/ч. Полученные данные представлены на рисунке 4.

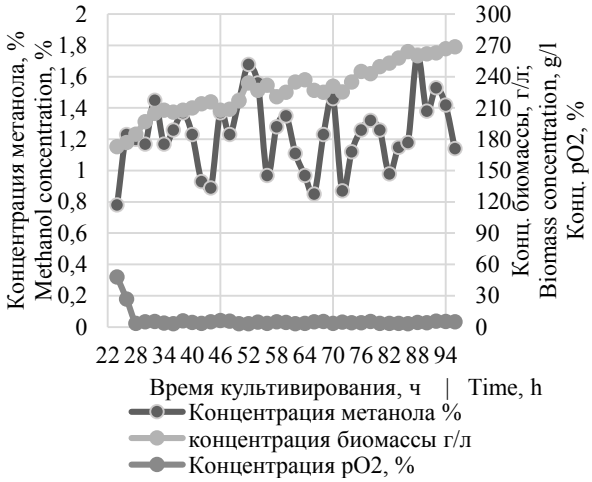


Рисунок 4. Апробация стратегии внесения метанола

Figure 4. Testing the methanol application strategy

Также в ходе выполнения настоящей работы проведено исследование зависимости эффективности синтеза целевого белка от концентрации биомассы на момент начала индукции. Исследование проводилось в диапазоне начальных концентраций биомассы от 100 до 300 г./л. В ходе выполнения работы установлено, что оптимальной концентрацией биомассы на момент начала внесения индуктора является 150 ± 10 г./л [14, 16, 17]. Полученные данные представлены в таблице № 1.

Таблица 1.

Концентрации биомассы на момент начала индукции

Table 1.

Biomass concentrations at the start of induction

Концентрация биомассы, г/л Biomass concentration, g/l	Концентрация целевого белка, г/л Target protein concentration, g / l	Концентрация биомассы, г/л Biomass concentration, g/l	Концентрация целевого белка, г/л Target protein concentration, g / l
101,7	0,96	201	1,03
120,4	1,23	221,4	0,86
142	**1,74**	243	0,53
160,6	**1,85**	262,3	0,32
179,7	1,37	278,9	0,18
300,3	0,13		

Концентрация биомассы на момент начала индукции более 160,6 г/л приводит к снижению времени индукции за счет более быстрого достижения состояния дефицита кислорода и отмирания биомассы, что сокращает длительность стадии индукции и как следствие приводит к снижению выхода целевого белка. При концентрации биомассы на момент начала индукции менее 142 г./л также наблюдается снижение выхода целевого белка, что наиболее вероятно связано с неэффективным использованием компонентов питательной среды ввиду недостаточности концентрации биомассы, а также увеличением общего времени видения процесса, что также приводит к повышению отмирания биомассы и дополнительным механическим повреждениям.

На основании полученных данных и ранее полученных значениях удельной скорости потребления метанола (19,2 ± 1,8 мг/г×ч), получена формула расчета требуемого количества метанола:

$$M = \frac{X_0 q_m}{1000 V k_t} \quad (1)$$

где X_0 – начальная концентрация биомассы, г/л; q_m – удельная скорость потребления метанола, мг/ г×ч; V – рабочий объем питательной среды в ферментере, л; k_t – периодичность внесения индукционного раствора, ч-1; 1000 – перевод в г/г×ч.

Важно отметить, что индукция AOX1 промотора и как следствие синтез целевого белка начинается только после исчерпания в среде глицерина. При этом перестройка метаболизма с глицерина на метанол занимает ориентировочно 4 часа [7, 12].

Заключение

В результате выполнения настоящей работы разработана стратегия индукции AOX1 промотора при культивировании метилотрофных дрожжей *Komagataella phaffii*, путем поддержания концентрации метанола в диапазоне от 0,6 до 2% на основании концентрации растворенного кислорода в среде.

Разработанная стратегия индукции AOX1 промотора позволила обеспечить получение не менее 1,87 г./л рекомбинантного белка (фосфолипаза А2) при культивировании *Komagataella phaffii* на протяжении 96 ч, что в 3,7 раз превосходит результаты, полученные при ведении процесса в соответствии с руководством «Pichia Fermentation Process Guidelines» от Invitrogen.

Литература

1 Zavec D., Troyer C., Maresch D., Altmann F. et al. Beyond alcohol oxidase: the methylotrophic yeast Komagataella phaffii utilizes methanol also with its native alcohol dehydrogenase Adh2 // FEMS yeast research. 2021. V. 21. №. 2. P. foab009. doi: 10.1093/femsyr/foab009

2 Vogl T., Fischer J.E., Hyden P., Wasmayer R. et al. Orthologous promoters from related methylotrophic yeasts surpass expression of endogenous promoters of Pichia pastoris // AMB Express. 2020. V. 10. №. 1. P. 1-9. doi: 10.1186/s13568-020-00972-1

3 Weninger A., Hatzl, A.M., Schmid C., Vogl T. et al. Combinatorial optimization of CRISPR/Cas9 expression enables precision genome engineering in the methylotrophic yeast Pichia pastoris // Journal of biotechnology. 2016. V. 235. P. 139-149. doi: 10.1016/j.jbiotec.2016.03.027

4 Ohsawa S., Nishida S., Oku M., Sakai Y. et al. Ethanol represses the expression of methanol-inducible genes via acetyl-CoA synthesis in the yeast Komagataella phaffii // Scientific reports. 2018. V. 8. №. 1. P 1-11. doi: 10.1038/s41598-018-36732-2

5 García-Ortega X., Cámara E., Ferrer P., Albiol J. et al. Rational development of bioprocess engineering strategies for recombinant protein production in Pichia pastoris (Komagataella phaffii) using the methanol-free GAP promoter. Where do we stand? // New biotechnology. 2019. V. 53. P. 24-34. doi: 10.1016/j.nbt.2019.06.002

6 Ivanova A.V., Sidorin A.V., Sambuk E.V., Rumyantsev A.M. et al. The analysis of the polyamine oxidase genes in the methylotrophic yeast Komagataella phaffii // Ecological genetics. 2019. V. 17. №. 4. P. 47-55. doi: 10.17816/ecogen17447-55

7 Dalvie N.C., Leal J., Whittaker C.A., Yang Y. et al. Host-informed expression of CRISPR guide RNA for genomic engineering in Komagataella phaffii // ACS synthetic biology. 2019. V. 9. №. 1. P. 26-35. doi.: 10.1021/acssynbio.9b00372

8 Barrero J.J., Casler J.C., Valero F., Ferrer P. et al. An improved secretion signal enhances the secretion of model proteins from Pichia pastoris // Microbial cell factories. 2018. V. 17. №. 1. P. 1-13. doi: 10.1186/s12934-018-1009-5

9 Cámara E., Landes N., Albiol J., Gasser B. et al. Increased dosage of AOX1 promoter-regulated expression cassettes leads to transcription attenuation of the methanol metabolism in Pichia pastoris // Scientific reports. 2017. V. 7. №. 1. P. 1-16. doi: 10.1038/srep44302

10 Jordà J., Jouhten P., Cámara E., Maaheimo H. et al. Metabolic flux profiling of recombinant protein secreting Pichia pastoris growing on glucose: methanol mixtures // Microbial cell factories. 2012. V. 11. №. 1. P. 1-14. doi: 10.1186/1475-2859-11-57

11 Rußmayer H., Buchetics M., Gruber C., Valli M. et al. Systems-level organization of yeast methylotrophic lifestyle // BMC biology. 2015. V. 13. №. 1. P. 1-25. doi: 10.1186/s12915-015-0186-5

12 Murakami M., Taketomi Y., Sato H., Yamamoto K. Secreted phospholipase A2 revisited // The Journal of Biochemistry. 2011. V. 150. №. 3. P. 233-255. doi: 10.1093/jb/mvr088

13 Murakami M., Sato H., Miki Y., Yamamoto K. et al. A new era of secreted phospholipase A2 // Journal of lipid research. 2015. V. 56. №. 7. P. 1248-1261. doi: 10.1194/jlr.R058123

14 Seresht A.K., Norgaard P., Palmqvist E.A., Andersen A.S. et al. Modulating heterologous protein production in yeast: the applicability of truncated auxotrophic markers // Applied microbiology and biotechnology. 2013. V. 97. №. 9. P. 3939-3948. doi: 10.1007/s00253-012-4263-1

15 Rosenson R.S., Hurt-Camejo E. Phospholipase A2 enzymes and the risk of atherosclerosis // European heart journal. 2012. V. 33. №. 23. P. 2899-2909. doi: 10.1093/eurheartj/ehs148

16 Idiris A., Tohda H., Kumagai H., Takegawa K. Engineering of protein secretion in yeast: strategies and impact on protein production // Applied microbiology and biotechnology. 2010. V. 86. №. 2. P. 403-417. doi: 10.1007/s00253-010-2447-0

17 Wang J., Wang X., Shi L., Qi F. et al. Methanol-independent protein expression by AOX1 promoter with trans-acting elements engineering and glucose-glycerol-shift induction in Pichia pastoris // Scientific reports. 2017. V. 7. №. 1. P. 1-12. doi: 10.1038/srep41850

18 Самойлова Ю.В., Тулупов А.А., Сорокина К.Н. Современные подходы к разработке новых ферментов липаз и продуцентов на их основе // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Биология, клиническая медицина. 2014. Т. 12. № 4.

19 Корнеева О.С. Анненков В.А. Получение ферментного препарата липазы методом рекомбинантных ДНК // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2014. № 3.

20 Пат. № 2501014, RU, G01N 33/50, 33/48. Способ определения липолитической активности в субклеточных фракциях бактерий / Козлов С.Н., Марков Е.Ю., Николаев В.Б., Урбанович Л.Я. и др. №2012132418/15; Заявл. 15.08.2012; Опубл. 10.12.2013, Бюл. № 34.

References

1 Zavec D., Troyer C., Maresch D., Altmann F. et al. Beyond alcohol oxidase: the methylotrophic yeast Komagataella phaffii utilizes methanol also with its native alcohol dehydrogenase Adh2. FEMS yeast research. 2021. vol. 21. no. 2. pp. foab009. doi: 10.1093/femsyr/foab009

2 Vogl T., Fischer J.E., Hyden P., Wasmayer R. et al. Orthologous promoters from related methylotrophic yeasts surpass expression of endogenous promoters of Pichia pastoris. AMB Express. 2020. vol. 10. no. 1. pp. 1-9. doi: 10.1186/s13568-020-00972-1

3 Weninger A., Hatzl, A.M., Schmid C., Vogl T. et al. Combinatorial optimization of CRISPR/Cas9 expression enables precision genome engineering in the methylotrophic yeast Pichia pastoris. Journal of biotechnology. 2016. vol. 235. pp. 139-149. doi: 10.1016/j.jbiotec.2016.03.027

4 Ohsawa S., Nishida S., Oku M., Sakai Y. et al. Ethanol represses the expression of methanol-inducible genes via acetyl-CoA synthesis in the yeast Komagataella phaffii. Scientific reports. 2018. vol. 8. no. 1. pp. 1-11. doi: 10.1038/s41598-018-36732-2

5 García-Ortega X., Cámara E., Ferrer P., Albiol J. et al. Rational development of bioprocess engineering strategies for recombinant protein production in Pichia pastoris (Komagataella phaffii) using the methanol-free GAP promoter. Where do we stand? New biotechnology. 2019. vol. 53. pp. 24-34. doi: 10.1016/j.nbt.2019.06.002

6 Ivanova A.V., Sidorin A.V., Sambuk E.V., Rumyantsev A.M. et al. The analysis of the polyamine oxidase genes in the methylotrophic yeast Komagataella phaffii. Ecological genetics. 2019. vol. 17. no. 4. pp. 47-55. doi: 10.17816/ecogen17447-55

7 Dalvie N.C., Leal J., Whittaker C.A., Yang Y. et al. Host-informed expression of CRISPR guide RNA for genomic engineering in Komagataella phaffii. ACS synthetic biology. 2019. vol. 9. no. 1. pp. 26-35. doi.: 10.1021/acssynbio.9b00372

8 Barrero J.J., Casler J.C., Valero F., Ferrer P. et al. An improved secretion signal enhances the secretion of model proteins from Pichia pastoris. Microbial cell factories. 2018. vol. 17. no. 1. pp. 1-13. doi: 10.1186/s12934-018-1009-5

9 Cámara E., Landes N., Albiol J., Gasser B. et al. Increased dosage of AOX1 promoter-regulated expression cassettes leads to transcription attenuation of the methanol metabolism in Pichia pastoris. Scientific reports. 2017. vol. 7. no. 1. pp. 1-16. doi: 10.1038/srep44302

10 Jordà J., Jouhten P., Cámara E., Maaheimo H. et al. Metabolic flux profiling of recombinant protein secreting Pichia pastoris growing on glucose: methanol mixtures. Microbial cell factories. 2012. vol. 11. no. 1. pp. 1-14. doi: 10.1186/1475-2859-11-57

11 Rußmayer H., Buchetics M., Gruber C., Valli M. et al. Systems-level organization of yeast methylotrophic lifestyle. BMC biology. 2015. vol. 13. no. 1. pp. 1-25. doi: 10.1186/s12915-015-0186-5

12 Murakami M., Taketomi Y., Sato H., Yamamoto K. Secreted phospholipase A2 revisited. The Journal of Biochemistry. 2011. vol. 150. no. 3. pp. 233-255. doi: 10.1093/jb/mvr088

13 Murakami M., Sato H., Miki Y., Yamamoto K. et al. A new era of secreted phospholipase A2. Journal of lipid research. 2015. vol. 56. no. 7. pp. 1248-1261. doi: 10.1194/jlr.R058123

14 Seresht A.K., Norgaard P., Palmqvist E.A., Andersen A.S. et al. Modulating heterologous protein production in yeast: the applicability of truncated auxotrophic markers. Applied microbiology and biotechnology. 2013. vol. 97. no. 9. pp. 3939-3948. doi: 10.1007/s00253-012-4263-1

15 Rosenson R.S., Hurt-Camejo E. Phospholipase A2 enzymes and the risk of atherosclerosis. European heart journal. 2012. vol. 33. no. 23. pp. 2899-2909. doi: 10.1093/eurheartj/ehs148

16 Idiris A., Tohda H., Kumagai H., Takegawa K. Engineering of protein secretion in yeast: strategies and impact on protein production. Applied microbiology and biotechnology. 2010. vol. 86. no. 2. pp. 403-417. doi: 10.1007/s00253-010-2447-0

17 Wang J., Wang X., Shi L., Qi F. et al. Methanol-independent protein expression by AOX1 promoter with trans-acting elements engineering and glucose-glycerol-shift induction in Pichia pastoris. Scientific reports. 2017. vol. 7. no. 1. pp. 1-12. doi: 10.1038/srep41850

18 Samoilova Yu.V., Tulupov A.A., Sorokina K.N. Modern approaches to the development of new lipase enzymes and producers based on them. Bulletin of the Novosibirsk State University. Series: Biology, Clinical Medicine. 2014. vol. 12. no. 4. (in Russian).

19 Korneeva O.S. Annenkov V.A. Obtaining an enzyme preparation of lipase by the method of recombinant DNA. Technologies of food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products. 2014. no. 3. (in Russian).

20 Kozlov S.N., Markov E.Yu., Nikolaev VB, Urbanovich L.Ya. et al. Method for determining lipolytic activity in subcellular fractions of bacteria. Patent RF, no. 2501014, 2013.

Сведения об авторах

Денис С. Бытяк магистр, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, bytyak.denis@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4281-2758

Ольга С. Корнеева д.б.н., профессор, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, korneeva-olgas@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-2863-0771

Екатерина А. Мотина к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия , emotina18@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3433-2754

Information about authors

Denis S. Bytyak master student, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, bytyak.denis@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4281-2758

Olga S. Korneeva Dr. Sci. (Biol.), professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, korneeva-olgas@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-2863-0771

Ekaterina A. Motina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Techologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 364036, Russia, emotina18@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3433-2754

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат.

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 22/01/2021	**После редакции** 18/02/2021	**Принята в печать** 04/03/2021

Received 22/01/2021	**Accepted in revised** 18/02/2021	**Accepted** 04/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-121-128 Обзорная статья/Review article
УДК 664.65 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Тенденции использования безглютеновых видов муки в производстве продукции функционального назначения

Владимир Г. Попов [1] popovvg@tyuiu.ru 0000-0002-5902-1768
Нурсафа Г. Хайруллина [1] hajrullinang@tyuiu.ru 0000-0001-7290-3290
Хадия Н. Садыкова [1] sadykovahn@tyuiu.ru

1 Тюменский индустриальный университет, ул. Володарского, 38, г. Тюмень, 625000, Россия

Аннотация. Научная обзорная статья позволяет оценить актуальность научных исследований безглютеновых хлебобулочных и кондитерских изделий, произведенных на основе второстепенных видов муки и мучных смесей, современных источников нетрадиционных видов плодово-ягодного сырья, инновационных технологий, функциональных ингредиентов, предназначенных для поддержания здоровья населения, страдающего непереносимостью глютена. Большое внимание уделяется использованию в производстве хлеба муки из семян амаранта, которые обладают большей биологической ценностью по сравнению с традиционными видами муки. Добавление, наряду с амарантовой мукой в тесто муки из клубней чуфы, морковного, рябинового, тыквенного, яблочного и других порошков позволяет расширить рацион питания больных с симптомами непереносимости глютена. В частности, порошок из яблок способствуют профилактике сердечно-сосудистых заболеваний, избыточного веса, выведению тяжелых металлов из организма, препятствуют развитию атрофии скелетных мышц, а морковного порошка - ускорению восстановления после нервного срыва, длительного стресса, укрепляет сердечную мышцу, улучшает проходимость сосудов, повышает иммунитет, предотвращают развитие атеросклероза, гипертонии и др. показателей. Продолжают совершенствоваться технологии производства безглютеновых изделий на основе муки из семян амаранта в смеси с кукурузной или рисовой мукой, что значительно повышает пищевую ценность этих изделий и расширяет ассортимент доступных по цене безглютеновых продуктов питания отечественного производства. Другим примером являются круассаны, выпеченные на основе рисовой, гречневой, льняной, миндальной муки и муки Теффа. Анализ органолептических и физико-химических показателей показал, что они отвечают требованиям качества и высоким вкусо-ароматическим характеристикам. Безглютеновый хлеб на основе муки чиа, гречихи, льна, сои, амаранта, просо, тапиоки, сорго, гороха, киноа, рисовой и люпиновой муки содержит высокое количество пищевых волокон, положительно влияющих на количественный и качественный состав микрофлоры кишечника и способствует сохранению свежести хлебобулочных изделий. Несмотря на общность существующих подходов в производстве безглютеновых продуктов, ученые предлагают дополнять существующие рецепты второстепенными видами муки, плодово-яголными и другими компонентами функционального назначения. Таким образом, проблематика использования безглютеновых видов муки в производстве продукции функционального назначения остаётся объектом повышенного научного внимания со стороны учёных, производителей и потребителей.

Ключевые слова: безглютеновая продукция, безглютеновая мука, амарантовая мука, рисовая мука, безглютеновая диета, глютен, целиакия

Trends in the use of gluten-free flours in the production of functional products

Vladimir G. Popov [1] popovvg@tyuiu.ru 0000-0002-5902-1768
Nursafa G. Hajrullina [1] hajrullinang@tyuiu.ru 0000-0001-7290-3290
Hadia N. Sadykova [1] sadykovahn@tyuiu.ru

1 Tyumen Industrial University, Voladarskiy Str., 38, Tyumen, 625000, Russia

Abstract. The scientific review article allows to evaluate the relevance of scientific research of gluten-free bakery and confectionery products produced on the basis of secondary types of flour and flour mixtures, modern sources of non-traditional types of fruit and berry raw materials, innovative technologies, functional ingredients, designed to maintain the health of the population suffering from gluten intolerance. Much attention is paid to the use of amaranth seed flour in bread production, which has a higher biological value compared to traditional types of flour. Adding, along with amaranth flour, chufa tuber flour, carrot, rowan, pumpkin, apple and other powders to the dough can expand the diet of patients with symptoms of gluten intolerance. In particular, the apple powder contribute to the prevention of cardiovascular disease, excess weight, removal of heavy metals from the body, prevent the development of atrophy of the skeletal muscles, and carrot powder - speed recovery from a nervous breakdown, prolonged stress, strengthen the heart muscle, improve blood vessels, enhance immunity, prevent the development of atherosclerosis, hypertension, etc. The technology of production of gluten-free products based on amaranth seed flour mixed with corn or rice flour continues to be improved, which significantly increases the nutritional value of these products and expands the range of affordable gluten-free food products of domestic production. Another example is croissants baked on the basis of rice, buckwheat, flaxseed, almond and Teff flour. The analysis of organoleptic and physicochemical parameters showed that they meet the requirements of quality and high taste and aroma characteristics. Gluten-free bread based on chia flour, buckwheat flour, flax, soybean, amaranth, millet, tapioca, sorghum, peas, quinoa, rice and lupine flours contain a high amount of dietary fiber, positively influencing the quantitative and qualitative composition of intestinal microflora and helping to preserve the freshness of baked products. Despite the commonality of existing approaches in the production of gluten-free products, scientists suggest supplementing the existing recipes with secondary types of flour, fruit and berry and other functional components. Thus, the problem of using gluten-free flours in the production of functional products remains the object of increased scientific attention on the part of scientists, manufacturers and consumers.

Keywords: gluten-free products, gluten-free flour, amaranth flour, rice flour, gluten-free diet, gluten, celiac disease

Для цитирования
Попов В.Г., Хайруллина Н.Г., Садыкова Х.Н. Тенденции использования безглютеновых видов муки в производстве продукции функционального назначения // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 121–128. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-121-128

For citation
Popov V.G., Hajrullina N.G., Sadykova H.N. Trends in the use of gluten-free flours in the production of functional products. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 121–128. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-121-128

© 2021, Попов В.Г. и др. / Popov V.G. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Актуальность представленного научного обзора заключается в получении современных теоретико-методологических знаний в производстве хлебобулочных и кондитерских изделий функционального назначения с использованием безглютеновых видов муки.

Цель исследования – изучение рецептурных ингредиентов и инновационных технологий, позволяющих расширить ассортимент безглютеновой продукции, полностью исключать содержание клейковины, что окажет благоприятное воздействие на организм людей, страдающих целиакией.

Несмотря на хорошую изученность, продолжаются научные исследования по разработке новых рецептур продукции с использованием безглютеновых видов муки для расширения ассортимента готовой продукции и включение еѐ в безглютеновую диету, обеспечивая больных целиакией жизненно необходимыми нутриентами, способствующих стабилизации тонкого кишечника желудочно-кишечного тракта, снижению материальных и психологических трудностей, с которыми они сталкиваются ежедневно.

В работе приведены результаты исследований по формированию показателей качества хлебобулочной и кондитерской продукции функционального назначения с использованием безглютеновых видов муки. Одним из путей улучшения состояния здоровья людей, страдающих непереносимостью белка глютена, является пожизненная безглютеновая диета, основанная на употреблении пищевых функциональных и специализированных продуктах. Анализ российского рынка безглютеновых продуктов промышленного производства показал, что значительный удельный вес занимает импортная хлебобулочная, мучная кондитерская продукция и макаронные изделия. Согласно прогнозам компании Marketsandmarkets.com, рынок безглютеновых продуктов к 2020 году возрастет на 10,4 % по сравнению с 2015 г. В России объем продаж безглютеновой продукции оценивается в 63,4 млн. долл., что значительно ниже уровня продаж в странах – лидерах потребления: в 36 раз меньше, чем в США, в 5 раз меньше, чем в Великобритании, но в 2 раза больше, чем в Швеции [26].

По мнению Vader L.W., de Ru A., van der Wal Y., Kooy Y.M., Benckhuijsen W., Mearin M.L., Drijfhout J.W., van Veelen P., Koning F. глютен представляет собой сложную смесь богатых глутамином и пролином глиадинов и глютенинов, которые ответственны за развитие целиакии. Вследствие аминокислотного состава глютенов их специфические части довольно устойчивы к протеолитическому расщеплению в желудочно-кишечном тракте человека. В результате этого в ЖКТ накапливаются специфические, богатые пролином пептиды, приводящие к нежелательным симптомам, таким как непереносимость различных пептидов, образующихся из глютена [31].

Проникновение глютена в организм становится причиной разрушения ворсинок-энтероцитов, от чего нарушается процесс всасывания питательных элементов, общее состояние человека ухудшается, возникают сбои в работе желудка [25].

Учеными и специалистами установлено, что единственным приемлемым средством для лечения целиакии является диета свободная от глютена, которой пациент должен придерживаться всю жизнь [2–3, 5, 21–23, 30–33]. Согласно Пищевому кодексу (Codex Alimentarius) свободным от глютена считается пищевой продукт, в котором концентрация глютена составляет менее чем 20 м.д. (миллионных долей).

По определению ВОЗ, под безглютеновой диетой подразумевают рацион, который полностью исключает пищу с содержанием клейковины. Строгая пожизненная безглютеновая диета является единственным эффективным и научным методом борьбы с целиакией и симптомами, связанными с данной патологией [3, 5].

Соблюдать безглютеновую диету, по мнению Бавыкиной И.А., Логиновой И.И., затруднительно особенно для малолетних пациентов и его родителей. Ребенок не осознает, чем чревато для него не соблюдение или нарушение диеты. Затруднения могут возникнуть не дома, а при посещении детского сада, школы, поскольку только специалисты могут ориентироваться в продуктах, содержащих глютен, но в указанных учреждениях могут готовить блюда с содержанием скрытого глютена. Зачастую семья имеет низкий доход и не может позволить приобретать безглютеновые продукты, цена которых выше аналогичной глютеновой продукции в 3–5 и более раз. По этой причине в некоторых семьях больной ребенок подвержен психологическому прессингу [2].

Исследования Шепарда С. и Гибсона П. показали, что у пациентов с целиакией, соблюдающих безглютеновую диету, наблюдается снижение потребления крахмала, пищевых волокон, а у каждой десятой женщины, больной целиакией, – потребление тиамина, фолиевой кислоты, витамина А, магния, кальция и железа [30]. В результате анкетного опроса, проведенного Козубаевой Л.А., Кузьминой С.С., Вишняк М.Н., выяснилось, что болезнь целиакия довольно «молодая». Чаще болеют дети до 12 лет, каждый пятый больной целиакией – молодые люди от 21 до 35 лет [18].

Обсуждение

Для российского рынка безглютеновой продукции амарантовая мука и изделия на ее основе являются новыми, но достаточно ценными из-за особого химического состава, а именно отсутствия белковой фракции проламинов. Данное преимущество позволяет использовать изделия на основе амарантовой муки пациентам, которые нуждаются в безглютеновой диете. Амарантовая мука, отмечают Звягин А.А., Бавыкина И.А., Жаркова И.М., Мирошниченко Л.А., имеет большую биологическую ценность по сравнению с традиционными видами муки [17].

При изучении аминокислотного состава амарантовой муки Жаркова И.М., Мирошниченко Л.А., Звягин А.А., Бавыкина И.А. выявили, что она имеет более оптимальный состав, чем пшеничная, манная и рисовая мука [10]. А Шмалько Н.А., Чалова И.А., Моисеенко Н.А., Ромашко Н.Л., исследовав состав амарантовой муки трех видов (первого сорта, белковой полуобезжиренной, крупки), доказали их преимущества по сравнению с пшеничной и ржаной мукой [29].

Жаркова И.М, Сафонова Ю.А, Густинович В.Г и Ильева Т.Л. разработали технологию производства безглютеновго кекса с применением амарантовой муки, муки из клубней чуфы, морковного и яблочного порошков, а также смеси стевиозида и изомальта. Данными авторами предложены шесть вариантов рецептур безглютенового кекса [12]. Более того, возможность включения данных кексов в рацион питания больных с симптомами непереносимости глютена подтверждена с участием добровольцев.

Жаркова И.М., Мирошниченко Л.А. и Росляков Ю.Ф. доказали возможность применения сухих заквасок в технологии безглютенового хлеба из амарантовой муки. Для этого в качестве рецептурных компонентов использовали биологические сухие закваски О-Тентик и О-Тентик Дурум, которые позволяют улучшить качество хлеба из амарантовой муки. Исследования ученых подтвердили, что внесение сухих биологических заквасок сокращает продолжительность технологического цикла на 30 минут и позволяют приблизить запах хлеба на основе амарантовой муки к запаху, свойственному хлебу, приготовленному традиционным способом [11].

Жаркова И.М., Сафонова Ю.А., Густинович В.Г., Ильева Т.Л. обосновали, что введение в состав безглютеновых изделий амарантовой муки, муки из клубней чуфы и тонкодесперстных овощных и фруктовых порошков улучшает состав безглютеновых продуктов питания. Ученым удалось математически формализовать модель рецептурного состава безглютеновых изделий, где в качестве целевой функции выступает величина отклонения количества незаменимых аминокислот в белке проектируемого продукта от идеального белка, а ограничениями – желаемые значения содержания в готовом продукте белка, усвояемых углеводов, пищевых волокон и кальция [12].

Жарковой И.М., Густиновчием В.Г., Самохваловым А.А., Колеевой Т.Н., Тихоновой М.Ю., Слепокуровой Ю.И. запатентован способ производства безглютенового хлеба, включающий приготовление теста из бесклейковинного сырья, содержащего амарантовую муку. С целью витаминизации и повышения биологической ценности использовали тонкодисперсные порошки из яблока и моркови. Яблочный порошок характеризуется высоким содержанием органических кислот, витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон. Продукты с добавлением порошка из яблок способствуют профилактике сердечно-сосудистых заболеваний, избыточного веса, выведению тяжелых металлов из организма, препятствуют развитию атрофии скелетных мышц. Морковь содержит флавоноиды, витамины, макро- и микроэлементы и способствует ускорению восстановления после нервного срыва, длительного стресса, укреплению сердечной мышцы, улучшению проходимости сосудов, повышению иммунитета, предотвращению развития атеросклероза, гипертонии, катаракты, преждевременного старения [13].

Егоровой Е.Ю. и Резниченко И.Ю. разработан полуфабрикат безглютеновых кексов на основе муки из семян амаранта, которую вводили в тесто в виде однородной смеси с кукурузной или рисовой мукой, в пределах от 5,0 до 25,0 % от общего количества муки. Это позволяет значительно повысить пищевую ценность изделий и пополнить ассортимент доступных по цене безглютеновых продуктов питания отечественного производства [9].

Магомедов Г.О., Шевякова Т.А., Плотникова И.В., Чернышѐва, Мазина И.А., Мирошниченко Л.А., разработали бисквиты на основе амарантовой муки повышенной пищевой ценности, которая обладает хорошей антиоксидантной активностью. Разработанная технология перспективна и востребована на рынке кондитерских изделий [19].

Чугунова О.В., Лейберова Н.В. и Пастушкова Е.В. теоретически обосновали и экспериментально подтвердили технологию производства сахарного печенья и кекса на основе второстепенных видов муки, а именно рисовой и кукурузной с добавлением яблочного и рябинового порошка. Авторами в качестве прототипа был выбран способ производства безглютенового кондитерского изделия на основе крахмалсодержащего

теста, кроме того произведен расчет конкурентной цены на разработанные рецептуры мучных кондитерских изделий из безглютеновых видов муки. Полученные данные показали, что предложенная технология производства мучных кондитерских изделий из второстепенных видов муки является перспективной, и позволит обеспечить больных целиакией жизненно необходимыми нутриентами. [28].

Меркулова Е.Г., Извекова Е.В., Ладнова О.Л. и Меркулов А.И. предложили использовать при производстве безглютеновых вафель соевую, кукурузную и гречневую муку, которые дополняют друг друга по содержанию пищевых веществ. Для оценки пищевой ценности определяли перевариваемость и степень усвояемости белков in vitro разработанного изделия по методу Ансона. Авторы пришли к выводу, что применение безглютенового сырья и настоев листьев стевии при производстве вафельных листов способствует улучшению органолептических, физико-химических и микробиологических показателей качества и безопасности [21].

При производстве безглютеновых видов хлеба Хмелевская А.В. и Бурнацева А.А. использовали кукурузную муку и кукурузный крахмал из зерен белой кукурузы. Ученые выявили, что водопоглотительная способность муки из зерна белой кукурузы низкая, поскольку она содержит мало белковых веществ. Более того, в кукурузной муке из белого зерна содержание сахаров меньше, что является важным показателем, влияющим на процесс брожения в тесте [4]. Айрумян В.Ю. и Сокол Н.В. предложили использовать кукурузную, рисовую муку и мучку. Для создания технологии производства продуктов функционального назначения на основе перечисленных видов безглютеновой муки, авторы предложили вносить в тесто пектин в количестве 0,5 % к массе муки [1]. Резниченко И.Ю., Бородулин Д.М. и Пикулина Н.С. разработали модельные образцы круассанов, выпеченных на основе рисовой, гречневой, льняной, миндальной муки и муки Теффа. На основании оценки органолептических и физико-химических показателей они доказали, что круассаны отвечают требованиям качества и высоким вкусо-ароматическим характеристикам [24]. Черникова Д.А., Тимошенкова И.А., Москвичева Е.В. предложили при производстве мучных кондитерских и булочных изделий заменить пшеничную муки на безглютеновую смесь из тыквенной муки, крахмала, свеклвичных пищевых волокон [27].

Л.В. Зайцевой, Т.А. Юдиной, Н.В. Рубановой, А.Ю. Юдиным, А.Н. Спирюговым запатентован способ производства безглютенового хлеба, включающий приготовление теста из бесклейковинного сырья, содержащего смесь муки чиа и рисовой муки, в тесто дополнительно вводят люпиновую муку в количестве 4–20 % от массы бесклейковинного сырья, а также – муку из гречихи, льна, сои, амаранта, просо, тапиоки, сорго, гороха, киноа. Мука из семян чиа содержит высокое количество пищевых волокон, положительно влияющих на количественный и качественный состав микрофлоры кишечника и способствует сохранению свежести хлебобулочных изделий [16].

Дубровской Н.О., Савкиной О.А., Кузнецовой Л.И., Парахиной О.И. запатентован способ производства безглютенового хлеба, предусматривающий замес теста с использованием заквашенного безглютенового полуфабриката, приготовленного из рисовой и соевой муки в соотношении 2:1, смеси мучной бесклейковинной (кукурузный крахмал, изолят соевого белка, соевый лецитин, цитрусовые волокна, сахар песок, соль и рябиновый порошок) [8].

Жарковой И.М., Мирошниченко Л.А., Росляковым Ю.Ф., Кликонос А.А. запатентован способ производства безглютенового хлеба на основе амарантовой муки, являющейся источником полноценного по аминокислотному составу белка, физиологически активных липидов (фитостеролов, токоферолов, сквалена), легкоусвояемых моно- и полисахаридов, значительного количества витаминов и минеральных веществ [14]

Дубровской Н.О., Кузнецовой Л.И., Парахиной О.И. и Савкиной О.А. запатентован способ производства безглютенового хлеба с использованием бесклейковинной смеси рисовой муки. Введение в бесклейковинную смесь цитрусовых волокон и рябинового порошка приводит к увеличению водопоглотительной способности теста за счет высокой влагоудерживающей способности цитрусовых волокон и высокой степени этерификации водорастворимого пектина рябинового порошка, что положительно скажется на формообразовании хлеба и на формировании выпуклой верхней корки. Кроме того, рябиновый порошок, содержащий значительное количество различных органических кислот, а также богатый витаминный и минеральный состав, и цитрусовые волокна позволят получить безглютеновый хлеб с более выраженным и гармоничным вкусом и запахом, повышенным удельным объемом и пищевой ценностью [7].

Следует отметить, что разработкой технологий производства безглютенового хлеба и мучных кондитерских изделий для больных целиакией успешно занимаются ученые, представляющие различные научные школы, среди них Заворохина Н.В., Извекова Е.В., Кудинов П.И., Ладнова О.Л., Меркулов А.И., Меркулова Е.Г.,

Никитин И.А., Орлова Т.В., Поснова Г.В., Семенкина Н.Г., Чугунова О.В., Школьникова М.В. [21–23]. Так, Заворохиной Н.В., Чугуновой О.В. были разработаны и апробированы различные варианты рецептур и технологий приготовления на основе рисовой, кукурузной, нутовой, соевой, льняной, амарантовой муки. В качестве компонента, способного заменить клейковину и выступить в качестве агента, увеличивающего эластичность и пластичность теста, использован кукурузный и картофельный крахмал [15].

Меренкова С.П., Потороко И.П., Чеканова Е.В. исследовали методологические подходы оценки потребительских свойств безглютеновых кондитерских изделий, выработанных на основе рисовой, льняной и конопляной муки для расширения линейки диетических безглютеновых продуктов питания, предназначенных для больных с целиакией и нарушением усвоения глютена. Авторам удалось доказать, что названные виды муки характеризуются низким содержанием эссенциальных нутриентов и высоким гликемическим индексом [20].

Заключение

Хлебобулочные изделия составляют рацион большинства населения мира, в зависимости от культуры потребления в каждом регионе сложились свои традиции его производства и потребления. Не зависимо от места проживания, в мире растет число людей, страдающих непереносимостью пшеничного белка. Поскольку целиакия предполагает пожизненную строгую диету, то ученые всего мира стремятся к тому, чтобы безглютновые продукты отличались простой рецептурой, были доступными и позволяли разнообразить рацион больных целиакией жизненно необходимыми нутриентами. В статье представлены современные рецептуры и инновационные технологии производства мучных и кондитерских изделий на основе безглютеновой муки и мучных смесей. Проведенный анализ научной литературы и патентной базы позволяет сформулировать вывод об актуальности научных исследований и перспективности производства безглютеновых продуктов, особенно производимых из второстепенных видов муки.

Литература

1 Айрумян В.Ю., Сокол Н.В. Использование безглютеновых видов муки в производстве мучных изделий // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник тезисов по материалам Всероссийской (национальной) конференции. Краснодар, 2019. С. 217–218.

2 Бавыкина И.А., Логвинова И.И. Влияние длительной безглютеновой диеты на физическое развитие детей // Материалы XXIII съезда Физиологического общества им. И.П. Павлова с международным участием. Воронеж, 2017. С. 2569–2571.

3 Бельмер С.В. Современные принципы диетотерапии целиакии // Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2012. № 57(6). С. 97–100.

4 Бурнацева А.А., Хмелевская А.В. Технологические характеристики безглютеновых видов сырья из зерна белой кукурузы // Актуальные проблемы биологии и экологии: материалы международной научно-практической конференции. 2018. С. 131–136.

5 Губская Е.Ю. Нарушение безглютеновой диеты и внешнесекреторная недостаточность поджелудочной железы как две основные причины неудовлетворительных результатов лечения целиакии // Сучасна гастроентерологія. 2008. № 4. С. 57–60.

6 Домбровская Я.П., Аралова С.И. Разработка рецептур безглютеновых мучных кулинарных изделий повышенной пищевой ценности // Вестник ВГУИТ. 2016. № 4. С. 141–147. doi: 10.20914/2310-1202-2016-4-141-147

7 Пат. № 2573327, RU, A21D 8/02, 2/36, 13/04. Способ производства безглютенового хлеба с использованием бесклейковинной смеси / Дубровская Н.О., Кузнецова Л.И., Парахина О.И., Савкина О.А. № 2014138401/13; Заявл. 24.09.2014; Опубл. 20.01.2016, Бюл. № 2.

8 Пат. № 2662775, RU, A21D 13/04. Способ производства безглютенового хлеба с использованием заквашенного полуфабриката / Дубровская Н.О., Савкина О.А., Кузнецова Л.И., Парахина О.А. № 2016150133; Заявл. 20.12.2016; Опубл. 30.07.2018, Бюл. № 22.

9 Егорова Е.Ю., Резниченко И.Ю. Разработка пищевого концентрата – полуфабриката безглютеновых кексов с амарантовой мукой // Техника и технология пищевых производств. 2018. Т.48. № 2. С. 36–45. doi: 10.21603/2074-9414-2018-2-36-45

10 Жаркова И.М., Мирошниченко Л.А., Звягин А.А., Бавыкина И.А. и др. Амарантовая мука: характеристика, сравнительный анализ, возможности применения // Вопросы питания. 2014. Т.83. № 1. С. 67–73.

11 Жаркова И.М., Мирошниченко Л.А., Росляков Ю.Ф. Исследование возможности применения традиционных сухих заквасок в технологии хлеба из амарантовой муки // Хлебопродукты. 2017. № 4. С. 44–46.

12 Жаркова И.М., Сафонова Ю.А., Густинович В.Г., Ильева Т.Л. Разработка технологии и оценка эффективности нового продукта – функционального безглютенового кекса // Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. № 1. С. 70–85. doi: 10.36107/spfp.2020.215

13 Пат. № 2718517, RU, A21D 13/04. Способ производства беглютенового хлеба / Жаркова И.М., Густинович В.Г., Самохвалов А.И., Колева Т.Н., Тихонова М.Ю., Слепокурова Ю.И. № 2019122617; Заявл. 18.07.2019; Опубл. 08.04.2020, Бюл. № 10.

14 Пат. № 2579257, RU, A21D 13/04. Способ производства безглютенового хлеба / Жаркова И.М., Мирошниченко Л.А., Росляков Ю.Ф., Кликонос А.А. № 2015102878/13; Заявл. 28.01.2015; Опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10.

15 Заворохина Н.В., Чугунова О.В. Проблема целиакии в Российской Федерации и моделирование рецептур безглютеиновых видов хлеба // Современные технологии. 2016. № 1(52). С. 47–53

16 Пат. № 2693092, RU, A21D 13/04, 13/066, 8/02. Способ производства безглютенового хлеба / Зайцева Л.В., Юдина Т.А., Рубан Н.В., Юдин А.Ю., Спирюгов А.Н. № 2019108197; Заявл. 21.03.2019; Опубл. 01.07.2019, Бюл. № 19.

17 Звягин А.А., Бавыкина И.А., Жаркова И.М., Мирошниченко Л.А. Потенциальные возможности амарантовой муки, как продукта без глютена // Вопросы питания. 2015. № 13. № 2. С. 46–51.

18 Козубаева Л.А., Кузьмина С.С., Вишняк М.Н. Безглютеновое печенье из смеси рисовой и гречневой муки // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2010. № 7(69). С. 62–65.

19 Магомедов Г.О., Шевякова Т.А., Плотникова И.В., Чернышѐва, Мазина И.А., Мирошниченко Л.А., Сбивные безглютеновые мучные кондитерские изделия на основе амарантовой муки // Наука технология. 2014. № 6. С. 47–49.

20 Меренкова С.П., Потороко И.П., Чеканова Е.В. Методологические подходы оценки потребительских свойств безглютеновых мучных кондитерских изделий // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. 2020. № 2. С. 8–16. doi: 10.24411/2311-6447-2020-10037

21 Меркулова Е.Г., Извекова Е.В., Ладнова О.Л., Меркулов А.И. Разработка технологии мучных кондитерских изделий для больных целиакией // Вестник ОрелГИЭТ. 2017. № 3(41) С. 129–138.

22 Никитин И.А., Семенкина Н.Г., Поснова Г.В. Разработка рецептур безглютеновых пряников с улучшенными потребительскими свойствами // Хлебопродукты. 2018. № 8. С. 34–37.

23 Орлова Т.В., Кудинов П.И., Работка рецептуры и технологии производства хлеба на основе безглютеновых мучных смесей // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 50–57. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.010

24 Резниченко И.Ю., Бородулин Д.М., Пикулина Н.С. Разработка рецептуры и оценка качества безглютенового мучного изделия // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 82–86. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.016

25 Рецепты здоровья. Лечение заболеваний с помощью традиционных средств и методов, 2008–2019. URL: https://nmedik.org/bezglyutenovaya-dieta.html

26 Kautto E., Rydén P.J., Ivarsson A., Olsson C. et al. What happens to food choices when a gluten-free diet is required? A prospective longitudinal population-based study among Swedish adolescent with coeliac disease and their peers // Journal of nutritional science. 2014. V. 3. doi:10.1017/jns.2013.24

27 Черникова Д.А., Тимошенкова И.А., Москвичева Е.В. Разработка технологии и рецептуры безглютеновых мучных кондитерских изделий с использованием вторичных продуктов переработки тыквы // Материалы научной конференции с международным участием Неделя науки СПбПУ. СПб, 2017. С. 95–98.

28 Чугунова О.В., Лейберова Н.В., Пастушкова Е.В. Технологические аспекты разработки безглютеновых мучных кондитерских изделий // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–1. С. 186–192.

29 Шмалько Н.А., Чалова И.А., Моисеенко Н.А., Ромашко Н.Л. Особенности микроструктуры и химического состава продуктов переработки зерна амаранта // Техника и технология пищевых производств. 2011. № 1(20). С. 57–63.

30 Shepherd S.J., Gibson P.R. Nutritional inadequacies of the gluten-free diet in both recently-diagnosed and long-term patients with coeliac disease // Journal of Human Nutrition and Dietetics. 2013. V. 26. № 4. P. 349-358. doi: 10.1111/jhn.12018

31 Hoppe C., Trolle E., Gondolf U., Husby S. Gluten intake in 6–36-month-old Danish infants and children based on a national survey // Journal of Nutritional Science. 2013. V. 2. doi:10.1017/jns.2013.1

32 Rai S., Kaur A., Chopra C.S. Gluten-Free Products for Celiac Susceptible People // Front. Nutr. 2018. V. 5. P. 116. doi: 10.3389/fnut.2018.00116

33 Scherf K.A., Catassi C., Chirdo F., Ciclitira P.J. et al. Recent Progress and Recommendations on Celiac Disease From the Working Group on Prolamin Analysis and Toxicity // Front. Nutr. 2020. V. 7. P. 29. doi: 10.3389/fnut.2020.00029

References

1 Ayrumyan V.Yu., Sokol N.V. The use of gluten-free types of flour in the production of flour products. Scientific support of the agro-industrial complex: a collection of abstracts based on the materials of the All-Russian (national) conference. Krasnodar, 2019. pp. 217–218. (in Russian).

2 Bavykina I.A., Logvinova I.I. The influence of a long-term gluten-free diet on the physical development of children. Proceedings of the XXIII Congress of the Physiological Society. I.P. Pavlova with international participation. Voronezh, 2017, pp. 2569–2571. (in Russian).

3 Belmer S.V. Modern principles of diet therapy for celiac disease. Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics. 2012. no. 57 (6). pp. 97-100. (in Russian).

4 Burnatseva A.A., Khmelevskaya A.V. Technological characteristics of gluten-free raw materials from white corn grain. Actual problems of biology and ecology: materials of the international scientific and practical conference. 2018. pp. 131–136. (in Russian).

5 Gubskaya E.Yu. Violation of a gluten-free diet and exocrine pancreatic insufficiency as two main reasons for unsatisfactory results in celiac disease treatment. Suchasna gastroenterology. 2008. no. 4. pp. 57-60. (in Russian).

6 Dombrovskaya Ya.P., Aralova S.I. Development of recipes for gluten-free flour culinary products of increased nutritional value. Proceedings of VSUET. 2016. no. 4. pp. 141–147. doi: 10.20914 / 2310-1202-2016-4-141-147 (in Russian).

7 Dubrovskaya N.O., Kuznetsova L.I., Parakhina O.I., Savkina O.A. Method of production of gluten-free bread using gluten-free mixture. Patent RF, no. 2573327, 2016.

8 Dubrovskaya N.O., Savkina O.A., Kuznetsova L.I., Parakhina O.A. Method of production of gluten-free bread using fermented semi-finished products. Patent RF, no. 2662775, 2018.

9 Egorova E.Yu., Reznichenko I.Yu. Development of a food concentrate – a semi-finished product of gluten-free muffins with amaranth flour. Technics and technology of food production. 2018. vol. 48. no. 2. pp. 36–45. doi: 10.21603/2074-9414-2018-2-36-45(in Russian).

10 Zharkova I.M., Miroshnichenko L.A., Zvyagin A.A., Bavykina I.A. et al. Amaranth flour: characteristics, comparative analysis, application possibilities. Nutrition issues. 2014. vol.83. no. 1. pp. 67–73. (in Russian).

11 Zharkova I.M., Miroshnichenko L.A., Roslyakov Yu.F. Investigation of the possibility of using traditional dry starter cultures in the technology of bread from amaranth flour. Khleboprodukty. 2017. no. 4. pp. 44–46. (in Russian).

12 Zharkova I.M., Safonova Yu.A., Gustinovich V.G., Ilieva T.L. Development of technology and assessment of the effectiveness of a new product - functional gluten-free cake. Storage and processing of agricultural raw materials. 2020. no. 1. pp. 70–85. doi: 10.36107/spfp.2020.215 (in Russian).

13 Zharkova I.M., Gustinovich V.G., Samokhvalov A.I., Koleva T.N. et al. Method of producing begluten bread. Patent RF, no. 2718517, 2019.

14 Zharkova I.M., Miroshnichenko L.A., Roslyakov Y.F., Klikonos A.A. Method of gluten-free bread production. Patent RF, no. 2579257, 2016.

15 Zavorokhina N.V., Chugunova O.V. The problem of celiac disease in the Russian Federation and modeling of gluten-free bread recipes. Modern Technologies. 2016. no. 1(52). pp. 47–53. (in Russian).

16 Zaitseva L.V., Yudina T.A., Ruban N.V., Yudin A.Y., Spiryugov A.N. Method of gluten-free bread production. Patent RF, no. 2693092, 2019.

17 Zvyagin A.A., Bavykina I.A., Zharkova I.M., Miroshnichenko L.A. Potential possibilities of amaranth flour as a gluten-free product. Nutrition issues. 2015. vol. 13. no. 2. pp. 46–51. (in Russian).

18 Kozubaeva L.A., Kuzmina S.S., Vishnyak M.N. Gluten-free cookies from a mixture of rice and buckwheat flour. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2010. no. 7 (69). pp. 62–65. (in Russian).

19 Magomedov G.O., Shevyakova T.A., Plotnikova I.V. et al. Whipped gluten-free flour confectionery products based on amaranth flour. Science Technology. 2014. no. 6. pp. 47–49. (in Russian).

20 Merenkova S.P., Potoroko I.P., Chekanova E.V. Methodological approaches to assessing the consumer properties of gluten-free flour confectionery products. Technologies of food and processing industry AIC-healthy food products. 2020. no. 2. pp. 8-16. doi: 10.24411/2311-6447-2020-10037 (in Russian).

21 Merkulova E.G., Izvekova E.V., Ladnova O.L., Merkulov A.I. Development of the technology of flour confectionery products for celiac patients. Bulletin of OrelGIET. 2017. no. 3 (41) pp. 129–138. (in Russian).

22 Nikitin I.A., Semenkina N.G., Posnova G.V. Development of recipes for gluten-free gingerbread with improved consumer properties. Khleboprodukty. 2018. no. 8. pp. 34–37. (in Russian).

23 Orlova T.V., Kudinov P.I., Development of recipes and technologies for the production of bread based on gluten-free flour mixtures. Polzunovsky Bulletin. 2020. no. 2. pp. 50–57. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.010 (in Russian).

24 Reznichenko I.Yu., Borodulin D.M., Pikulina N.S. Formulation development and quality assessment of gluten-free flour products. Polzunovskiy Vestnik. 2020. no. 2. pp. 82–86. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.016 (in Russian).

25 Recipes for health. Treatment of diseases using traditional means and methods, 2008–2019. Available at: https://nmedik.org/bezglyutenovaya-dieta.html (in Russian).

26 Kautto E., Rydén P.J., Ivarsson A., Olsson C. et al. What happens to food choices when a gluten-free diet is required? A prospective longitudinal population-based study among Swedish adolescent with coeliac disease and their peers. Journal of nutritional science. 2014. vol. 3. doi:10.1017/jns.2013.24

27 Chernikova D.A., Timoshenkova I.A., Moskvicheva E.V. Development of technology and recipes for gluten-free flour confectionery products using secondary pumpkin processing products. Materials of a scientific conference with international participation SPbPU Science Week. SPb, 2017. pp. 95–98. (in Russian).

28 Chugunova O.V., Leiberova N.V., Pastushkova E.V. Technological aspects of the development of gluten-free flour confectionery products. Modern problems of science and education. 2015. no. 1-1. pp. 186-192. (in Russian).

29 Shmalko N.A., Chalova I.A., Moiseenko N.A., Romashko N.L. Features of the microstructure and chemical composition of amaranth grain processing products. Technics and technology of food production. 2011. no. 1 (20). pp. 57–63. (in Russian).

30 Shepherd S.J., Gibson P.R. Nutritional inadequacies of the gluten-free diet in both recently-diagnosed and long-term patients with coeliac disease. Journal of Human Nutrition and Dietetics. 2013. vol. 26. no. 4. pp. 349-358. doi: 10.1111/jhn.12018

31 Hoppe C., Trolle E., Gondolf U., Husby S. Gluten intake in 6–36-month-old Danish infants and children based on a national survey. Journal of Nutritional Science. 2013. vol. 2. doi:10.1017/jns.2013.1

32 Rai S., Kaur A., Chopra C.S. Gluten-Free Products for Celiac Susceptible People. Front. Nutr. 2018. vol. 5. pp. 116. doi: 10.3389/fnut.2018.00116

33 Scherf K.A., Catassi C., Chirdo F., Ciclitira P.J. et al. Recent Progress and Recommendations on Celiac Disease From the Working Group on Prolamin Analysis and Toxicity. Front. Nutr. 2020. vol. 7. pp. 29. doi: 10.3389/fnut.2020.00029

Сведения об авторах

Владимир Г. Попов д.т.н., профессор, кафедра товароведения и технологии продуктов питания, Тюменский индустриальный университет, ул. Володарского, 38, г. Тюмень, 625000, Россия, popovvg@tyuiu.ru
https://orcid.org/0000-0002-5902-1768

Нурсафа Г. Хайруллина д.с.н., профессор, кафедра маркетинга и муниципального управления, Тюменский индустриальный университет, ул. Володарского, 38, г. Тюмень, 625000, Россия, hajrullinang@tyuiu.ru
https://orcid.org/0000-0001-7290-3290

Хадия Н. Садыкова к.с.н., доцент, кафедра экономики и организации производства, Тюменский индустриальный университет, ул. Володарского, 38, г. Тюмень, 625000, Россия, sadykovahn@tyuiu.ru

Information about authors

Vladimir G. Popov Dr. Sci. (Engin.), professor, commodity science and food technology department, Industrial University of Tyumen, Volodarski Str., 38, Tyumen, 625000, Russia, popovvg@tyuiu.ru
https://orcid.org/0000-0002-5902-1768

Nursafa G. Hajrullina Dr. Sci. (Social.), professor, marketing and municipal management department, Industrial University of Tyumen, Volodarski Str., 38, Tyumen, 625000, Russia, hajrullinang@tyuiu.ru
https://orcid.org/0000-0001-7290-3290

Hadia N. Sadykova Cand. Sci. (Social.), associate professor, economics and organization of production department, Industrial University of Tyumen, Volodarski Str., 38, Tyumen, 625000, Russia, sadykovahn@tyuiu.ru

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 27/01/2010	**После редакции** 17/02/2021	**Принята в печать** 02/03/2021

Received 27/01/2010	**Accepted in revised** 17/02/2021	**Accepted** 02/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-129-137 Оригинальная статья/Research article
УДК 360 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Применение нормативной базы по минимизации негативного воздействия на окружающую среду для развития биотехнологических подходов к ее оздоровлению

Раиса Н. Плотникова [1] yy@vsuet.ru 0000-0001-9559-4443
1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Исследована сфера применения современной нормативной базы в области оценки негативного воздействия на окружающую среду для предприятий пищевой промышленности. Рассмотрены вопросы биотехнологической защиты объектов окружающей среды с учетом эффективного использования природных ресурсов, отходов производства и потребления. Дана оценка современным методам и подходам оздоровления окружающей среды, включая минимизацию негативного воздействия. Проведена экспертная оценка экологической составляющей бизнеса. Показано, что эффективная экологическая политика во всех сферах бизнеса должна сопровождаться раскрытием экологических инициатив в информационно-коммуникационных сетях посредством маркетинговых акций. Проанализированы основные подходы биотехнологической защиты объектов окружающей среды, направленные на эффективное использование природных ресурсов, отходов производства и потребления. Оценены современные способы и подходы оздоровления окружающей среды, включающие минимизацию негативного воздействия. Показана необходимость извлечения токсичных тяжелых металлов из отходов перед их размещением для хранения и захоронения для предотвращения ущерба окружающей среде. Отмечены преимущества биохимической ремедиации почв для выщелачивания металлов с селекцией и специализированной адаптацией рабочих штаммов микроорганизмов. Установлена необходимость масштабного стимулирования производителей к внедрению технологических процессов, в минимальной степени загрязняющих окружающую природную среду

Ключевые слова: негативное воздействие, окружающая среда, нормативная база, пищевое производство, методы защиты, экологическая безопасность

Application of the regulatory framework to minimize negative impacts the impact on the environ-ment for the development of biotechnological approaches to its improvement

Raisa N. Plotnikova [1] yy@vsuet.ru 0000-0001-9559-4443
1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The scope of application of the modern regulatory framework in the field of assessing the negative impact on the environment for food industry enterprises has been investigated. The issues of biotechnological protection of environmental objects are considered, taking into account the effective use of natural resources, production and consumption waste. An assessment of modern methods and approaches to environmental health improvement, including minimization of negative impacts, is given. An expert assessment of the environmental component of the business was carried out. It is shown that an effective environmental policy in all areas of business should be accompanied by the disclosure of environmental initiatives in information and communication networks through marketing campaigns. The main approaches to biotechnological protection of environmental objects, aimed at the efficient use of natural resources, production and consumption waste, are analyzed. Modern methods and approaches to environmental health improvement, including minimization of negative impact, are evaluated. The necessity of extraction of toxic heavy metals from waste before their disposal for storage and disposal in order to prevent damage to the environment is shown. The advantages of biochemical soil remediation for leaching metals with selection and specialized adaptation of working strains of microorganisms are noted. The need for large-scale incentives for manufacturers to introduce technological processes that minimally pollutes the environment has been established.

Keywords: negative impact, environment, regulatory framework, food production, methods of protection, environmental safety

Введение

Реальное состояние объектов окружающей среды оценивается в процессе непрерывного наблюдения и регистрации определенных параметров каждого природного объекта в соответствии с заданными критериями, либо в сравнении с фоновыми значениями показателей состояния объектов окружающей среды. Любое негативное воздействие на окружающую среду (НВОС), приводящее к нарушению установленных показателей качества, требует оперативного противодействия или мероприятий, в результате которых состояние природного объекта в течение определенного промежутка времени восстанавливается до критериальных значений [1].

Для цитирования

Плотникова Р.Н. Применение нормативной базы по минимизации негативного воздействия на окружающую среду для развития биотехнологических подходов к ее оздоровлению // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 129–137. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-129-137

For citation

Plotnikova R.N. Application of the regulatory framework to minimize negative impacts the impact on the environ-ment for the development of biotechnological approaches to its improvement. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 129–137. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-129-137

© 2021, Плотникова Р.Н. / Plotnikova R.N.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Согласно действующей нормативно-правовой документации уровень минимизации воздействия на окружающую среду по основным видам воздействия регламентируется в пределах нормативов допустимых выбросов (НДВ), нормативов допустимых сбросов (НДС), а также временно разрешенными выбросами (ВРВ), временно разрешенными сбросами (ВРС) и нормативами образования отходов и лимитами на их размещение (НООЛР), в рамках которых предусмотрена минимальная или увеличенная с учетом дополнительного коэффициента плата за загрязнение окружающей среды и размещение отходов.

В настоящее время доходы от внесения платы за загрязнение объектов окружающей среды и размещение отходов, поступающие в бюджеты разного уровня, призванные финансово обеспечить мероприятия по восстановлению их качества, настолько малы, что говорить об обеспечении качества окружающей среды невозможно. Величины нанесенных ущербов значительно превышают финансовые возможности предприятий, если на предотвращение ущербов направлять только средства, полученные за счет платежей за загрязнение окружающей среды. Усугубление подобной ситуации отрицательно сказывается в первую очередь на экологической безопасности самих технологических процессов [2].

В этой связи на первый план выходит решение задач минимизации антропогенного воздействия на окружающую среду путем широкого применения биотехнологических методов защиты объектов окружающей среды на всем жизненном цикле продукции, включающем стадии выбора и подготовки сырья, его переработки с получением целевой продукции, эксплуатацию и утилизацию. Такой подход направлен на поиск механизмов оптимизации экологических параметров работы производства, установление критериев эколого-экономической эффективности [3].

С биотехнологической точки зрения при контроле состояния и оценке качества объектов окружающей среды наиболее экономически обоснованным является широкомасштабное применение методов биоиндикации и биотестирования.

Сложность и актуальность проблемы детоксикации загрязненных территорий и обезвреживания отходов производства и потребления на первый план выводят задачи интенсификации создания микробиологических технологий, использующих селективные микробиологические штаммы, способные при минимуме финансовых вложений быстро очищать большое количество загрязненных ксенобиотиками объектов окружающей среды [4].

Цель работы – определение диапазона применения современной нормативной базы в области оценки негативного воздействия на окружающую среду для предприятий пищевой промышленности и поиска путей биотехнологической защиты объектов окружающей среды, направленных на эффективное использование природных ресурсов, отходов производства и потребления.

Материалы и методы

Исследование включает анализ и оценку эффективности применения современной нормативной базы в области оценки негативного воздействия на окружающую среду для предприятий пищевой промышленности с последующей разработкой рекомендаций по использованию конкретных биотехнологических методов защиты объектов окружающей среды.

В рамках поставленной задачи производился выбор соответствующей нормативной базы по нормированию воздействия на окружающую, рассматривались правовые аспекты определения уровня ответственности промышленных предприятий, оказывающих антропогенное негативное воздействие на окружающую среду. В рамках расширения областей применения биотехнологических методов оздоровления объектов окружающей среды проводилась экспертная оценка наилучших доступных технологий, основанных на современных научных разработках и производственного опыта с учетом достижения критериев минимизации воздействия на окружающую среду.

Результаты и обсуждение

Анализ нормативной базы в области охраны окружающей среды и экологической безопасности показывает, что в соответствии с мероприятиями по решению задач экономического регулирования в области охраны окружающей среды и снижения негативного воздействия на окружающую среду (НВОС) все промышленные предприятия и хозяйствующие объекты отнесены к I–IV категориям по их степени негативного воздействия.

По [5] отнесение хозяйствующего объекта к определенной категории производится на основе значений показателей НВОС. К ним следует отнести прямой ущерб (У), отражающий уровень воздействия на объекты окружающей среды отдельных хозяйствующих объектов, зависящий от коэффициентов эколого-экономической опасности отдельных загрязняющих веществ (K_i), свидетельствующий об уровне токсичности,

канцерогенных и мутагенных свойствах токсикантов, содержащихся в выбросах, сбросах. По отходам критерием отнесения предприятия к соответствующей категории служит их класс опасности, характеризуемый коэффициентом K_j^o.

На рисунке 1 приведены характеристики объектов пищевой промышленности, отнесенные ко II категории по виду хозяйственной деятельности. Превышение этих показателей переводит хозяйствующий объект в категорию I [6].



Рисунок 1. Допустимая проектная мощность пищевых производств II категории, т/сут: 1 – продукция из картофеля, фруктов и овощей; 2 – молочная продукция; 3 – растительные и животные масла и жиры; 4 – мясо и мясопродукты

Figure 1. Permissible design capacity of category II food production, t/day: 1-potato, fruit and vegetable products; 2-dairy products; 3-vegetable and animal oils and fats; 4-meat and meat products

Критерии отнесения объектов, оказывающих умеренное негативное воздействие на окружающую среду, к объектам II категории включают осуществление хозяйственной и (или) иной деятельности, показанной на рисунке 2.

Как видно из графиков промышленные предприятия по производству пищевой продукции, большей частью относящиеся к области биоэкономики, соответствуют по уровню негативного воздействия на окружающую среду к I либо II категориям.

Большинство предприятий этой сферы ориентировано на конкретного потребителя и характеризуется невысокой производительностью. Поэтому большинство подобных предприятий можно отнести к объектам II категории.

В соответствии с положениями Федерального закона [7], реализация производственного процесса на объектах II категории, требует разработки и представления в экологические органы декларации о воздействии на окружающую среду. Актуализация этого документа производится по истечении семи лет только в том случае, если в этот период не произошло изменений в технологии, в перечне токсикантов и отходов производства, а также их валовой массе или объеме.

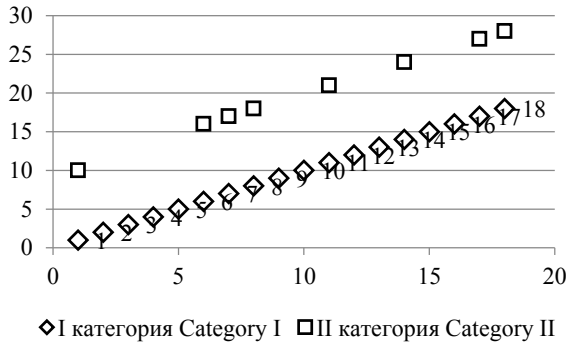


Рисунок 2. Перечень материалов, предоставляемых по объектам I и II категории при оценке их негативного воздействия на окружающую среду: 1 – виды и объем производимой продукции; 2..5, 8 – информация об использовании сырья, воды, электрической энергии, тепловой энергии; о реализации природоохранных мероприятий; 6, 7, 9, 10, 13 – сведения об авариях и инцидентах, повлекших НВОС, о применении НДТ для выбросов, о стационарных источниках ОНВ, сведения о применении НТД для сбросов; 11, 14 – показатели для расчета массы выбросов (сбросов) загрязняющих веществ; 12, 15 – технологические показатели источников выброса (сброса) загрязняющих веществ; 16 – технологические нормативы физических воздействий; 17 – сводные данные по образованию отходов; 18 – Проект программы производственного экологического контроля

Figure 2. List of materials provided for objects of category I and II when assessing their negative impact on the environment: 1-types and volume of products produced; 2..5, 8 – information about the use of raw materials, water, electricity, heat; implementation of environmental measures; 6, 7, 9, 10, 13 – information on accidents and incidents that caused NVOS, on the use of BAT for emissions, on stationary sources of ONV, information on the use of NTD for discharges; 11, 14 – indicators for calculating the mass of emissions (discharges) of pollutants; 12, 15 – technological indicators of sources of emission (discharge) of pollutants; 16 – technological standards of physical impacts; 17 – summary data on waste generation; 18 – Draft program for industrial environmental control

Декларация должна включать информацию о виде и объеме производимой продукции; о реализации природоохранных мероприятий; об авариях и инцидентах, повлекших негативное воздействие на окружающую среду; о массе выбросов загрязняющих веществ; о массе сбросов загрязняющих веществ; о массе или объеме образования и размещения отходов с приложением расчетов нормативов выбросов, сбросов, лимитах образования отходов; о программе производственного экологического контроля [8].

На основе данных, приведенных в декларации, производится расчет платы за выбросы, сбросы в пределах НДВ, НДС; в пределах ВРВ, ВРС; за размещение отходов в пределах лимитов на размещение отходов; за размещение отходов с превышением установленных лимитов на их размещение либо указанных в декларации о воздействии на окружающую среду; при превышении выбросов загрязняющих веществ или сбросов загрязняющих веществ, установленных в декларации о воздействии на окружающую среду.

Постановлением Правительства РФ от 24.01.2020 № 39 установлено, что в 2020 году применяются ставки платы, установленные на 2018 год, с использованием дополнительно к иным коэффициентам коэффициента 1,08.

С 1 января 2020 года в целях стимулирования юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих хозяйственную и (или) иную деятельность, к проведению мероприятий по снижению негативного воздействия на окружающую среду и внедрению наилучших доступных технологий, при исчислении платы за негативное воздействие на окружающую среду к ставкам такой платы применяются дополнительные коэффициенты (п. 5 ст. 16.3 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»), приведенные на рисунке 3.

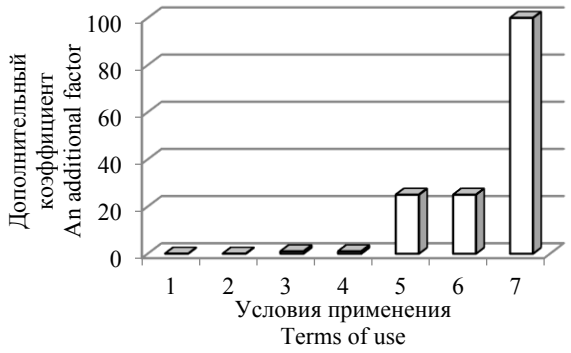


Рисунок 3. Дополнительные коэффициенты к ставкам платы за НВОС

Figure 3. Additional coefficients to the rates of payment for NVOS

Дополнительный коэффициент, соответствующей критерию 1, применяется, если m^{A}, m^{B} находится в пределах технологических нормативов, достигнутых после внедрения на предприятии наилучших доступных технологий. Для применения критерия 2 необходимо, чтобы m^{O} были использованы на самом предприятии или переданы на переработку в другое производство в течение установленного срока. При наличии на предприятии выбросов, сбросов загрязняющих веществ в пределах НДВ, НДС применяют дополнительный коэффициент, соответствующий критерию 3. Для m^{O}, находящихся в пределах лимитов размещения, дополнительный коэффициент должен соответствовать критерию 4. Условия, соответствующие критериям 1–4, обеспечивают минимизацию негативного воздействия на окружающую природную среду.

В случае организации нового производства, введении новой технологии или технологического процесса, а также при увеличении мощности действующего производства предприятия обязаны получить разрешение на дополнительный временный выброс, сброс. В этом случае при расчете платы за дополнительную разрешенную к выбросу, сбросу массу загрязняющих веществ используют дополнительный коэффициент, соответствующий критерию 5. На объектах III категории также можно использовать этот дополнительный коэффициент, если фактический выброс, сброс превышает НДВ, НДС. Такой же дополнительный коэффициент можно применять при расчете платы за сверхлимитное размещение отходов производства и потребления для объектов II категории. Для объектов, относящихся к I и II категории, при сверхлимитном выбросе, сбросе применяют самый высокий дополнительный коэффициент 100, поскольку происходит значительное негативное воздействие на ОПС.

Обозначения m^{A}, m^{B}, m^{O} показывают массы выбросов, сбросов загрязняющих веществ, массу отходов производства и потребления соответственно.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 плата за загрязнение почв не предусматривается. Учитывается и вносится плата только при размещении отходов (рисунок 4).

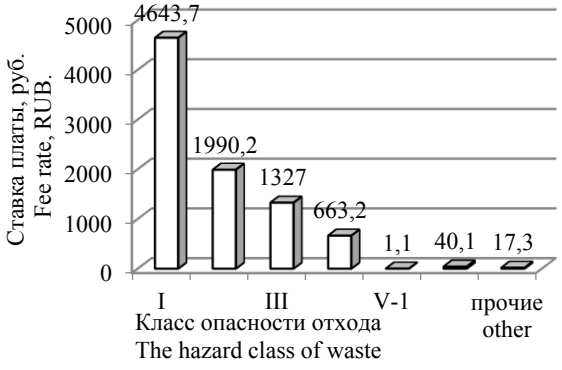


Рисунок 4. Ставки платы при размещении отходов (в ред. Постановления Правительства РФ от 29.06.2018 № 758)

Figure 4. payment Rates for waste disposal (ed. Resolutions of the Government of the Russian Federation of 29.06.2018 № 758)

Распоряжением Правительства РФ от 8.07.2015 г. № 1316-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды» для почв также определен список из 63 наименований токсичных соединений. В этот список в первую

очередь входят соединения 1–3 классов опасности, среди них соединения, отнесенные к I классу опасности: бензапирен, мышьяк, фтор, кадмий, ртуть, цинк, свинец; ко II классу опасности: никель, сурьма, кобальт, хром, медь; к III классу опасности: ванадий, марганец, стронций. Представлен широкий перечень пестицидов, органических соединений. Среди них следует особо отметить широко распространенные: бензин, бензол, гексахлорбензол, нефтепродукты, метил- и этилбензол. А также глифосат, дикамба, ДДТ, карбафос, метафос и пр. Для более точной оценки степени токсического воздействия поллютантов на почвы и определения класса опасности отходов, размещаемых на почвах, проводится исследования по методу, приведенному в [9].

Указанные токсичные соединения частично попадают в почвы с отходами производства и потребления, поэтому в целях предотвращения ущерба окружающей среде особую важность представляет решение широкомасштабной задачи извлечения тяжелых металлов из отходов перед их размещением на полигонах и в специально отведенных местах хранения [10].

Разработаны и применяются на промышленных предприятиях многообразные физические, химические и физико-химические методы извлечения металлов из руд и различных пород, сопровождающиеся высокими энергозатратами или образованием вторичных отходов и токсичных сбросов и выбросов [11]. Кроме того, применение указанных методов связано с высокими финансовыми затратами на их реализацию. Средний уровень затрат на детоксикацию почв приведен на рисунке 5.

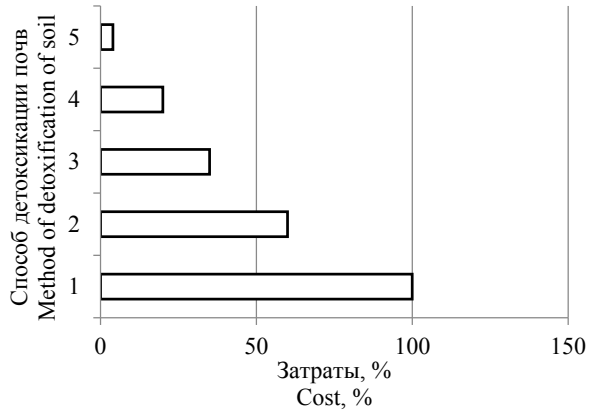


Рисунок 5. Оценка уровня затрат на детоксикацию почв различными способами: 1 – экстракция ксенобиотиков; 2 – удаление почв с их заменой; 3 – промывка загрязненных почв; 4 – термическое разложение ксенобиотиков; 5 – микробная ремедиация

Figure 5. Estimation of the level of costs for soil detoxification by various methods: 1 – extraction of xenobiotics; 2-removal of soils with their replacement; 3-washing of contaminated soils; 4-thermal decomposition of xenobiotics; 5 – microbial remediation

По данным, приведенным на рисунке, видно, что использование способа ремедиации с помощью микроорганизмов требует дополнительных затрат в 6–25 раз меньше. Однако для эффективной очистки необходимо на обеззараживаемых почвах обеспечить комфортную среду микроорганизмам-ремедиаторам: температуру, pH, снабжение кислородом, биогенными элементами (N, P).

В этой связи наиболее безопасными для окружающей среды являются методы микробиологического выщелачивания металлов из руд и пород и биохимической ремедиацией почв. При этом особое внимание следует уделять почвам, содержащим тяжелые металлы в сравнительно низких концентрациях, поскольку в этом случае следует производить тщательный выбор и селективную адаптацию штаммов микроорганизмов. Такой подход приводит к уменьшению массы накапливаемых отходов, содержащих тяжелые металлы, и, соответственно, увеличить предотвращенный ущерб.

При наличии небольшой концентрации токсикантов экономически выгоден способ симулирования аборигенной микрофлоры загрязненной территории, что не требует специальных разрешений на применение микроорганизмов – биодеструкторов. В случае тяжелых загрязнений следует методами селекции определить самую активную часть природной микрофлоры непосредственно на месте загрязнения, подобрать оптимальные условия культивирования и производства биомассы, затем вновь заселить ее на загрязненные территории и произвести активизацию применяемыми агротехническими способами.

При токсической атаке экологически чистых территорий, где нет активных противотоксичных штаммов, процесс подбора и активации микрофлоры дороже, длительнее, должен включать следующие этапы: отбор наиболее активных специфических для конкретного поллютанта штаммов-деструкторов, подбор оптимальных условий их культивирования, промышленную наработку биопрепаратов, их последующее внесение в природную среду и создание подходящих условий для их жизнедеятельности.

Обработка загрязненных объектов окружающей среды может быть поведена способами in situ (детоксикация по месту загрязнения), on site (вблизи места загрязнения), ex situ (детоксикация с вывозом на специально подготовленные территории, на предприятия, где создаются оптимальные условия для активизации микрофлоры и биопрепаратов). В этом случае рекомендуется использовать биореакторы и биофильтры с минеральной или органической загрузкой,

комбинацию с физическими методами экстракции паром, адсорбции, с химическими методами детоксикации.

Промышленные способы биовосстановления ex situ дороги, поэтому развитие методов биоремедиации применительно к очистке почв и грунтов в нашей стране, как правило, идет по пути использования наиболее простого способа in situ с внесением специальных биопрепаратов, ассортимент которых неуклонно расширяется.

Согласно действующей нормативной документации в области охраны окружающей среды необходимо выполнить все установленные требования по минимизации НВОС. В этом случае при предоставлении необходимого комплекта документации, приведенной на рисунке 2, выдается комплексное экологическое разрешение [12].

Многолетние испытания и накопленный опыт оздоровления отдельных объектов окружающей среды доказывает безусловное преимущество биотехнологических подходов к нивелированию большинства видов негативного воздействия, особенно по восстановлению такого неоценимого природного ресурса как почвы и снижению количества размещаемых на них отходов [13].

На первое место в первом случае безусловно выходит метод биоремедиации, основанный на восстановлении зараженных органическими отходами земель при помощи живых организмов, в певую очередь на месте загрязнения (in situ), обеспечивающий низкую себестоимость работ, безопасность для окружающей среды, возможность извлечения ценных веществ из биомассы растений, высокий уровень очистки. При этом посредством биостимулирования проводится активизация жизнедеятельности природного сообщества (абиогенной микрофлоры) путем создания оптимальных условий окружающей среды; с помощью биоаугментации обеспечивается внесение экзогенного биологического материала в природную среду и ее дальнейшее восстановление; при биоконцентрировании идет накопление вещества-загрязнителя в локальной зоне путем адсорбции или иммобилизации. И только в том случае, когда все перечисленные приемы не дают ожидаемого эффекта, необходимо производить обработку загрязненных почв в биореакторах, что позволяет достичь высоких скоростей деструкции загрязняющих веществ за счет оптимальных условий развития микроорганизмов [14].

Растения также являются биодеградантами. Их роль для деградации загрязняющих веществ особенно возрастает при низких концентрациях. На рисунке 6 показана роль различных процессов биодерградации загрязняющих веществ, осуществляемой растениями.

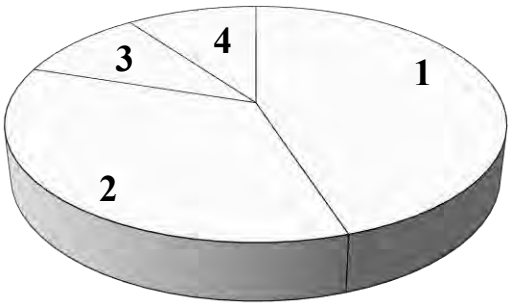


Рисунок 6. Биодеградация ксенобиотиков растениями: 1 – ризофильтрация; 2 – фитоэкстракция; 3 – фитовалитилизация; 4 – фитостабилизация

Figure 6. Biodegradation of xenobiotics by plants: 1 – rhizofiltration; 2 – phytoextraction; 3 – phytovolatilization; 4 – phytostabilization

Наибольший вклад в биодеградацию вносят процессы ризофильтрации и фитоэкстракции, основанные на всасывании поллютантов корнями растений. Однако немаловажную роль для биодеградации загрязняющих веществ, находящихся в воздухе, играют процессы фитоватилизации и фитостабилизации, когда листья растений адсорбируют на своей поверхности летучие вещества и переводят их в менее подвижную форму. Риск накопления ксенобиотиков в объектах окружающей среды при этом падает.

Основным подходом для снижения объемов накапливаемых органических отходов остается анаэробное сбраживание в метантенках, двухъярусных отстойниках, септиках, осветлителях-перегнивателях, на открытых и закрытых полигонах, иловых площадках, включающее деструкцию на 25 – 45% органики; обеззараживание патогенной микрофлоры; устранение неприятного запаха; ускоренную сушку осадка в естественных условиях на специально отведенных площадках или принудительно на фильтр – прессах, вакуумных фильтрах и прочих установках.

Этот наиболее щадящий метод воздействия позволяет использовать питательные элементы отходов после обезвоживания для технической рекультивации, сохранять в органической или аммонийной форме практически весь азот исходного отхода.

Аэробный экзотермический процесс биологического окисления органического вещества осадка, в котором органический субстрат подвергается биодеградации смешанной популяцией микроорганизмов, обеспечивает насыщение почвы полезными веществами, снижение массы вносимых удобрений, улучшение воздухопроводности почвы, удерживание влаги в почве, получение экологически чистого удобрения. В то же время микроорганизмы, обитающие в компосте, подавляют рост патогенных бактерий, защищая растение от заболеваний.

Широкомасштабная программа по снижению количества отходов производства и потребления потребовала ужесточения нормативов утилизации отходов. Так по отдельным группам товаров и упаковки, относящимся к производству пищевой продукции нормативы утилизации возросли от 1,5 до 3 раз. По категориям товаров, у которых рост ставок был незначительным, тарифы индексируются по показателю среднегодового индекса потребительских цен за 2018 год. В результате должны быть решена задача стимулирования производителей к экономии сырья и самостоятельной утилизации изготовленных товаров.

В целях регулирования деятельности по обращению с отходами и минимизации их размещения, хранения, захоронения на территориях поселений, сельскохозяйственных угодьях и пр. постановлением Правительства РФ [15] введен экологический сбор (налог) на товары, продукцию и их упаковку, подлежащие утилизации. Экологический сбор рассчитывается посредством умножения ставки экологического сбора [16] на массу выпущенного товара за календарный год, предшествующий отчетному периоду, либо на массу выпущенной в обращение на территории Российской Федерации упаковки товара, реализованной для внутреннего потребления на территории Российской Федерации за календарный год, предшествующий отчетному периоду, и на норматив утилизации [17], установленный на отчетный период и выраженный в относительных единицах.

Для разработки мероприятий по снижению НВОС на первый план выходит экспертная оценка экологической составляющей бизнеса. Эффективная экологическая политика во всех сферах бизнеса должна сопровождаться раскрытием экологических инициатив в информационно-коммуникационных сетях посредством маркетинговых акций, что при росте интереса к экологически безопасному образу жизни позволит показать свое конкурентное преимущество тому бизнесу, чье воздействие на объекты окружающей среды окажется минимальным.

Заключение

Проанализированы основные подходы биотехнологической защиты объектов окружающей среды, нацеленной на эффективное использование природных ресурсов, отходов производства и потребления. Оценены современные способы и подходы оздоровления окружающей среды, включающие минимизацию негативного воздействия. В целях предотвращения ущерба окружающей среде отмечена необходимость извлечения токсичных тяжелых металлов из отходов перед их размещением для хранения и захоронения. Показано преимущество биохимической ремедиации почв для выщелачивания металлов из руд и пород с селекцией и специализированной адаптацией рабочих штаммов микроорганизмов. Для обеспечения экологической безопасности товарной продукции, объектов окружающей среды показана необходимость масштабного стимулирования производителей к внедрению таких технологических процессов и разработке такой продукции, которая в минимальной степени загрязняет природную среду и среду обитания человека.

Литература

1 Плотникова Р.Н. Решение задач минимизации негативного воздействия на окружающую среду антропогенных факторов // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение: сборник научных статей и докладов V Международной научно-практической конференции. Воронеж. 2018. С. 352–356.

2 Kumar R.R., Elavarasan G., Kannan M., Karthikeyan D. Standards for environmental protection in India // International journal of scientific and technology research. 2020. № 9. P. 319–323.

3 Плотникова Р.Н. Совершенствование экономического механизма стимулирования средозащитной деятельности предприятий // Экономика. Инновации. Управление качеством. 2016. № 4 (17). С. 61.

4 Wen B.Sh. Standards of water environmental protection and practical removal technologies of emerging contaminants // Huanjing Kexue Xuebao/Acta Scientiae Circumstantiae. 2018. № 38. P. 847–857

5 Menezo Y., Dale B., Elder K. The negative impact of the environment on methylation/epigenetic marking in gametes and embryos: A plea for action to protect the fertility of future generations // Molecular Reproduction and Development. 2019. V. 86. P. 1273–1282. doi: 10.1002/mrd.23116

6 Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное на окружающую среду, к объектам I, II. III и IV категорий: постановление Правительства РФ от 28 сентября 2015 г. № 1029.

7 О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 21.07.2014 № 219-ФЗ.

8 Об утверждении декларации о воздействии на окружающую среду и порядка ее заполнения, в том числе в форме электронного документооборота, подписанного усиленной квалифицированной электронной подписью: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 11.10.2018 № 509.

9 Попова Л.В., Репин П.С., Корчагин В.И., Плотникова Р.Н. Использование метода фитотестирования для определения класса опасности отходов // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 23. С. 49–53. doi: 10.18412/1816–0395–2019–09–49–53.

10 Lu R.X.Z., Radisic M. Organ-on-a-chip platforms for evaluation of environmental nanoparticle toxicity // Bioactive Materials. 2021. V. 6. № 9. P. 2801-2819. doi: 10.1016/j.bioactmat.2021.01.021

11 Kot A.M. et al. Biotechnological Methods of Management and Utilization of Potato Industry Waste – a Review // Potato Research. 2020. V. 63. P. 431–447.

12 Jilcha K., Kitaw D. Industrial occupational safety and health innovation for sustainable development // Engineering science and technology, an international journal. 2017. V. 20. №. 1. P. 372-380. doi: 10.1016/j.jestch.2016.10.011

13 Amenorfenyo D.K. et al. Microalgae brewery wastewater treatment: Potentials, benefits and the challenges // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2019. V. 16. doi:10.3390/ijerph16111910.

14 Hussain I. et al. Microbe and plant assisted-remediation of organic xenobiotics and its enhancement by genetically modified organisms and recombinant technology: a review // Science of The Total Environment. 2018. V. 628. P. 1582-1599. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.037

15 О порядке взимания экологического сбора: постановление Правительства РФ от 08.10.2015 г. № 1073.

16 Błaszczyk M.M., Sęk J.P., Przybysz Ł. Modeling and experimental data of the flow of highly concentrated emulsions in porous media // Engineering Science and Technology, an International Journal. 2020. V. 23. № 6. P. 1444-1454.

17 О нормативах утилизации отходов от использования товаров на 2018–2020 гг.: распоряжение Правительства РФ от 28 декабря 2017 г. № 2971-р.

18 Mahtab M.S., Islam D.T., Farooqi I.H. Optimization of the process variables for landfill leachate treatment using Fenton based advanced oxidation technique // Engineering Science and Technology, an International Journal. 2021. V. 24. № 2. P. 428-435. doi: 10.1016/j.jestch.2020.08.013

19 Kathirvel S., Layek A., Muthuraman S. Exploration of waste cooking oil methyl esters (WCOME) as fuel in compression ignition engines: a critical review // Engineering Science and Technology, an International Journal. 2016. V. 19. № 2. P. 1018-1026. doi: 10.1016/j.jestch.2016.01.007

20 Tripathi S.M., Chaurasia S.R. Detection of Chromium in surface and groundwater and its bio-absorption using bio-wastes and vermiculite // Engineering Science and Technology, an International Journal. 2020. V. 23. № 5. P. 1153-1161. doi: 10.1016/j.jestch.2019.12.002

References

1 Plotnikova R.N. Solving the problems of minimizing the negative impact on the environment of anthropogenic factors. Food security: scientific, personnel and information support: collection of scientific articles and reports of the V International scientific and practical conference. Voronezh, 2018. pp. 352–356. (in Russian).

2 Kumar R.R., Elavarasan G., Kannan M., Karthikeyan D. Standards for environmental protection in India. International journal of scientific and technology research. 2020. no. 9. pp. 319–323.

3 Plotnikova R.N. Improving the economic mechanism for stimulating the environmental protection activities of enterprises. Economy. Innovation. Quality control. 2016. no. 4 (17). pp. 61. (in Russian).

4 Wen B.Sh. Standards of water environmental protection and practical removal technologies of emerging contaminants. Huanjing Kexue Xuebao/Acta Scientiae Circumstantiae. 2018. no. 38. pp. 847–857

5 Menezo Y., Dale B., Elder K. The negative impact of the environment on methylation/epigenetic marking in gametes and embryos: A plea for action to protect the fertility of future generations. Molecular Reproduction and Development. 2019. vol. 86. pp. 1273–1282. doi: 10.1002/mrd.23116

6 On approval of the criteria for classifying objects that have a negative impact on the environment to objects I, II. III and IV categories: Resolution of the Government of the Russian Federation of September 28, 2015 No. 1029. (in Russian).

7 On amendments to the Federal Law "On Environmental Protection" and certain legislative acts of the Russian Federation: Federal Law dated July 21, 2014 No. 219 FZ. (in Russian).

8 On the approval of the declaration on the impact on the environment and the procedure for filling it out, including in the form of electronic document management, signed with a strengthened qualified electronic signature: Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation dated 11.10.2018 No. 509. (in Russian).

9 Popova L.V., Repin P.S., Korchagin V.I., Plotnikova R.N. Using the phytotesting method to determine the hazard class of waste // Ecology and Industry of Russia. 2019. vol. 23. no. 23. pp. 49–53. doi: 10.18412/1816–0395–2019–09–49–53. (in Russian).

10 Lu R.X.Z., Radisic M. Organ-on-a-chip platforms for evaluation of environmental nanoparticle toxicity. Bioactive Materials. 2021. vol. 6. no. 9. pp. 2801-2819. doi: 10.1016/j.bioactmat.2021.01.021

11 Kot A.M. et al. Biotechnological Methods of Management and Utilization of Potato Industry Waste – a Review. Potato Research. 2020. vol. 63. pp. 431–447.

12 Jilcha K., Kitaw D. Industrial occupational safety and health innovation for sustainable development. Engineering science and technology, an international journal. 2017. vol. 20. no. 1. pp. 372-380. doi: 10.1016/j.jestch.2016.10.011

13 Amenorfenyo D.K. et al. Microalgae brewery wastewater treatment: Potentials, benefits and the challenges. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2019. vol. 16. doi:10.3390/ijerph16111910

14 Hussain I. et al. Microbe and plant assisted-remediation of organic xenobiotics and its enhancement by genetically modified organisms and recombinant technology: a review. Science of The Total Environment. 2018. vol. 628. pp. 1582-1599. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.037

15 On the procedure for collecting environmental fees: Resolution of the Government of the Russian Federation dated 08.10.2015 No. 1073. (in Russian).

16 Błaszczyk M.M., Sęk J.P., Przybysz Ł. Modeling and experimental data of the flow of highly concentrated emulsions in porous media. Engineering Science and Technology, an International Journal. 2020. vol. 23. no. 6. pp. 1444-1454.

17 On the standards for the disposal of waste from the use of goods for 2018–2020: order of the Government of the Russian Federation of December 28, 2017 No. 2971 r. (in Russian).

18 Mahtab M.S., Islam D.T., Farooqi I.H. Optimization of the process variables for landfill leachate treatment using Fenton based advanced oxidation technique. Engineering Science and Technology, an International Journal. 2021. vol. 24. no. 2. pp. 428-435. doi: 10.1016/j.jestch.2020.08.013

19 Kathirvel S., Layek A., Muthuraman S. Exploration of waste cooking oil methyl esters (WCOME) as fuel in compression ignition engines: a critical review. Engineering Science and Technology, an International Journal. 2016. vol. 19. no. 2. pp. 1018-1026. doi: 10.1016/j.jestch.2016.01.007

20 Tripathi S.M., Chaurasia S.R. Detection of Chromium in surface and groundwater and its bio-absorption using bio-wastes and vermiculite. Engineering Science and Technology, an International Journal. 2020. vol. 23. no. 5. pp. 1153-1161. doi: 10.1016/j.jestch.2019.12.002

Сведения об авторах

Раиса Н. Плотникова к.х.н., доцент, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, yy@vsuet.ru
https://orcid.org/0000-0001-9559-4443

Information about authors

Raisa N. Plotnikova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, industrial ecology, equipment for chemical and petrochemical plants department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, yy@vsuet.ru
https://orcid.org/0000-0001-9559-4443

Вклад авторов

Раиса Н. Плотникова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Raisa N. Plotnikova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/01/2021	**После редакции** 15/02/2021	**Принята в печать** 01/03/2021

Received 11/01/2021	**Accepted in revised** 15/02/2021	**Accepted** 01/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-138-145 Оригинальная статья/Research article
УДК 640 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Повышение эффективности газообмена при алиментарной биокоррекции пищевого статуса студентов и преподавателей инженерного ВУЗа

Наталья С. Родионова [1] rodionovast@mail.ru 0000-0002-6940-7998
Евгений С. Попов [1] e_s_popov@mail.ru 0000-0003-3303-3434
Наталья А. Захарова [1] pastukhova_na@mail.ru 0000-0002-1584-0024
Наталия С. Черкасова [1] cherkasovanatalia@mail.ru 0000-0002-8235-4575
Владимир А. Шолин [1] daztergritch@gmail.com 0000-0002-8567-6346

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Представлены результаты исследований алиментарной коррекции эффективности процессов газообмена в легких на примере студентов и преподавателей инженерного ВУЗа при ежедневном употреблении пищевых продуктов с известными биокорректирующими свойствами: 3,5 г масла из зародышей пшеницы (МЗП), 50 г муки из жмыха зародышей пшеницы (МЖЗП), 6,5 г концентрированного тканевого рыбного жира (КТРЖ) и их комбинаций с биомассой консорциума лакто - и бифидобактерий (10 г). Эффективность газообменных процессов оценивали на основе анализа дыхательного коэффициента, концентрацию углекислого газа (CO_2) и кислорода (O_2) в выдыхаемой газовой смеси определяли с помощью газоанализатора TESTO-310, капнографа МДГ-1201, значения которых фиксировали до и после ежедневного употребления исследуемых продуктов в течение 30 дней. Опытная группа состояла из добровольцев - преподавателей и студентов ВУЗа в возрасте от 16 до 65 лет, разделенных по 3-м возрастным группам: 16-24, 25-44 и 45-65 лет. Установлено, что наиболее эффективным антигипоксантом является МЖЗП, во всех возрастных группах повышение средних значений ДК составило 0,041 ед., а относительно исходных значений – 4,8%. При употреблении МЗП, изменение ДК составило 0,032, прирост относительно исходных показателей – 3,7%. По 1-ой, 2-ой и 3-ей возрастным группам среднее изменение ДК составило: 0,031, 0,036 и 0,043 ед., относительно исходных показателей рост составил 3,5, 4,2 и 5,0% соответственно. Доказано, что комбинирование исследуемых биокорректоров с активными формами пробиотических микроорганизмов обеспечивает более активное антигипоксантное действие для всех исследуемых продуктов, во всех возрастных группах. Эффективность МЗП возросла, повышение ДК составило 0,049 ед., для КТРЖ - 0,024 ед. Рост ДК относительно исходных значений составил 5,7 и 2,9% соответственно. Синергизм действия биокорректоров в комбинации с пробиотиками, по возрастным группам составил - 0,035, 0,033 и 0,038 ед., что относительно исходных показателей составило 4,1, 3,8 и 4,5%. Полученные данные позволяют констатировать возможность значимого алиментарного воздействия на эффективность газообмена в легких, доказывают антигипоксантные свойства МЗП, МЖЗП, КТРЖ, а также повышение эффективности комбинаций данных биокорректоров с активными формами пробиотических микроорганизмов.

Ключевые слова: дыхательный коэффициент, биокорректоры, рацион питания, пробиотические микроорганизмы, масло, зародыши пшеницы, мука, жмых, криоконцентрирование, рыбный жир

Increasing the efficiency of gas exchange during alimentary biocorrection of the nutritional status of students and teachers of an engineering university

Natalya S. Rodionova [1] rodionovast@mail.ru 0000-0002-6940-7998
Evgeny S. Popov [1] e_s_popov@mail.ru 0000-0003-3303-3434
Natalya A. Zaharova [1] pastukhova_na@mail.ru 0000-0002-1584-0024
Natalya S. Cherkasova [1] cherkasovanatalia@mail.ru 0000-0002-8235-4575
Vladimir A. Sholin [1] daztergritch@gmail.com 0000-0002-8567-6346

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The results of studies of the alimentary correction of the efficiency of gas exchange processes in the lungs are presented on the example of students and teachers of an engineering university with the daily use of food products with known bio-corrective properties: 3.5 g of wheat germ oil (MZP), 50 g of flour from wheat germ meal (MZHP), 6.5 g of concentrated tissue fish oil (CTR) and their combinations with the biomass of the consortium of lacto - and bifidobacteria (10 g). The efficiency of gas exchange processes was assessed based on the analysis of the respiratory coefficient, the concentration of carbon dioxide (CO_2) and oxygen (O_2) in the exhaled gas mixture was determined using a TESTO-310 gas analyzer, an MDG-1201 capnograph, the values of which were recorded before and after daily consumption of the studied products during 30 days. The experimental group consisted of volunteers - teachers and university students aged 16 to 65 years, divided into 3 age groups: 16-24, 25-44 and 45-65 years old. It was found that the most effective antihypoxant is MZHP, in all age groups the increase in the mean values of DC was 0.041 units, and relative to the initial values - 4.8%. With the use of MW, the change in DC was 0.032, an increase relative to the initial indicators - 3.7%. For the 1st, 2nd and 3rd age groups, the average change in DC was: 0.031, 0.036 and 0.043 units, relative to the initial indicators, the growth was 3.5, 4.2 and 5.0%, respectively. It has been proven that the combination of the investigated biocorrectors with active forms of probiotic microorganisms provides a more active antihypoxant effect for all investigated products, in all age groups. The efficiency of the minimum wage has increased, the increase in DC was 0.049 units, for CTR - 0.024 units. The growth of DC relative to the initial values was 5.7 and 2.9%, respectively. The synergism of the action of biocorrectors in combination with probiotics, by age groups, was 0.035, 0.033 and 0.038 units, which relative to the initial indicators was 4.1, 3.8 and 4.5%. The data obtained make it possible to state the possibility of a significant alimentary effect on the efficiency of gas exchange in the lungs, prove the antihypoxant properties of MZP, MZHP, CTR, as well as an increase in the effectiveness of combinations of these biocorrectors with active forms of probiotic microorganisms.

Keywords: respiratory quotient, biocorrectors, diet, probiotic microorganisms, oil, wheat germ, flour, cake, cryoconcentration, fish oil

Для цитирования
Родионова Н.С., Попов Е.С., Захарова Н.А., Черкасова Н.С., Шолин А.В. Повышение эффективности газообмена при алиментарной биокоррекции пищевого статуса студентов и преподавателей инженерного ВУЗа // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 138–145. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-138-145

For citation
Rodionova N.S., Popov E.S., Zaharova N.A., Cherkasova N.S., Sholin A.V. Increasing the efficiency of gas exchange during alimentary biocorrection of the nutritional status of students and teachers of an engineering university. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 138–145. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-138-145

© 2021, Родионова Н.С. и др. / Rodionova N.S. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Экология современного мира, особенно мегаполисов, обуславливает увеличение потребности нашего организма в кислороде, недостаток которого не покрывается в течение дня. Длительное нахождение в помещениях с большим количеством людей, малоподвижный образ жизни, высокие умственные и нервные нагрузки являются весомыми факторами, оказывающими влияние на проявление гипоксии, наступающее в организме при неадекватном снабжении тканей и органов кислородом или при нарушении утилизации кислорода. Патологическими последствиями возникновения гипоксии являются различные заболевания бронхолегочной системы, а именно хроническая обструктивная болезнь легких, бронхиальная астма, хроническая сердечная недостаточность, ожирение, вирусные заболевания и др. Одной из функций дыхания является газообмен в альвеолах легких, обеспечивающий за счет диффузии молекулярного кислорода и двуокиси углерода адекватную метаболическому запросу концентрацию этих газов в артериальной крови. Показателем эффективности газообмена является дыхательный коэффициент (ДК), рассчитывающийся как отношение количества, выделенного из легких углекислого газа (CO_2) к потребленному за тот же период времени кислороду (O_2), который показывает, какие вещества преимущественно окисляются [1, 2]. При окислении белков ДК равен 0,81, жиров – 0,7, углеводов – 1,0, при смешанном питании – 0,82. При голодании, когда в организме усиливается диссимиляция жиров, ДК может падать до 0,6 и превышать 1,0 при интенсивном накоплении в организме жиров. Также ДК может превышать 1,0 при гипервентиляции легких, за счет дополнительного выведения из организма CO_2, находившегося в связанном состоянии [3].

В основе всех процессов жизнедеятельности организма лежат энергетические превращения. Потенциальная энергия органических соединений, поступающих с пищей, переходит в тепловую, механическую, электрическую, энергию химических связей, которая затем расходуется на пластические процессы, совершение мышечной работы, дыхания, пищеварения, кровообращения, поддержание температуры тела, преодоление осмотических сил во время секреторных и выделительных процессов, поддержание мембранных потенциалов. В свою очередь процесс трансформации пищи в энергию зависит от множества физиологических, биохимических и технологических факторов. Изменяя состав пищевых систем посредством введения биологически активных соединений – биокорректоров (витамины, ферменты, антиоксиданты, эубиотики), возможно оказывать биокорректирующее воздействие на совокупность обменных процессов, в частности газообмена в легких, корректировать гипоксические состояния, восстанавливать равновесное состояние биосистем организма [4].

В качестве алиментарных биокорректоров были исследованы биологически активные добавки: масло из зародышей пшеницы «Витазар» (МЗП), мука из жмыха зародышей пшеницы «Витазар» (МЖЗП), криоконцентрированный тканевый рыбный жир «Эйконол» (КТРЖ), активированный консорциум лакто – и бифидобактерий «Биоматрикс», имеющий в составе *Streptococcus thermophilus*, *Casei subsp. Rhamnosus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. Adolescentis* в концентрации активных клеток не менее 10^9 КОЕ/г на молочной основе.

Биокорректирующие свойства МЗП обусловлены высоким содержанием витаминов А, Д, Е, полиненасыщенных жирных кислот, октокозанола и подтверждены обширными клиническими испытаниями в терапии различных заболеваний – сердечно-сосудистых, гастроэнтерологических, диабета, гепатита, бесплодия, ожоговых и раневых повреждений и т. д. [4–6].

Побочным продуктом производства МЗП является белково-углеводная составляющая зародыша (жмых) с остаточным содержанием масла 6–8% [7], зарегистрированная, как БАД мука «Витазар» [8–10]. Остаточная липидная фракция в муке из жмыха зародышей пшеницы (МЖЗП) идентична по химическому составу отпрессованному маслу и гипотетически сохраняет его биологические активные свойства. Кроме того, МЖЗП содержит до 30% полноценного по аминокислотному составу белка, до 30% углеводов, представленных пентозанами, моно-, ди-, олиго- и полисахаридами. В значительных количествах в МЖЗП содержатся витамины B_1, B_2, B_6, PP, Е, К, макро – и микроэлементы – Zn, Mn, Mg, Ca, K, Fe, Se, P.

Криоконцентрированный тканевый рыбный жир (КТРЖ) – БАД «Эйконол» – ценный активный биорегулятор обменных процессов. Его получают в результате физико-химического воздействия на рыбное сырье, позволяющего разрушить мембрану клетки, с последующим механическим отделением липидной фракции от остальной части обработанного сырья. КТРЖ является источником ПНЖК ω-3 – эйкозапентаеновой и докозагексаеновой, витаминов А, D и Е.

Клинические исследования, проведенные в ряде стран, однозначно показали, что липиды морских организмов являются эффективным средством коррекции нарушений липидного обмена в организме человека, профилактируют заболевания сердечно-сосудистой системы, повышенную свертываемость крови и др. [11–13].

К биокорректирующим свойствам пробиотических микроорганизмов относятся трофическое и энергетическое обеспечение макроорганизма, энергообеспечение эпителия, стимуляция иммунной системы, образование иммуноглобулинов, регулирование перистальтики кишечника, участие в регуляции, дифференциации и регенерации эпителия кишечника, обеспечение цитопротекции, детоксикация, выведение эндо- и экзогенных токсичных соединений, разрушение мутагенов, активация лекарственных соединений, образование сигнальных молекул (нейро- и трансмиттеров), поддержание ионных, физических и химических параметров гомеостаза приэпителиальной зоны, поставка субстратов для липо- и глюкогенеза [14–17].

Целью работы является сравнительное исследование антигипоксантных нутриентов растительного (МЗП, МЖЗП) и животного (КТРЖ) происхождения и их влияния на эффективность газообмена с оценкой ДК, на примере студентов и преподавателей ВУЗа, а также выявление роли пробиотического фактора в повышении антигипоксантных свойств целевых биологически активных веществ.

Содержание биоактивных компонентов в исследуемом МЗП составило: витамина Е – 180–200 мг/100 г, поликозанола – 1,5–8,0 мг/100 г, ПНЖК – 60 г/100 г, МЖЗП содержал белка – 30–35 г/100 г, ПНЖК – 3–4 г/100 г, усвояемых углеводов – 45–47 г/100 г, пищевых волокон – 18–26 г/100 г, витамина Е – 25–30 мг/100 г (производство ООО «Пулат», РФ); КТРЖ содержал витаминов А – 6,60 мг/100 г, D – 100 мкг/100г, Е – 100 мг/100 г, ПНЖК – не менее 25 г/100 г (производство ООО НПП «Тринита», РФ); биомасса консорциума лакто – и бифидобактерий «Биоматрикс» (*Streptococcus thermophilus*, *Casei subsp. Rhamnosus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*) характеризовалась концентрацией активных клеток не менее 10^9 КОЕ/мл, титруемая кислотность составляла 80–100°Т, pH 4,61–4,65 (производство ФГБОУ ВО ВГУИТ, РФ). Рост биомассы проводили на обезжиренном молоке в диапазоне температур 37–42 ºС до pH 4,4–4,7, нормативное время ферментации составляло 12–14 часов.

Дыхательный коэффициент (ДК) рассчитывали, как отношение концентраций выделяемого из организма углекислого газа (CO_2) в составе выдыхаемой газо-воздушной смеси, к поглощаемому за то же время кислороду (O_2).

Для исследования концентрации O_2 и CO_2 в выдыхаемой газовой смеси использовали газоанализатор TESTO-310 «ООО Тесто Рус», чувствительность прибора по O_2 составила: диапазон концентраций 0 – 21% об, разрешение 0,01% об, погрешность ± 0,2% об, по CO_2 диапазон концентраций: 0 – 100% об., разрешение 0,01% об, погрешность ± 0,2% об., а также капнограф МДГ-1201, диапазон измерения концентрации CO_2 составлял 0 – 13% об, погрешность ± 0,3%. В помещении (лабораторно-лекционной аудитории) принудительная вентиляция и кондиционирование отсутствовали, проветривание помещения не проводили, факторы, оказывающие существенное влияние на исходное содержание кислорода в помещении были минимизированы. Определение концентрации O_2 и CO_2 в выдыхаемой газовой смеси осуществляли сразу по окончании 90 минут аудиторных лекционных занятий, во время которых двигательная активность у всех студентов и преподавателей одинакова и минимальна. Перед проведением экспериментальных исследований пациент находился в состоянии покоя в течение 10 мин. Для получения стабильных и более значимых по уровню содержания CO_2 результатов, набор воздуха в легкие сопровождали задержкой выдоха не менее, чем на 15–20 сек до установления постоянных показателей концентрации O_2 и CO_2 на дисплее прибора.

Определение каждого из исследуемых показателей проводили в трехкратной повторности у всех обследуемых студентов и преподавателей с последующим получением среднеарифметических значений.

Оценку достоверности полученных среднеарифметических значений исследуемых параметров проводили по непараметрическому критерию статистики Манна-Уитни.

В процессе исследований пациенты-добровольцы были разделены на четыре группы. Первой группе выдавали по 3,5 г МЗП, вторая группа употребляла МЖЗП в количестве, обеспечивающем поступление 3,5 г масла, что соответствовало 50 г жмыха, в виде кулинарного изделия [13]. Третья и четвертая группа употребляли пробиотическую эмульсию, содержащую 3,5 г МЗП или 6,5 г КТРЖ в комбинации с 10 г биомассы лакто- и бифидобактерий. Стабильность эмульсий составляла не менее 70–75%, благодаря высокой экзополисахаридной активности биомассы пробиотиков. Данные пищевые формы употреблялись добровольцами не зависимо от приемов пищи, без коррекции основного рациона. Длительность экспериментальных исследований составила 30 дней, в начале приема и в конце приема биокорректоров контролировали исследуемые показатели. В день отбора проб исследуемые биокорректоры испытуемым

не выдавались, временной интервал между употреблением исследуемых продуктов и забором проб составлял не менее 24-х часов.

В состав четырех опытных групп пациентов добровольно вошли мужчины и женщины в возрасте от 16 до 65 лет – студенты и преподаватели Воронежского государственного университета инженерных технологий, ежедневно проводящие не менее 6 часов в одинаковых условиях – помещениях университета. Все обследуемые ранее не употребляли исследуемые биокорректоры.

Численность опытных групп составила 70, 36, 58 и 51 человек соответственно, численность контрольных групп, которые не употребляли исследуемые продукты, была аналогичная (таблица 1).

Таблица 1.

Состав и численность экспериментальных групп

Table 1.

Composition and number of experimental groups

Биокорректор Biocorrector	Возраст пациентов, лет Patient age, years			Итого Total
	16–24	25–44	45–65	
МЗП | MZP	35	18	17	70
МЖЗП | MZHP	24	5	7	36
Пробиотическая эмульсия с включением МЗП Probiotic emulsion with the inclusion of MZP	28	20	10	58
Пробиотическая эмульсия с включением КТРЖ Probiotic emulsion with CTR inclusion	21	20	10	51

Оценка значений дыхательного коэффициента во всех возрастных группах показала, что наиболее эффективным антигипоксантом является МЖЗП, повышение средних значений ДК по всем возрастным группам составило 0,041 ед. При приеме МЗП уровень ДК повысился на 0,032 ед., также, в среднем по всем возрастным группам (рисунок 1).

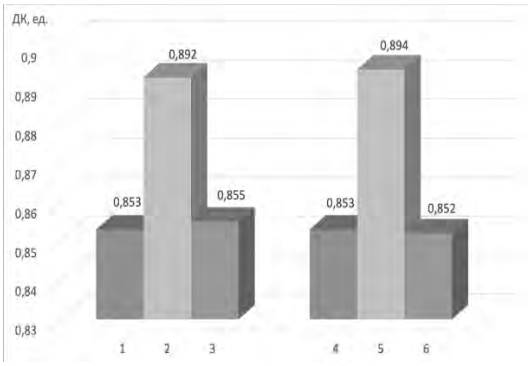


Рисунок 1. Средние численные значения ДК по исследуемым возрастным группам (1 (4) – до приема МЗП (МЖЗП); 2 (5) – после 30 дней приема МЗП (МЖЗП); 3 (6) – контрольная группа (в течение всего периода)

Figure 1. Average numerical values of DC for the studied age groups (1 (4) – before taking MZP (MZHP); 2 (5) – after 30 days of taking MZP (MZHP); 3 (6) – control group (during the entire period)

При сопоставлении полученных результатов с возрастом пациентов установлено, что в 1-ой, 2-ой и 3-ей возрастных группах повышение ДК составило 0,031, 0,036 и 0,043 соответственно (рисунок 2).

В соответствии с рассчитанными значениями критерия Манна-Уитни установлено, что выявленные различия среднеарифметических значений исследуемых показателей являются достоверными (таблица 2).

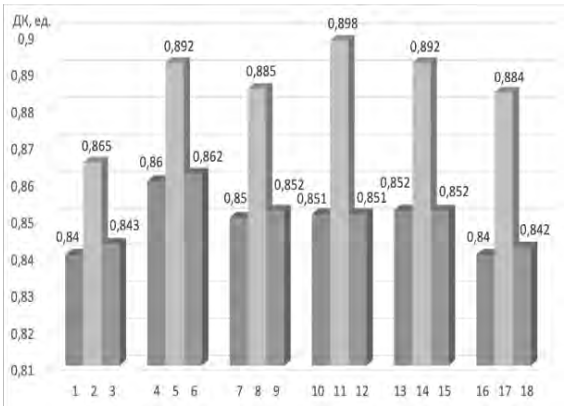


Рисунок 2. Значения ДК в исследуемых возрастных группах (1, 4, 7 (10, 13, 16) – до приема МЗП (МЖЗП) в 1-ой, 2-ой и 3-ей возрастных группах; 2, 5, 8 (11, 14, 17) – после 30 дней приема МЗП (МЖЗП) в 1-ой, 2-ой и 3-ей возрастных группах; 3, 6, 9 (12, 15, 18) – контрольная группа (в течение всего периода)

Figure 2. DC values in the studied age groups (1, 4, 7 (10, 13, 16) – before the intake of MZP (MZHP) in the 1st, 2nd and 3rd age groups; 2, 5, 8 (11, 14, 17) – after 30 days of intake of MZP (MZHP) in the 1st, 2nd and 3rd age groups; 3, 6, 9 (12, 15, 18) – control group (during the entire period)

Таблица 2.

Рассчитанные значения критерия Манна–Уитни

Table 2.

Calculated values of the Mann–Whitney test

После курса приема МЗП After the course of taking MZP	После курса приема МЖЗП After the course of taking MZHP
I группа (Group), $U_{кр}$ = 113,0 (30,0)	
97,5	23,5
II группа (Group), $U_{кр}$ = 99,0 (5,0)	
73,5	4,0
III группа (Group), $U_{кр}$ = 87,0 (8,0)	
68,0	3,5

На основе анализа результатов экспериментальных исследований установлено, что исследуемые биокорректоры МЗП и МЖЗП могут быть отнесены к алиментарным факторам биокорректирующего действия, обеспечивающим повышение эффективности газообмена легких в возрастных группах от 18 до 65 лет. На примере исследуемых биокорректоров, содержащих одинаковое количество целевого. БАВ – липидной фракции зародышей пшеницы, доказана возможность принципиально нового интегрального подхода в оценке биологической активности пищевых объектов различной природы. Более высокая эффективность воздействия МЖЗП обусловлена значительным содержанием в ее составе спектра потенциально полезных нутриентов – минеральных элементов, водорастворимых витаминов, пребиотиков, протеинов.

Следующим этапом экспериментальных исследований являлось подтверждение гипотезы о возможности повышения эффективности действия целевых БАВ посредством их сочетания с пробиотическими микроорганизмами и проведение сравнительной оценки биокорректирующего действия пробиотических эмульсий с МЗП и КТРЖ [11–13].

Установлено, что комбинирование исследуемых биокорректоров с пробиотическими микроорганизмами специфично для каждого исследуемого биокорректора (рисунок 3). Для пробиотической эмульсии с КТРЖ выявлено менее выраженное влияние на повышение ДК по сравнению с эмульсией, содержащей МЗП. При приеме пробиотической эмульсии с МЗП и КТРЖ ДК повысился на 0,049 и 0,024 ед. соответственно.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлена корреляция между возрастом пациентов и достигаемым антигипоксантным эффектом от приема рассматриваемых пробиотических форм, так в 1-ой, 2-ой и 3-ей возрастных группах выявлено повышение ДК на 0,035, 0,033 и 0,038 ед. соответственно (рисунок 4). Результаты экспериментальных исследований по приёму пробиотической эмульсии с МЗП позволяют констатировать более выраженное повышение уровня ДК на 0,017 ед. по сравнению с эффектом от приема МЗП.

Достоверность приведённых данных подтверждена значениями критерия Манна-Уитни (таблица 3).

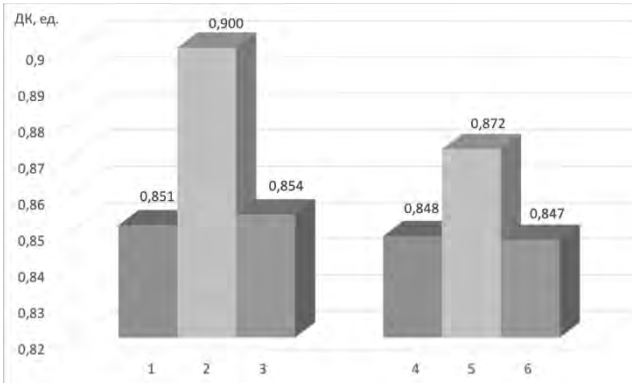


Рисунок 3. Средние численные значения ДК по исследуемым возрастным группам (1 (4) – до приема МЗП (КТРЖ); 2 (5) – после 30 дней приема МЗП (КТРЖ); 3 (6) – контрольная группа (в течение всего периода

Figure 3. Average numerical values of DC for the studied age groups (1 (4) – before taking MZP (CTR); 2 (5) – after 30 days of taking MZP (CTR); 3 (6) – control group (during the entire period)

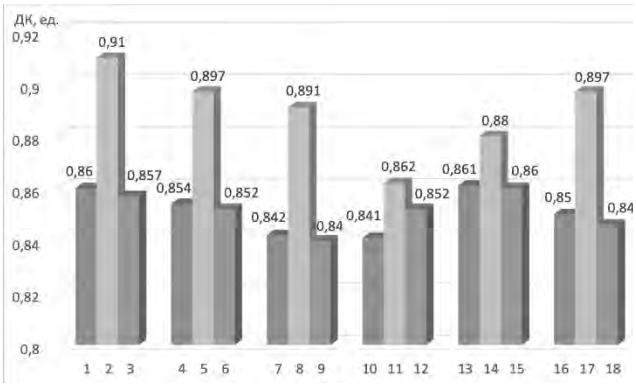


Рисунок 4. Значения ДК в исследуемых возрастных группах (1, 4, 7 (10, 13, 16) – до приёма МЗП (КТРЖ) в 1-ой, 2-ой и 3-ей возрастных группах; 2, 5, 8 (11, 14, 17) – после 30 дней приёма МЗП (КТРЖ) в 1-ой, 2-ой и 3-ей возрастных группах; 3, 6, 9 (12, 15, 18) – контрольная группа (в течение всего периода)

Figure 4. DC values in the studied age groups (1, 4, 7 (10, 13, 16) – before taking MZP (CTR) in the 1st, 2nd and 3rd age groups; 2, 5, 8 (11, 14, 17) – after 30 days of taking MZP (CTR) in the 1st, 2nd and 3rd age groups; 3, 6, 9 (12, 15, 18) – control group (during the entire period)

Таблица 3.

Рассчитанные значения критерия Манна-Уитни

Table 3.

Calculated values of the Mann-Whitney test

После курса приема пробиотической эмульсии с включением МЗП After a course of taking probiotic emulsion with the inclusion of MZP	После курса приема пробиотической эмульсии с включением КТРЖ After a course of taking probiotic emulsion with the inclusion of CTR
I группа (Group), $U_{кр}$ = 23,0 (23,0)	
16,5	16,0
II группа (Group), $U_{кр}$ = 23,0 (23,0)	
15,0	18,0
III группа (Group), $U_{кр}$ = 23,0 (23,0)	
17,0	17,5

Экспериментально установленные положительные эффекты от приёма МЗП, МЖЗП и КТРЖ при коррекции лёгочного газового обмена коррелируют с медико-биологическими показаниями их применения в терапии различных заболеваний [4–7, 11–14].

Заключение

На основе анализа результатов экспериментальных исследований установлено, что наиболее эффективным антигипоксантом является МЖЗП (выявлено повышение средних значений ДК на 0,041 ед., что относительно исходных значений составляет 4,8%). Менее выраженные изменения исследуемых параметров зафиксированы при приеме МЗП, увеличение уровня ДК зафиксировано на 0,032 ед., прирост относительно исходных показателей составил 3,7%. При сопоставлении полученных результатов с возрастом пациентов установлено, что в 1-ой, 2-ой и 3-ей возрастных группах среднее изменение ДК составило 0,031, 0,036 и 0,043 ед., относительно исходных показателей рост составил 3,5, 4,2 и 5,0% соответственно.

Анализ полученных данных показал, что совмещение употребления исследуемых биокорректоров с пробиотическими микроорганизмами в активной форме обеспечивает более значимый антигипоксантный эффект во всех возрастных группах. Выявлено повышение уровня ДК на 0,035, 0,033 и 0,038 ед. в 1-ой, 2-ой и 3-ей возрастных группах соответственно, что относительно исходных показателей составило 4,1, 3,8 и 4,5%. Установленные эффекты специфичны для каждого исследуемого биокорректора – для МЗП 0,049 ед., для КТРЖ – 0,024 ед., рост ДК относительно исходных значений составил 5,7 и 2,9% соответственно. Выявленные результаты экспериментальных исследований убедительно доказывают роль алиментарных биокорректоров в повышении эффективности газового обмена в легких вне зависимости от пола и возраста, что является особенно актуальным для лиц, страдающих легочными формами заболеваний, а также для повышения работоспособности лиц, находящихся в закрытых помещениях при малой подвижности и умственных нагрузках.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента Российской Федерации (регистрационный номер – МД-5536.2021.5).

Литература

1 Погодина С.В., Алексанянц Г.Д. Особенности физиологических механизмов регуляции газообмена в легких у пловцов разного возраста // Физиологическая культура, спорт – наука и практика. 2019. № 1. С. 53–58.

2 Шепилова А.В., Ненашева А.В. Эргоспирометрические показатели оценки физической работоспособности девушек-пловцов различных возрастных и квалификационных характеристик // Вестник ЮУрГУ. 2012. № 1. С. 61–65.

3 Норейко С.Б. Особенности газообмена здоровых людей работоспособного возраста // Медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. 2011. № 12. С. 61–63.

4 Rodionova N.S., Popov E.S., Syromyatnikov M.Y., Artemova E.A. Alimentary factors for the correction of nutritional status and physiological conditions // Proceedings of the 1st International Symposium Innovations in Life Sciences (ISILS 2019). Published by Atlantis Press, 2019. V. 7. P. 262–265. doi: 10.2991/isils-19.2019.64

5 Rundblad A., Holven K.B., Bruheim I., Myhrstad M.C. et al. Effects of fish and krill oil on gene expression in peripheral blood mononuclear cells and circulating markers of inflammation: a randomised controlled trial // Journal of nutritional science. 2018. V. 7. doi: 10.1017/jns.2018.2

6 Ottestad I., Nordvi B., Vogt G., Holck M. et al. Bioavailability of n-3 fatty acids from n-3-enriched foods and fish oil with different oxidative quality in healthy human subjects: a randomised single-meal cross-over study // Journal of nutritional science. 2016. V. 5. doi: 10.1017/jns.2016.34

7 Вишняков А.Б., Власов В.Н. Зародыш здоровья. Москва: Колос, 2011. 72 с.

8 Rodionova N.S., Popov E.S., Pozhidaeva E.A, Kustov V. Yu. et al. Impact of mechanical activation on the prebiotic properties of plant biological resources // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2019. V. 10. № 01. P. 1718–1730.

9 Голубева Л.В., Долматова О.И., Пожидаева Е.А. Новый кисломолочный продукт с вкусовыми компонентами растительного происхождения // Пищевая промышленность. 2016. № 12. С. 18–20.

10 Пожидаева Е.А, Швырева М.А., Дымовских Я.А. Исследование выживаемости молочнокислых микроорганизмов в условиях отрицательных температур // Актуальная биотехнология. 2017. № 2. С. 263.

11 Исаев В.А., Симоненко С.В. Влияние образа жизни и Эйконола на физиологическую адаптацию жирового компонента крови при артериальной гипертонии // Вопросы питания. 2016. Т. 85. № 5. С. 120–127.

12 Исаев В.А., Симоненко С.В. Морепродукты в комплексной терапии воспалительных процессов // Пищевая промышленность. 2015. № 1. С. 30–31.

13 Исаев В.А., Ашмарин И.П. Эйконол, комплекс ПНЖК, оптимизирующих когнитивную активность человека // Физиология человека. 2000. Т. 26. С. 99–104.

14 Eamonn M.M. Prebiotics and Probiotics in Digestive Health // Clinical Gastroenterology and Hepatology. 2019. V. 17. № 2. P. 333–344. doi: 10.1016/j.cgh.2018.09.028

15 Kerry R.G., Patra J. K Benefaction of probiotics for human health: A review // Journal of Food and Drug Analysis. 2018. V. 26. № 3. P. 927–939. doi: 10.1016/j.jfda.2018.01.002

16 Daliri E.B.M., Lee B.H. New perspectives on probiotics in health and disease // Food Science and Human Wellness. 2015. V. 4. № 2. P. 56–65. doi: 10.1016/j.fshw.2015.06.002

17 Valdovinos-García L.R., Abreu A.T., Valdovinos-Díaz M.A. Probiotic use in clinical practice: Results of a national survey of gastroenterologists and nutritionists // Revista de Gastroenterología de México (English Edition). 2019. V. 84. № 3. P. 303-309. doi: 10.1016/j.rgmxen.2018.10.001

18 Chang C.J., Lin T.L., Tsai Y.L., Wu T.R. et al. Next generation probiotics in disease amelioration // Journal of food and drug analysis. 2019. V. 27. № 3. P. 615-622. doi: 10.1016/j.jfda.2018.12.011

19 Kerry R.G., Patra J.K., Gouda S., Park Y. et al. Benefaction of probiotics for human health: A review // Journal of food and drug analysis. 2018. V. 26. № 3. P. 927-939. doi: 10.1016/j.jfda.2018.01.002

20 McMillan D.W., Henderson G.C., Nash M.S., Jacobs K.A. Effect of paraplegia on the time course of exogenous fatty acid incorporation into the plasma triacylglycerol pool in the postprandial state // Frontiers in Physiology. 2021. V. 12. doi: 10.3389/fphys.2021.626003

References

1 Pogodina S.V., Aleksanyants G.D. Features of physiological mechanisms of regulation of gas exchange in the lungs of swimmers of different ages. Physiological culture, sport – science and practice. 2019. no. 1. pp. 53–58. (in Russian).

2 Shepilova A.V., Nenasheva A.V. Ergospirometric indicators for assessing the physical performance of female swimmers of various age and qualification characteristics. 2012. no 1. pp. 61–65. (in Russian).

3 Noreiko S.B. Features of gas exchange of healthy people of working age. Medico-biological problems of physical education and sports. 2011. no. 12. pp. 61–63. (in Russian).

4 Rodionova N.S., Popov E.S., Syromyatnikov M.Y., Artemova E.A. Alimentary factors for the correction of nutritional status and physiological conditions. Proceedings of the 1st International Symposium Innovations in Life Sciences (ISILS 2019). Published by Atlantis Press, 2019. vol. 7. pp. 262–265. doi: 10.2991/isils-19.2019.64

5 Rundblad A., Holven K.B., Bruheim I., Myhrstad M.C. et al. Effects of fish and krill oil on gene expression in peripheral blood mononuclear cells and circulating markers of inflammation: a randomised controlled trial. Journal of nutritional science. 2018. vol. 7. doi: 10.1017/jns.2018.2

6 Ottestad I., Nordvi B., Vogt G., Holck M. et al. Bioavailability of n-3 fatty acids from n-3-enriched foods and fish oil with different oxidative quality in healthy human subjects: a randomised single-meal cross-over study. Journal of nutritional science. 2016. vol. 5. doi: 10.1017/jns.2016.34

7 Vishnyakov A.B., Vlasov V.N. The germ of health. Moscow, Kolos, 2011. 72 p. (in Russian).

8 Rodionova N.S., Popov E.S., Pozhidaeva E.A., Kustov V.Yu. et al. Impact of mechanical activation on the prebiotic properties of plant biological resources. International Journal of Civil Engineering and Technology. 2019. vol. 10. no. 01. pp. 1718–1730.

9 Golubeva L.V., Dolmatova O.I., Pozhidaeva E.A. New fermented milk product with flavoring components of plant origin. Food industry. 2016. no. 12. pp. 18–20. (in Russian).

10 Pozhidaeva E.A., Shvyreva M.A., Dymovskikh Ya.A. Study of the survival of lactic acid microorganisms in conditions of negative temperatures. Actual biotechnology. 2017. no. 2. pp. 263. (in Russian).

11 Isaev V.A., Simonenko S.V. Influence of lifestyle and Eikonol on physiological adaptation of blood fat component in arterial hypertension. Nutrition issues. 2016. vol. 85. no. 5. pp. 120–127. (in Russian).

12 Isaev V.A., Simonenko S.V., Khlyustov V.N. Seafood in complex therapy of inflammatory processes. Food industry. 2015. no. 1. pp. 30–31. (in Russian).

13 Isaev V.A., Ashmarin I.P. Eikonol, a complex of PUFAs that optimize human cognitive activity. Human Physiology. 2000. vol. 26. pp. 99–104. (in Russian).

14 Eamonn M.M. Prebiotics and Probiotics in Digestive Health. Clinical Gastroenterology and Hepatology. 2019. vol. 17. no. 2. pp. 333–344. doi: 10.1016/j.cgh.2018.09.028

15 Kerry R.G., Patra J. K Benefaction of probiotics for human health: A review. Journal of Food and Drug Analysis. 2018. vol. 26. no. 3. pp. 927–939. doi: 10.1016/j.jfda.2018.01.002

16 Daliri E.B.M., Lee B.H. New perspectives on probiotics in health and disease. Food Science and Human Wellness. 2015. vol. 4. no. 2. pp. 56–65. doi: 10.1016/j.fshw.2015.06.002

17 Valdovinos-García L.R., Abreu A.T., Valdovinos-Díaz M.A. Probiotic use in clinical practice: Results of a national survey of gastroenterologists and nutritionists. Revista de Gastroenterología de México (English Edition). 2019. vol. 84. no. 3. pp. 303-309. doi: 10.1016/j.rgmxen.2018.10.001

18 Chang C.J., Lin T.L., Tsai Y.L., Wu T.R. et al. Next generation probiotics in disease amelioration. Journal of food and drug analysis. 2019. vol. 27. no. 3. pp. 615-622. doi: 10.1016/j.jfda.2018.12.011

19 Kerry R.G., Patra J.K., Gouda S., Park Y. et al. Benefaction of probiotics for human health: A review. Journal of food and drug analysis. 2018. vol. 26. no. 3. pp. 927-939. doi: 10.1016/j.jfda.2018.01.002

20 McMillan D.W., Henderson G.C., Nash M.S., Jacobs K.A. Effect of paraplegia on the time course of exogenous fatty acid incorporation into the plasma triacylglycerol pool in the postprandial state. Frontiers in Physiology. 2021. vol. 12. doi: 10.3389/fphys.2021.626003

Сведения об авторах

Наталья С. Родионова д.т.н., профессор, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, rodionovast@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6940-7998

Евгений С. Попов д.т.н., профессор, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий пр-т Революции, 19, Воронеж, 394036, Россия, e_s_popov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3303-3434

Наталья А. Захарова ассистент, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, pastukhova_na@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1584-0024

Наталия С. Черкасова студент, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, cherkasovanatalia@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8235-4575

Владимир А. Шолин студент, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий , пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия , daztergritch@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-8567-6346

Information about authors

Natalya S. Rodionova Dr. Sci. (Engin.), professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, rodionovast@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6940-7998

Evgeny S. Popov Dr. Sci. (Engin.), professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, e_s_popov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3303-3434

Natalya A. Zaharova assistant, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, pastukhova_na@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1584-0024

Natalya S. Cherkasova student, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, cherkasovanatalia@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8235-4575

Vladimir A. Sholin student, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia , daztergritch@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-8567-6346

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 28/12/2020	**После редакции** 08/02/2021	**Принята в печать** 01/03/2021

Received 28/12/2020	**Accepted in revised** 08/02/2021	**Accepted** 01/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-146-154 Оригинальная статья/Research article
УДК 637.35.639 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Научные подходы к использованию молока коров красно-пестрой породы в производстве мягких сыров комбинированного состава

Анна А. Дерканосова [1] aa-derk@ya.ru 0000-0002-9726-9262
Елена Е. Курчаева [2] alena.kurchaeva@ya.ru 0000-0001-5958-0909
Александр В. Востроилов [2] alexandervostroilov@ya.ru 0000-0003-1626-5735
Елена В. Баженова [2] 79518640079@ya.ru
Яна А. Попова [3] bimine@ya.ru
Наталья А. Матвиенко [1] natali25_81@mail.ru 0000-0003-4777-003X

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I, ул. Мичурина, 1, Воронеж, 394087, Россия
3 Луганский государственный университет имени Владимира Даля, г. Луганск, Луганская Народная Республика

Аннотация. В современной экологической ситуации постоянно растет спрос на натуральные продукты, что стимулирует производителей к увеличению выпуска этих товаров. Однако практически все отрасли пищевой промышленности в настоящее время используют большое количество биологически активных добавок главным образом синтетического происхождения. В связи с этим включение в состав традиционного продукта питания натуральных растительных добавок будет способствовать не только увеличению пищевой и биологической ценности продукта, но и расширению ассортимента продуктов здорового питания. В рамках работы изучена возможность использования иммобилизованных на биополимерах пищевых волокон из корнеплодов скорцонеры и нутовой муки, полученной из биоактивированных проращиванием бобов нута в количестве 5% и 15% соответственно. Дано научное обоснование эффективности применения растительного наполнителей при производстве комбинированного мягкого сыра. Вырабатываемый сырный продукт имеют массовую долю жира в сухом веществе 4,5%, массовую долю влаги не более 64%, массовую долю соли не более 2,0%. Использование пищевых волокон в качестве пищевой добавки в производстве сыра придает продукту функциональную значимость. Пищевые волокна, вносимые в количестве 5,0%, позволяют увеличить выход готового продукта на 11–11,5%. Таким образом, используя предложенную технологию производства мягкого сырного продукта, становится возможным решение ряда технологических, экологических и экономических проблем, в том числе повышение пищевой ценности мягкого сырного продукта, за счет обогащения пищевыми волокнами, макро- и микронутриентами, а также повышение биологической ценности разработанного продукта путем балансирования аминокислотного состава.

Ключевые слова: мягкий сыр, нутовая мука, пищевые волокна, скорцонера, органолептические показатели

Scientific approaches to the application of red-and-white cows milk in the production of combined composition soft cheeses

Anna A. Derkanosova [1] aa-derk@ya.ru 0000-0002-9726-9262
Elena E. Kurchaeva [2] alena.kurchaeva@ya.ru 0000-0001-5958-0909
Alexander V. Vostroilov [2] alexandervostroilov@ya.ru 0000-0003-1626-5735
Elena V. Bazhenova [2] 79518640079@ya.ru
Yana A. Popova [3] bimine@ya.ru
Natalya A. Matvienko [1] natali25_81@mail.ru 0000-0003-4777-003X

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
2 Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 1 Michurina str., Voronezh, 394087, Russia
3 Luhansk State University named after Vladimir Dal, Luhansk

Abstract. The demand for natural products is constantly growing in the current environmental situation. This encourages manufacturers to increase the production of these goods. However, almost all branches of the food industry use nowadays a large number of biologically active additives, mainly of synthetic origin. In this regard, the introduction of natural vegetable supplements in the composition of a traditional food product will contribute not only to an increase in the nutritional and biological value of the product, but also to expand the range of healthy food products. The possibility of using dietary fiber from root crops of scorzonera, immobilized on biopolymers, and chickpea flour obtained from chickpea beans bioactivated by germination in the amount of 5% and 15%, respectively, was studied in the work. Scientific substantiation of the effectiveness of the use of vegetable filler in the production of combined soft cheese was given. The cheese product produced has a mass fraction of fat in dry matter of 4.5%, a mass fraction of moisture not more than 64%, a mass fraction of salt not more than 2.0%. The use of dietary fiber as a food additive in cheese production gives the product a functional value. Dietary fiber, introduced in an amount of 5.0%, increases the yield of the finished product by 11-11.5%. Thus, applying the proposed technology for the production of a soft cheese product, it becomes possible to solve a number of technological, environmental and economic problems, including an increase in the nutritional value of a soft cheese product, due to enrichment with dietary fiber, macro- and micronutrients, as well as an increase in the biological value of the developed product by balancing the amino acid composition

Keywords: soft cheese, chickpea flour, dietary fiber, scorzonera, organoleptic characteristics

Для цитирования
Дерканосова А.А., Курчаева Е.Е., Востроилов А.В., Баженова Е.В., Попова Я.А., Матвиенко Н.А. Научные подходы к использованию молока коров красно-пестрой породы в производстве мягких сыров комбинированного состава // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 146–154. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-146-154

For citation
Derkanosova A.A., Kurchaeva E.E., Vostroilov A.V., Bazhenova E.V., Popova Ya.A., Matvienko N.A. Scientific approaches to the application of red-and-white cows milk in the production of combined composition soft cheeses. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 146–154. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-146-154

© 2021, Дерканосова А.А. и др. / Derkanosova A.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Питание – один из важнейших факторов, определяющих здоровье нации в целом и наше здоровье в частности. Продукты питания должны не только удовлетворять физиологические потребности организма человека в питательных веществах и энергии, но и выполнять профилактические и лечебные функции [10, 11, 16, 17]. Время диктует необходимость создания новых продуктов питания, обладающих в отличие от традиционных, целевым назначением за счет использования функциональных ингредиентов.

Среди большого разнообразия продуктов питания одно из ведущих мест занимают сыры. Мировая наука о питании признает сыр как высокопитательный, биологически полноценный, легкоусвояемый продукт. Он является незаменимым и обязательным компонентом пищевого рациона человека. В состав сыра входят необходимые человеку белки, жиры, углеводы и их производные, а также минеральные соли, микроэлементы, витамины и другие вещества. Белковые вещества сыра включают в себя комплекс аминокислот, в том числе незаменимые, которые не синтезируются в организме человека. Жир находится в эмульгированном состоянии, что обусловливает его хорошую усвояемость. Сыр является богатейшим источником кальция и фосфора.

Выпуск сыров в России в настоящее время недостаточен и не соответствует рекомендуемым нормам потребителя. Длительное время большую нишу сыров в торговых организациях занимали импортные, позволявшие сгладить диспропорцию между производством и потребляемым сыром. Сложившаяся в настоящее время ситуация на мировом рынке со снижением количества импортных сыров привела к необходимости импортозамещения и расширения ассортимента и объемов производства сыров в России. Поэтому увеличение производства сыров – одна из основных задач молочной промышленности на современном этапе [7].

В европейских странах наиболее широко распространено производство мягких сыров, особенно там, где традиционно было развито фермерское сыроделие. Это можно объяснить тем, что выработка мягких сыров по сравнению с твердыми менее трудоемка и не требует специальных помещений и оборудования для прессования и созревания. К тому же ассортиментная линейка мягких сыров гораздо шире и открывает большие возможности для новых творческих решений [2].

Основным и самым распространенным видом сырья для производства молочных продуктов является коровье молоко. Коровье молоко – один из важнейших продуктов питания человека. В его состав входят все необходимые организму вещества (белки, жиры, углеводы, минеральные соли), которые находятся в оптимальных соотношениях и очень легко усваиваются. Кроме того, в молоке содержатся витамины, ферменты, гормоны, микроэлементы и другие вещества, обеспечивающие нормальное развитие организма. Основной белок молока представлен казеином. Он составляет 80 процентов общего содержания белка. 20 процентов приходится на сывороточные и так называемые второстепенные белки. Все они по содержанию незаменимых аминокислот относятся к полноценным. Важно и то, что белки в молоке находятся в коллоидном растворе, благодаря чему легко поддаются воздействию ферментов в желудочно-кишечном тракте и усваиваются на 96–98%.

В рационе современного человека сыр занимает одно из первых мест по пищевой и энергетической ценности. В 100 г. сыра содержится 20–30 г. белка, 32–33 г. жира, около 1 г кальция, 0,8 г фосфора, а также большое количество свободных аминокислот, в том числе незаменимых. Достоинство мягких сыров в том, что их производство менее требовательно к сырью, они имеют небольшой цикл производства и обладают высокой пищевой ценностью [1].

Известно, что мягкие сыры пользуются устойчивым спросом у россиян, их приготовление рентабельно и, тем самым, очень привлекательно для молочной промышленности. В связи с достаточно высокими показателями спроса на мягкие сыры существует необходимость повышения экономической эффективности предприятий, специализирующихся на выпуске данного продукта. Объем выпускаемой продукции предприятия сильно зависит от количества поставляемого сырья, так как производство молока носит сезонный характер. Для стабилизации количества продукции на потребительском рынке целесообразно искать новые способы производства сыров и использования альтернативного сырья.

В современных условиях появилась возможность использования в производстве мягких сыров с этой целью растительных компонентов. К примеру, использование коровьего молока в смеси с соевым концентратом повышает пищевую и биологическую ценность продукта, обогащает его полезными компонентами. Мягкие сыры, изготовленные на основе молока с пастообразным соевым концентратом с растительным маслом, являются продуктами с хорошей сбалансированностью и усвояемостью, обладают лечебно-профилактическими свойствами [6].

Перспективным направлением в производстве мягких сыров является использование в технологическом процессе пищевых волокон.

К примеру, использование свекловичных пищевых волокон в количестве 0,8% от исходного количества молочной смеси позволяет увеличить выход готового продукта на 5–7%, а также улучшить качественные характеристики и увеличить срок хранения. Использование с пищевыми волокнами тонкоизмельченных фитокомпонентов лекарственных растений придает сыру дополнительные функциональные свойства [12–20].

Применение в производстве мягких сыров в качестве наполнителя картофельного пюре в количестве 15–25% и дополнительных натуральных ароматических добавок значительно повышает выход продукции, а также повышает ее органолептические и реологические характеристики, пищевую и биологическую ценность.

Введение в молочную смесь в качестве консерванта кукурузной крупы, прошедшей гидротермическую обработку, в количестве 3% также позволяет значительно улучшить потребительские качества сыров, повысить содержание витаминов и антиоксидантов [1, 5].

Данные продукты могут использоваться как для массового питания, так и в рационе больных диабетом, атеросклерозом, лиц с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Простота и доступность технологии всех перечисленных способов позволяет организовать данное производство повсеместно. Это дает возможность увеличить выход продукции при пониженном расходе молочного сырья, а также снизить себестоимость сыров за счет удешевления сырья. Кроме того, использование растительных компонентов позволяет сохранять объемы выработки сыра в периоды пониженного количества поступающего молочного сырья.

Актуальной задачей пищевой индустрии является создание продуктов, обогащенных пищевыми волокнами. Использование в пище структурных веществ клеточных стенок имеет большое значение и широко обсуждается в литературе. Длительное время пищевые волокна считали ненужными балластными веществами, которые стремились удалить из готовых продуктов. Именно в зерновых, бобовых, овощах и содержится большое количество пищевых волокон. Пищевые волокна (клетчатка) представляют собой сложные не перевариваемые углеводы. В результате фактическое потребление пищевых волокон населением снизилось в 2–3 раза по сравнению с нормой. Вместо 30–35 г. в сутки среднестатистический человек съедает их не более 10–15 г. Исследованиями современной медицины установлено, что недостаток пищевых волокон в пище приводит к нарушению динамического баланса внутренней среды человека и является фактором риска многих заболеваний, в том числе гастроэнтерологических.

Технология сыров представляет концентрирование молочного белка, жира и кальция. Анализ опыта работы молокоперерабатывающих предприятий показывает, что для выработки 1 т мягкого сыра необходимо затратить 5 – 6 т молока. Существует большое количество технологических приёмов, позволяющих сократить норму расхода молока при производстве сыров, в том числе использование растительных ингредиентов, содержащих большое количество пищевых волокон.

Эффективность предлагаемого способа имеет целесообразность как с экономической, так и медико-социальной точки зрения. Экономический аспект обусловлен химической природой пищевых волокон, а именно: они являются гидроколлоидами, благодаря чему обладают способностью связывать и удерживать воду, что увеличивает выход готового продукта. Медико-социальный аспект связан с положительным влиянием пищевых волокон на работу желудочно-кишечного тракта и детоксицирующим действием [3, 8, 9].

На сегодняшний день актуальной является проблема рационального использования белковых компонентов сырья. Комбинация белков растительного и животного происхождения обеспечивает сбалансированный аминокислотный состав и повышает биологическую ценность продукта. При разработке технологии нового сырного продукта был реализован инновационный подход к повышению их биологической ценности и формированию заданных функциональных свойств, основанный на принципах биотехнологии. Неотъемлемой чертой биотехнологического подхода является комплексность, т. е. тщательный подбор сырьевых ингредиентов, включая их предварительную подготовку с целью модификации состава, свойств и технологических режимов, что обеспечивает получение сбалансированного продукта. Ценным источником полноценного растительного белка, сбалансированного по лизину, треонину, метионину и триптофану, является нутовая мука, изготовленная из пророщенных семян нута новой селекции. Она обеспечена ценными нутриентами: витаминами Е, группы В, пантотеновой кислотой, лецитином, калием, кальцием, магнием, железом, цинком.

В качестве сырьевого источника пищевых волокон привлекает внимание скорцонера. Скорцонера испанская (Козелец испанский) представляет собой многолетнее, травянистое, овощное растение, выращиваемое ради обладающего высокими потребительским свойствами корнеплода. Установлено, что применение корня скорцонеры способствует укреплению иммунной системы человека.

В корнеплодах обнаружены: флаваноиды – апигенин, лютеолин, высшие жирные кислоты, липиды, альдегиды и их производные, тригерпеноиды – тараксатерин, а-лактуцерол, фенольные соединения, азотсодержащие – холин. Скорцонера отличается высоким содержанием высокомолекулярного полисахарида инулина, лишь не многим, уступая цикорию.

По данным Соловьевой А.Е. и Токаревой Г.Н. содержание инулина в сухом веществе корнеплода – 16–44%, клетчатки – 3,8–7,6%, гемиделлюлозы – 1,4–2,2%, растворимых сахаров – 42,7–49,9%, количество пектиновых веществ – 1,5–1,7% (в сумме пектиновых веществ на протопектин приходится 15,0–19,1%), сырого белка – 1,7–2,3%, витамина С – 6,9–9,1 мг на 100 г. сырой массы.

Главным пребиотическим компонентом скорцонеры, используемым для формирования функциональных свойств нового сырного продукта, является инулин. Инулин способствует размножению в пищеварительном тракте полезной микрофлоры, что обеспечивает лечение и профилактику дисбактериозов, повышает устойчивость организма к бактериальным и вирусным инфекциям. Авторами разработана пищевая добавка, представляющая собой порошок измельчённых волокон, полученных из корнеплодов скорцонеры.

Цель работы – разработка технологии мягкого сырного продукта, обогащенного пищевыми волокнами, иммобилизованными на биополимерах растительного и животного происхождения.

Материалы и методы

В работе был использован комплекс общепринятых и стандартных методов испытаний: физико-химических, биохимических, органолептических. Результаты исследований обработаны методом статистического анализа. В качестве объектов исследования были выбраны: молоко коровье сырое ГОСТ 31449–2013; пищевые волокна, выделенные из корнеплодов скорцонеры, биополимеры (пектин и желатин).

Был произведен поиск способа внесения пищевых волокон в молочную основу – основная технологическая операция, требующая равномерного распределения пищевых волокон по всему объему мягкого сыра, так как при завершении процесса перемешивания с нормализованной смесью их значительная часть оседает на дне емкости. Для устранения недостатка был изучен процесс иммобилизации пищевых волокон в смесь используемых биополимеров.

Биополимеры обладают уникальными способностями загущения, студнеобразования, влагоудержания и стабилизации структурно-сложных систем. Для исследования выбраны биополимеры натурального животного и растительного происхождения: желатин и пектин.

Молекулы желатина и пектина состоят из групп атомов, резко различающихся по характеру взаимодействия с молекулами воды. Длинная макромолекула представляет распределение центров взаимодействия с молекулами воды, в результате создается гидратная оболочка макромолекулы. Пектины, независимо от источника их происхождения, – природные ионообменники, способные замещать водороды карбоксильных групп на катионы поливалентных металлов. Для исследований выбран цитрусовый пектин.

Желатин представляет смесь полипептидов с различной молекулярной массой. Кроме того, желатин – источник глутаминовой кислоты и аргинина, пектин содержит пищевые волокна, которые стимулируют рост жизнеспособных клеток бифидобактерий, т. е. обладает свойствами пребиотика. Совместное использование пектина и желатина на данный момент изучено недостаточно, что позволяет считать проведение исследований актуальным.

В ходе эксперимента в сырный продукт вносили различные массовые доли пищевых волокон из корнеплодов скорцонеры (рисунок 1), иммобилизованные на биполимерах – пектине и желатане, взятых в соотношении 05:1 и 1:1. На основе серии предварительных опытов установлена оптимальная дозировка пищевых волокон к массе биополимеров (в соотношении 1:1), которая составила 3,0% (рисунок 2). Наилучшими органолептическими показателями обладали пленки биополимеров с выбранной дозировкой пищевых волокон, которые и были использованы в дальнейших исследованиях.



Рисунок 1. Корнеплоды скорцонерры

Figure 1. Scorzonerra root Vegetables



Рисунок 2. Пленки с пищевыми волокнами на носителях: 1 – в соотношении 05:1, 2 – в соотношении 1:1

Figure 2. Films with food fibers on carriers: 1-in the ratio of 05:1, 2 – in the ratio of 1:1

Просушенные при 180–190 °С в течение 5–7 мин пищевые волокна охлаждаются до 20 °С. Затем через специальный дозатор при перемешивании вносятся в смесь биополимеров при t = 40 °С. Полученный раствор дозируется слоями в формы, которые выдерживают в течение 15–20 мин для получения пленок. Перед внесением в нормализованную пастеризованную смесь пленки измельчают и вносят при перемешивании в заквашенную смесь.

В ходе эксперимента по разработанной технологии было выработаны образцы сырного продукта из молока коров красно-пестрой породы Воронежского типа [4, 10], полученного в условиях ООО «Большевик» (Воронежская обл.) с различной дозировкой растительных компонентов: образец № 1 (контрольный) – без их добавления, образец № 2 содержал 15% нутовой муки, полученной путем активации бобов нута при проращивании и высушивании полученного продукта и 5% препарата пищевых волокон, иммобилизованных на биополимерах в оптимальном соотношении.

Технологический процесс производства разработанного сырного продукта включает следующие основные стадии: приёмка молока, очистка, охлаждение, пастеризация, подготовка и внесение растительных компонентов, кислотно-сычужное свертывание молока, обработка сгустка, перемешивание, самопрессование, посолка сухой солью, хранение. Механизм кислотно-сычужной коагуляции обеспечивает включение кальция в структуру сгустка, увеличивая его содержание в конечном продукте.

Молоко коровье сырое подогревали до (45 ± 1) °С и подвергали очистке. Предварительно подготовленную нутовую муку (рисунок 3) в количестве 15% вносили в очищенное молоко и пастеризовали нормализованную смесь при (82 ± 2) °С, охлаждали до температуры заквашивания (34 ± 1) °С. Перед свертыванием в нормализованную смесь вносят бактериальную закваску из штаммов мезофильных молочнокислых стрептококков в количестве 2,5% от массы нормализованной смеси.

После нарастания кислотности смеси до 23–25° Т вносят хлорид кальция в виде 0,1% водного раствора, измельченные пленки биополимеров с пищевыми волокнами в количестве 5% от массы нормализованной смеси, молокосвертывающий препарат в количестве 1,5 г на 100 кг смеси. Молоко с внесенными компонентами вымешивают в течение 4–6 мин и оставляют в покое для формирования сгустка. Продолжительность свертывания колеблется от 45 до 70 мин. Готовый сгусток должен быть плотным, иметь на разрезе острые края и выделять небольшое количество прозрачной сыворотки.

После чего сгусток осторожно разрезают для получения частиц с размерами грани 20 мм, вымешивают в течение 8–12 мин. В тех случаях, когда по каким-либо причинам нормальная обсушка зерна задерживается, его подогревают до температуры 37° С, не прекращая перемешивания, а затем производят вымешивание в течение 30–35 мин. Перед формованием удаляют остатки сыворотки. Сырную массу перемешивают, после чего зерно (рисунок 4) вымешивают 10 – 15 мин, а затем равномерно распределяют по формам. Общая продолжительность самопрессования составляет 5 ч при периодическом перемешивании. В начале самопрессования в течение 2,0–2,5 ч процесс проводят при температуре помещения 20 °С с переворачиванием через каждые 15–25 мин, а затем через каждые 1,5–2,0 ч до конца самопрессования при температуре не выше 6° С. К концу самопрессования сыр приобретает необходимую форму, а его тесто становится достаточно монолитным (рисунок 5). После самопрессования сыр перекладывают в металлические формы и одновременно проводят посолку сухой поваренной солью с помощью дозатора – по 15 г. на верхнюю и нижнюю

поверхность. Хранение сыра осуществляют при температуре 2–4 °С в течение не более 7 сут.

Органолептические и физико-химические показатели образцов определяли по общепринятой методике.



Рисунок 3. Мука из пророщенных семян нута
Figure 3. Flour from sprouted chickpea seeds



Рисунок 4. Сырное зерно
Figure 4. Cheese grain



Рисунок 5. Мягкий сыр «Большевичка»
Figure 5. Soft cheese Bolshevichka



Рисунок 6. Мягкий сыр «Большевичка» после прессования
Figure 6. Soft cheese " Bolshevichka» after pressing

Результаты и обсуждение

Нами установлено положительное влияние биоактивированной нутовой муки и иммобилизованных пищевых волокон на органолептические показатели сырного продукта «Большевичка» (таблица 1). Использование сочетания нутовой муки из биоактивированных семян нута и комплекса пищевых волокон в количестве 5 и 1,5% соответственно обеспечивает оптимальные органолептические показатели нового сырного продукта.

Таблица 1.

Органолептические показатели образцов мягких сыров

Table 1.

Organoleptic characteristics of soft cheese samples

Показатель Indicator	Контроль | Control	Опыт | Experiment
Внешний вид Appearance	Поверхность увлажненная, без ослизнений The surface is moistened, without slime	
Цвет Colour	От белого до светло-желтого, равномерный по всей массе | From white to light yellow, uniform throughout the mass	Белый, с равномерным распределением введенных растительных ингредиентов по всей массе White, with a uniform distribution of the introduced plant ingredients throughout the mass
Аромат Smell	Чистый кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов | Pure fermented milk, without foreign tastes and odors	Чистый кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов, слабый аромат введенного наполнителя Pure fermented milk, without foreign tastes and odors, a faint aroma of the introduced filler
Консистенция Consistency	Нежная, однородная по всей массе. Допускается слегка ломкая, но не крошливая Tender, homogeneous throughout the mass. Slightly brittle, but not crumbly, is allowed	Однородная, в меру плотная, ломкая, но не крошливая Homogeneous, moderately dense, brittle, but not crumbly
Вкус Taste	Чистый кисломолочный, в меру соленый, без посторонних привкусов и запахов Pure fermented milk, moderately salty, without foreign tastes and odors	Чистый кисломолочный, в меру соленый, с легким мучнистым привкусом | Pure fermented milk, moderately salty, with a slight powdery taste

В таблице 2 представлены данные по влиянию иммобилизованных пищевых волокон и нутовой муки на продолжительность кислотно – сычужного свертывания молока.

При этом установлено в ходе ряда проведенных исследований, что с увеличением суммарного количества растительных компонентов (до 15% и 5% соответственно) массовая доля влаги в сырном продукте уменьшается с 68 до 64%, что связано с переводом воды в связанное состояние и образованием монолитной структуры продукта. При этом вводимые биополимеры набухают, увеличивается в массо-объемном отношении и способствуют увеличению выхода продукта на 11,0 – 11,5%.

Таблица 2.

Продолжительность кислотно-сычужного свертывания молока с различным составом жировой фазы

Table 2.

Duration of acid-rennet coagulation of milk with different composition of the fat phase

Количество пищевого волокна/нутовой муки, % Amount of dietary fiber/chickpea flour, %	Продолжительность кислотно-сычужного свертывания, мин Duration of acid-rennet coagulation, min
10,0/15,0	57
5,0/15,0	40
5,0 / 10,0	54
2,5/5,0	62
0/5,0	70

Заключение

Разработанный новый сырный продукт «Большевичка» – это диетический, полноценный белковый продукт, который сочетает в себе функциональные свойства компонентов коровьего молока, белков нута повышенной биологической ценности, пищевых волокон скорцонеры, иммобилизованных на комплексе биополимеров. Вырабатываемый сырный продукт имеют массовую долю жира в сухом веществе 4,5%, массовую долю влаги не более 64%, массовую долю соли не более 2,0%.

Использование пищевых волокон в качестве пищевой добавки в производстве сыра придает продукту функциональную значимость. Пищевые волокна, вносимые в количестве 5,0%, позволяют увеличить выход готового продукта на 11–11,5%, способствуют продлению срока годности и сохранению свежести сыра. Таким образом, используя предложенную технологию производства мягкого сырного продукта, становится возможным решение ряда технологических, экологических и экономических проблем, в том числе повышение пищевой ценности мягкого сырного продукта, за счет обогащения пищевыми волокнами, макро- и микронутриентами, увеличения массовой доли сывороточных белков в сырном продукте за счет высокой влагоудерживающей способности растительного компонента, а также повышение биологической ценности разработанного продукта путем балансирования аминокислотного состава.

Проведенные исследования позволяют рассматривать предлагаемую технологию как возможность решения проблемы дефицита белка за счет комбинирования молочного сырья с растительными компонентами и создания нового вида молокосодержащего продукта с направленно заданным составом и свойствами.

Литература

1 Гаврилова Н.Б. Современные технологии производства мягких сыров // Переработка молока. 2016. № 9 (203). С. 12–15.

2 Горлов И.Ф., Сложенкина М.И., Мишина О.Ю., Карпенко Е.В., Мосолова Н.И. Влияние разных агроэкологических условий юга россии на качественные показатели молока-сырья // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. № 4 (57). С. 114–125. doi: 10.18470/1992-1098-2020-4-114-125

3 Горлов, И.Ф. Нут – альтернативная культура многоцелевого назначения: монография. Волгоград: Волгоградское научное издательство, 2012. 106 с.

4 Бондаренко А.А., Артемов Е.С., Востроилов А.В. Продуктивные и технологические особенности скота красно-пестрой породы в условиях ООО ПЗ "БОЛЬШЕВИК" // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. 2019. С. 97–101.

5 Мордвинова В.А., Свириденко Г.М., Остроухов Д.В. Инновационный способ изготовления мягких сыров // Переработка молока. 2015. № 12 (194). С. 16–18.

6 Орлова И.Е. Разработка технологии мягкого сыра для функционального питания // Наука. технологии. инновации. 2015. С. 194–195.

7 Туников Г.М., Морозова Н.И., Мусаев Ф.А., Морозова О.А. и др. Современные тенденции производства молока в условиях интенсивной технологии // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2019. № 4 (44). С. 70–75. doi: 10.36508/RSATU.2019.48.27.012

8 Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Mosolova N.I., Zlobina E.Y. et al. New synbiotic-mineral complex in lactating cows' diets to improve their productivity and milk composition // Iranian Journal of Applied Animal Science. 2020. V. 10. № 1. P. 31–43.

9 Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Mosolova N.I., Mishina O.Yu. et al. Productivity and biological value of milk of cows of various ecogenetic types. Conference on innovations in agricultural and rural development // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. № 341. P. 012043.

10 Vostroilov A.V., Artemov E.S., Volkova E.E., Pelevina G.A. et al. Quality and cheese suitability of milk depending on the breed in the conditions of the Voronezh Region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming. 2020. P. 012064.

11 Borisova A.V., Komarova E.S., Belyakov D.A., Myshova Ch. A., Sergeeva A.V. Recipe development and technology for soft cheese with application of vegetable raw materials // Современная наука и инновации. 2020. № 1 (29). P. 56–66.

12 Яшкин А.И. Управление качеством мягкого сыра путем оптимального подбора функциональных компонентов // Агропродовольственная экономика. 2019. № 4. С. 30–34.

13 Хиценко А.В., Колотова А.М. Комбинированные мягкие сыры с функциональными свойствами // Молодежь и наука. 2019. № 3. С. 95.

14 Борисова А.В., Рузянова А.А., Тяглова А.М., Поликарпова К.В. Использование ягодного сырья в технологии мягкого сыра функционального назначения // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50. № 1. С. 11–20. doi: 10.21603/2074-9414-2020-1-11-20

15 Алексеева Н.В., Нурходжаева Б.С., Джанмулдаева А.К., Мамаева Л.А. Разработка технологии производства мягкого сыра из козьего молока с пребиотиками // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 2–2. С. 155–159.

16 Шенцова Е.С., Дерканосова А.А., Коротаева А.А., Полянский К.К. Совершенствование производства заменителей молока для телят // Сыроделие и маслоделие. 2016. № 1. С. 41-42.

17 Tavares G.M. et al. Milk proteins as encapsulation devices and delivery vehicles: Applications and trends // Trends in Food Science & Technology. 2014. V. 37. № 1. P. 5–20. doi: 10.1016/j.tifs.2014.02.008

18 Ruhaak L.R., Lebrilla C.B. Advances in analysis of human milk oligosaccharides // Advances in Nutrition. 2012. V. 3. № 3. P. 406S-414S. doi: 10.3945/an.112.001883

19 Mozaffarian D. Dairy foods, obesity, and metabolic health: the role of the food matrix compared with single nutrients // Advances in Nutrition. 2019. V. 10. № 5. P. 917S-923S. doi: 10.1093/Advances/nmz053

20 Dinika I. et al. Potential of cheese whey bioactive proteins and peptides in the development of antimicrobial edible film composite: A review of recent trends // Trends in Food Science & Technology. 2020. doi: 10.1016/j.tifs.2020.06.017

21 Han J. et al. Effect of polyphenolic ingredients on physical characteristics of cheese // Food Research International. 2011. V. 44. № 1. P. 494–497. doi: 10.1016/j.foodres.2010.10.026

22 Drannikov A.V., Derkanosova A.A., Korotaeva A.A., Orinicheva A.A., Pribytkov A.V. Study of feed protein supplement with the properties of phytobiotics // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2020. V. 422. №. 1. P. 012086. doi: 10.1088/1755-1315/422/1/012086

References

1 Gavrilova N.B. Modern technologies for the production of soft cheeses. Processing of milk. 2016. no. 9 (203). pp. 12-15. (in Russian).

2 Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Mishina O.Yu., Karpenko E.V. et al. The influence of different agro-ecological conditions in the south of Russia on the quality indicators of raw milk. South of Russia: ecology, development. 2020. vol. 15. no. 4 (57). pp. 114-125. doi: 10.18470 / 1992-1098-2020-4-114-125 (in Russian).

3 Gorlov I.F. Chickpeas - an alternative culture for multipurpose purposes: monograph. Volgograd, Volgograd Scientific Publishing House, 2012. 106 p. (in Russian).

4 Bondarenko A.A., Artemov E.S., Vostroilov A.V. Productive and technological features of red-and-white cattle in the conditions of OOO PZ "BOLSHEVIK". Innovative technologies and technical means for the agro-industrial complex: materials of the international scientific-practical conference of young scientists and specialists. 2019. pp. 97-101. (in Russian).

5 Mordvinova V.A., Sviridenko G.M., Ostroukhov D.V. An innovative method of making soft cheeses. Milk Processing. 2015. no. 12 (194). pp. 16-18. (in Russian).

6 Orlova I.E. Development of soft cheese technology for functional nutrition. Science. technologies. innovation. 2015. pp. 194-195. (in Russian).

7 Tunikov G.M., Morozova N.I., Musaev F.A., Morozova O.A. and others. Modern trends in milk production in the conditions of intensive technology. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University. P.A. Kostychev. 2019. No. 4 (44). pp. 70–75. doi: 10.36508/RSATU.2019.48.27.012 (in Russian).

8 Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Mosolova N.I., Zlobina E.Y. et al. New synbiotic-mineral complex in lactating cows' diets to improve their productivity and milk composition. Iranian Journal of Applied Animal Science. 2020. vol. 10. no. 1. pp. 31–43.

9 Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Mosolova N.I., Mishina O.Yu. et al. Productivity and biological value of milk of cows of various ecogenetic types. Conference on innovations in agricultural and rural development. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. no. 341. pp. 012043.

10 Vostroilov A.V., Artemov E.S., Volkova E.E., Pelevina G.A. et al. Quality and cheese suitability of milk depending on the breed in the conditions of the Voronezh Region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming. 2020. pp. 012064.

11 Borisova A.V., Komarova E.S., Belyakov D.A., Myshova Ch. A., Sergeeva A.V. Recipe development and technology for soft cheese with application of vegetable raw materials. Modern science and innovation. 2020. no. 1 (29). pp. 56–66.

12 Yashkin A.I. Quality management of soft cheese by optimal selection of functional components. Agro-food economy. 2019. no. 4. pp. 30–34. (in Russian).

13 Khitsenko A.V., Kolotova A.M. Combined soft cheeses with functional properties. Youth and Science. 2019. no. 3. pp. 95. (in Russian).

14 Borisova A.V., Ruzyanova A.A., Tyaglova A.M., Polikarpova K.V. The use of berry raw materials in the technology of soft cheese for functional purposes. Technics and technology of food production. 2020. vol. 50. no. 1. pp. 11–20. doi: 10.21603/2074-9414-2020-1-11-20 (in Russian).

15 Alekseeva N.V., Nurkhodzhaeva B.S., Dzhanmuldaeva A.K., Mamaeva L.A. Development of technology for the production of soft cheese from goat milk with prebiotics. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2017. no. 2–2. pp. 155-159. (in Russian).

16 Shentsova E.S., Derkanosova A.A., Korotaeva A.A., Polyansky K.K. Improving the production of milk replacers for calves. Cheese making and butter making. 2016. no. 1. pp. 41-42.

17 Tavares G.M. et al. Milk proteins as encapsulation devices and delivery vehicles: Applications and trends. Trends in Food Science & Technology. 2014. vol. 37. no. 1. pp. 5–20. doi: 10.1016/j.tifs.2014.02.008

18 Ruhaak L.R., Lebrilla C.B. Advances in analysis of human milk oligosaccharides. Advances in Nutrition. 2012. vol. 3. no. 3. pp. 406S 414S. doi: 10.3945/an.112.001883

19 Mozaffarian D. Dairy foods, obesity, and metabolic health: the role of the food matrix compared with single nutrients. Advances in Nutrition. 2019. vol. 10. no. 5. pp. 917S 923S. doi: 10.1093/Advances/nmz053

20 Dinika I. et al. Potential of cheese whey bioactive proteins and peptides in the development of antimicrobial edible film composite: A review of recent trends. Trends in Food Science & Technology. 2020. doi: 10.1016/j.tifs.2020.06.017

21 Han J. et al. Effect of polyphenolic ingredients on physical characteristics of cheese. Food Research International. 2011. vol. 44. no. 1. pp. 494–497. doi: 10.1016/j.foodres.2010.10.026

22 Drannikov A.V., Derkanosova A.A., Korotaeva A.A., Orinicheva A.A., Pribytkov A.V. Study of feed protein supplement with the properties of phytobiotics. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2020. vol. 422. no. 1. pp. 012086. doi: 10.1088/1755-1315/422/1/012086

Сведения об авторах

Анна А. Дерканосова к.т.н., доцент, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, aa-derk@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-9726-9262

Елена Е. Курчаева к.т.н., доцент, кафедра товароведения и экспертизы товаров, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, alena.kurchaeva@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-5958-0909

Александр В. Востроилов д.с.-х.н., профессор, кафедра частной зоотехнии, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, улица Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, alexandervostroilov@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-1626-5735

Елена В. Баженова соискатель, кафедра частной зоотехнии, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, 79518640079@ya.ru

Яна А. Попова к.т.н., доцент, кафедра товароведения и экспертизы товаров, Луганский государственный университет имени Владимира Даля, г. Луганск, 91034, Луганская Народная Республика, bimine@ya.ru

Наталья А. Матвиенко к.т.н., доцент, кафедра технологии бродильных и сахаристых веществ, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, natali25_81@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-4777-003X

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Anna A. Derkanosova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, aa-derk@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-9726-9262

Elena E. Kurchaeva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, commodity science and product expertise department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia, alena.kurchaeva@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-5958-0909

Alexander V. Vostroilov Dr. Sci. (Agric.), professor, private animal science department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia, alexandervostroilov@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-1626-5735

Elena V. Bazhenova applicant, private animal science department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia, 79518640079@ya.ru

Yana A. Popova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, commodity science and product expertise department, Luhansk State University named after Vladimir Dal, Luhansk, 91034, LNR, bimine@ya.ru

Natalya A. Matvienko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fermentation and sugar substances technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, natali25_81@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-4777-003X

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/01/2021	**После редакции** 16/02/2021	**Принята в печать** 03/03/2021

Received 18/01/2021	**Accepted in revised** 16/02/2021	**Accepted** 03/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-155-162 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.788/664.668.9 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Современная оценка хлебопекарных свойств российской пшеницы

Елена П. Мелешкина [1] kachestvovniiz@mail.ru 0000-0003-1339-7150
Светлана Н. Коломиец [1] kolomietcs@mail.ru 0000-0002-3130-2285
Наталья С. Жильцова [1] nata007-08@mail.ru 0000-0002-3436-6049
Ольга И. Бундина [1] boi888@mail.ru 0000-0002-7821-6042

1 ВНИИЗ-филиал ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Дмитровское шоссе, 11, г. Москва, 127434, Россия

Аннотация. В статье представлен анализ качества мягкой пшеницы, выращенной в разных почвенно-климатических условиях Российской Федерации и обладающих широким диапазоном показателей качества (количество клейковины - от 15,3 до 29,4%, качество клейковины – от 29 до 84 ед. ИДК, число падения – от 134 до 475 с). Выявлены существенные отличия качества современной российской пшеницы от пшеницы конца XX века. Установлены взаимосвязи показателей качества зерна, полученной из него муки, реологических свойств теста с показателями качества хлеба на современной приборной базе с использованием альвеографа, валориграфа и миксолаба. Изучение реологических свойств теста на миксолабе осуществляли в классическом режиме «Chopin Wheat+». По показателям профайлера (радиальная диаграмма) установлено, что исследуемое зерно характеризовалось повышенными показателями ретроградации крахмала, характеризующего углеводно-амилазный комплекс муки, высокого индекса водопоглощения, повышенной амилолитической активностью; низкими вязкостью и показателем глютен+. Для дифференциации силы пшеницы пробная лабораторная выпечка хлеба была проведена с использованием двух методов – ремикс-методом и сокращённым-ремикс методом, которые показали, что в наибольшей степени устойчивые взаимосвязи выявлены при выпекании хлеба ремикс-методом. При выпекании сокращённым методом получены более высокие показатели качества хлеба, но устойчивых взаимосвязей меньше, причём, как у пшеницы, содержащей количество клейковины менее 25%, так и более 25%.

Ключевые слова: зерно, мука, реология теста, выпечка хлеба, качество.

Modern assessment of bakery properties of Russian wheat

Elena P. Meleshkina [1] kachestvovniiz@mail.ru 0000-0003-1339-7150
Svetlana N. Kolomiets [1] kolomietcs@mail.ru 0000-0002-3130-2285
Natalya S. Zhiltsova [1] nata007-08@mail.ru 0000-0002-3436-6049
Olga I. Bundina [1] boi888@mail.ru 0000-0002-7821-6042

1 VNIIZ – branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbatova RAS, 11 Dmitrovskoe highway, Moscow, 127434, Russia

Abstract. The paper presents an analysis of the quality of soft wheat grown in different soil and climatic conditions of the Russian Federation and having a wide range of quality indicators (the amount of gluten - from 15.3 to 29.4%, the quality of gluten - from 29 to 84 units. IIR, falling number - from 134 to 475 sec). Revealed significant differences in the quality of modern Russian wheat from the wheat of the late XX century. The interrelationships of indicators of quality of grain, flour obtained from it, rheological properties of dough with indicators of quality of bread on a modern instrument base using an alveograph, valorigraph and mixolab have been established. The study of the rheological properties of the dough on the mixolab was carried out in the classical "Chopin Wheat +" mode. According to the profiler parameters (radial diagram), it was found that the analyze grain was characterized by increased rates of starch retrogradation, which characterizes the carbohydrate-amylase complex of flour, a high water absorption index, and increased amylolytic activity; low viscosity and gluten +. To differentiate the strength of wheat, a test laboratory baking of bread was carried out using two methods - the remix method and the reduced-remix method, which showed that the most stable relationships were revealed when baking bread with the remix method. When baking with the abbreviated method, higher indicators of bread quality were obtained, but there are fewer stable relationships, moreover, both for wheat containing less than 25% gluten and more than 25%.

Keywords: grain, flour, dough rheology, bread baking, quality

Введение

В последние годы Россия достигла значительных успехов в производстве зерна. Так, 2017–2019 годы оказались рекордными по сбору зерновых. В 2017 г. собран рекордный урожай – 135,5 млн тонн, в 2018 году – 113,3 млн тонн, в 2019 году – 120,6 млн тонн зерна [1–2], в 2020 году 132,9 млн тонн зерна [3].

Однако, увеличение урожайности свидетельствует о ухудшении товарного качества зерна пшеницы. Снижение качества зерна выражается не только в снижении объема 1–3 классов и ростом объемов 4-го класса, но и снижением качества внутри класса из года в год. Причинами этого могло стать как изменение климата, ухудшение посевных качеств семян, так и качество вносимых в почву удобрений.

Для цитирования
Мелешкина Е.П., Коломиец С.Н., Жильцова Н.С., Бундина О.И. Современная оценка хлебопекарных свойств российской пшеницы // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 155–162. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-155-162

For citation
Meleshkina E.P., Kolomiets S.N., Zhiltsova N.S., Bundina O.I. Modern assessment of bakery properties of Russian wheat. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 155–162. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-155-162

© 2021, Мелешкина Е.П. и др. / Meleshkina et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

По результатам обследования урожая, которые ведут ученые института зерна на протяжении 20 лет, можно сказать, что качество зерна 3-го класса соответствует слабой пшенице. Сильной пшеницы 3-го класса с годами производится все меньше, а пшеницы 1-го и 2-го класса в последние несколько лет практически нет, лишь в 2020 году её доля составила 1,5% против 0,17% в 2019 году.

В связи с этим остро стоит вопрос, как работать с данным зерном, как получить в итоге качественный и полезный продукт для нашего потребителя [20]. Для этого нужны новые стандартизированные подходы к оценке качества современной пшеницы. Нужны исследования реологических свойств теста, для установления взаимосвязи показателей качества зерна и муки с реологическими свойствами и показателями качества хлеба для пшеницы с помощью современной приборной базы [4-14].

Основным показателем оценки хлебопекарных свойств зерна и муки является пробная лабораторная выпечка.

Материалы и методы

В ходе проведения работы от 55 товарных партий мягкой пшеницы для исследований были отобраны пробы, характеризующиеся различными показателями качества. Показатели технологических свойств зерна мягкой пшеницы в соответствии с ГОСТ 9353–2016 «Пшеница. Технические условия» определены следующими стандартизированными методами анализов: выделение средней пробы, её подготовка и выделение навесок для анализов – по ГОСТ 13586.3–2015; тип – по ГОСТ 10940–64; запах и цвет – по ГОСТ 10967–2019; влажность по ГОСТ 13586.5–2015; заражённость вредителями по ГОСТ 13586.4–83; количество и качество сырой клейковины – по ГОСТ Р 54478–2011; число падения – по ГОСТ 27676–88; стекловидность – по ГОСТ 10987–76; натура по ГОСТ 10840–2017; содержание сорной, зерновой, металломагнитной примеси, зёрен, повреждённых клопом-черепашкой, – по ГОСТ 30483–97. Проведены лабораторные помолы отобранных образцов зерна на лабораторной мельнице МЛУ-202 по общепринятой методике с получением муки первого и высшего сорта 70%-ного выхода. Проведены исследования реологических свойств теста на приборах альвеограф, валориграф и миксолаб в соответствии с ГОСТ Р 51414–99, ГОСТ Р 51415–99, ГОСТ ISO 17718–2015 соответственно. Из полученной муки выпечен хлеб двумя методами пробной лабораторной выпечки: ремикс-метод и сокращенный.

Результаты и обсуждение

Результаты работы по оценке качества зерна пшеницы приведены в таблице 1. Количество клейковины составило от 15,3% до 29,4%, в среднем 23,2%; качество клейковины – от 29 до 84 ед. ИДК, в среднем – 53 ед. ИДК, число падения – от 134 до 475 с, в среднем 336 с.

По хлебопекарным достоинствам пшеницу принято делить на сильную, ценную (среднюю по силе) и слабую. По Межведомственным классификационным нормам количество клейковины в зерне сильной пшеницы установлено не менее 28%, ценной – не менее 25%. Сильная пшеница – зерно пшеницы одного сорта или смеси сортов, характеризующееся генетически обусловленными очень высокими хлебопекарными достоинствами и способностью быть улучшителем слабой пшеницы для целей хлебопечения. Ценная по качеству пшеница (средняя по силе) сама по себе без подсортировки даёт хлеб нормального и хорошего качества.

Оценка качества пшеничной муки

Результаты оценки качества проб пшеничной муки приведены в таблице 2. Количество клейковины составило от 19,4 до 32,2%, в среднем – 25,5%; качество клейковины – от 23 до 80 ед. ИДК, в среднем – 56 ед. ИДК, число падения в среднем было повышенным – 372 с при диапазоне от 176 до 563 с.

Таблица 1.

Показатели качества исследованных проб зерна пшеницы (количество проб n = 55)

Table 1.

Quality of tested wheat grain samples (number of samples n = 55)

Показатель Indicator		Min–Max Ср. (Ave)
Количество клейковины, % Gluten quantity, %		15,3–29,4 23,2
Качество клейковины, ед. ИДК Gluten quality, units IDK		29–84 53
Число падения, с Falling-number value, s		134–475 336
Натура, г/л Test weight, g/l		746–850 800
Стекловидность, % Glassy%	общая general	42–95 65
	полная full	10–91 40
Масса 1000 зёрен, г в пересч. на с.в. Weight 1000 grains, g in terms of DM		32,7–43,6 36,8
Зольность, % Ash-content, %		1,22–1,82 1,50

Таблица 2.

Статистические характеристики показателей качества муки (количество проб n = 55)

Table 2.

Statistical characteristics of flour quality indicators (number of sample n = 55)

Показатель Indicator		Диапазон Range	Среднее Average	Медиана Median	Стандартное отклонение Standard deviation
Выход муки, % | Yield of flour, %		71,5–83,3	77,2	77	2,345
Количество клейковины, % | Gluten quantity, %		19,4–32,2	25,5	25,3	2,791
Качество клейковины, ед. ИДК | Gluten quality, IDK		23–80	56	54	10,556
Число падения, с | Fall-number, s		176–563	372	382	79,618
Зольность, % | Ash-content, % |		0,4–0,7	0,50	0,51	0,046
Крупность помола, % Grinding size, %	сход сита 36/40 ПА sieve 36/40 PA	0,0–0,5	0,2	0,2	0,085
	проход сита 45/50 ПА sieve passage 45/50 PA	84,8–92,9	89,0	88,7	1,660

Как видно из таблиц 1 и 2, качество зерна и муки из пшеницы в работе представлено широким диапазоном, позволяющим охватить практически всё качество муки, которое может быть представлено на внутреннем рынке России.

Анализ реологических свойств теста

Диапазон полученных данных и средние результаты оценки реологических свойств теста приведены в таблицах 3 и 4. В ходе исследования по количеству клейковины весь массив полученных данных был условно разделён на две большие группы – зерно с содержанием клейковины выше 25% и ниже 25%.

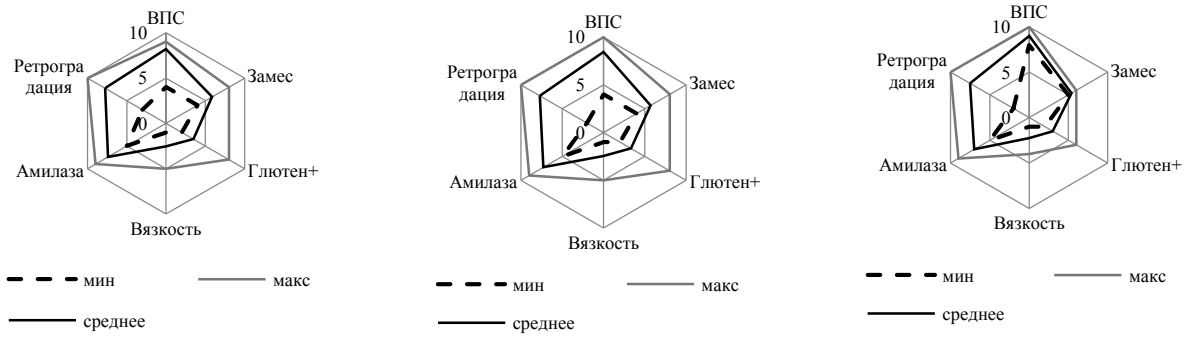
Таблица 3.

Название таблицы на русском языке Статистические характеристики показателей реологических свойств теста по альвеографу

Table 3.

Statistical characteristics of indicators of rheological properties of the dough by alveograph

Значение Value	Максимальное избыточное давление, P, мм Overpressure, P, mm	Среднее значение абсциссы при разрыве, L, мм Average reading of absciss during snatch, L, mm	Индекс растяжимости, G, $см^{3/2}$ Index to extensibility G, $cm^{3/2}$	Показатель формы кривой, P/L Indicator curve shape, P/L	Энергия деформации, $x10^{-4}$ J Strain energy, $x10^{-4}$ J	Индекс эластичности, Ie, % Index of elasticity, Ie, %
Все пробы зерна | All grain samples						
Min	59	15	8,5	0,8	40	0
Max	168	86	20,5	7,6	230	54
Ave	95	35	13,0	3,1	141	14
Медиана Median	92	32	12,5	3,2	140	0
Стандартное отклонение Standard deviation	19,12	14,08	2,51	1,34	44,14	20,34
Пробы зерна с содержанием клейковины менее 25% | Grain samples with gluten content less than 25%						
Min	59	15	8,5	0,8	40	0
Max	168	86	20,5	7,6	230	48
Ave	95	33	12,6	3,4	131	11
Медиана Median	90	30	12	3,2	130	0
Стандартное отклонение Standard deviation	21,61	15,15	2,66	1,48	45,07	17,91
Пробы зерна с содержанием клейковины более 25% | Grain samples with gluten content more than 25%						
Min	73	25	11,0	1,3	110	0
Max	122	63	17,5	4,0	230	54
Ave	95	40	13,9	2,6	163	20
Медиана Median	93,5	37,5	13,8	2,55	168	0
Стандартное отклонение Standard deviation	13,15	10,61	1,89	0,80	33,66	23,81



(a) (b) (c)

Рисунок 1. Радиальные диаграммы максимальных, минимальных и средних значений индексов профайлера «Миксолаб» для исследуемых проб муки: (a) пробы зерна пшеницы с содержанием клейковины менее 25%; (b) пробы зерна пшеницы с содержанием клейковины более 25%; (c) все пробы зерна пшеницы

Figure 1. Radial diagrams of maximum, minimum and average indices of "Mixolab" profiler for tested flour samples: (a) wheat grain samples with gluten content less than 25%; (b) wheat grain samples with gluten content exceeding 25%; (c) all wheat grain samples

Таблица 4.

Статистические характеристики показателей реологических свойств теста по валориграфу (фаринографу)

Table 4.

Statistical characteristics of indicators of rheological properties of valorigraph test (fari-nograph)

Значение Value	Водопоглощение, ВПС, % Water absorption, %	Время образования теста, мин Dough formation time, min	Устойчивость, мин Stability, min	Степень разжижения, ЕВ Degree liqefication EV	Валориметрическая оценка, ЕВ Valorimetric evaluation, EV	Показатель качества, мм Quality Indicator, mm
Все пробы зерна | All grain samples						
Min	58,9	2,0	2,0	15	36	25
Max	67,0	12,5	22,0	170	82	255
Ave	63,2	5,6	9,9	72	61	112
Медиана | Median	62,75	5,0	10,25	70	58	112,5
Стандартное отклонение Standard deviation	2,05	2,86	3,96	34,93	10,09	45,34
Пробы зерна с содержанием клейковины менее 25% | Grain samples with gluten content less than 25%						
Min	58,9	2,0	2,0	15	36	25
Max	66,8	12,0	22,0	170	80	255
Ave	63,0	5,1	9,7	72	59	111
Медиана | Median	62,6	4	10,5	70	58	115
Стандартное отклонение Standard deviation	2,104	2,906	4,218	38,312	10,177	49,673
Пробы зерна с содержанием клейковины более 25% | Grain samples with gluten content more than 25%						
Min	60,3	3,0	5,5	30	49	70
Max	67,0	12,5	18,5	120	82	205
Ave	63,7	6,8	10,3	70	64	115
Медиана | Median	63,65	6,5	10	70	65	110
Стандартное отклонение Standard deviation	1,912	2,457	3,451	27,890	9,352	36,270

Представленные данные показывают, что по показателю энергия деформации мука имела среднее значение (141 ч 10–4J). У проб с содержанием клейковины более 25% энергия деформации составила – 163 х 10–4J. В группе с содержанием клейковины ниже 25% значение энергии деформации составило в среднем – 131 х 10–4J. В соответствии с Межведомственными классификационными нормами энергия деформации теста для сильной пшеницы должна составлять не менее 280 х 10–4J, для ценной – не менее 260 х 10–4J.

Исследуемые пробы обладали довольно высокой упругостью (95 мм), при весьма низком значении индекса растяжимости теста – 12,6 $см^{3/2}$ у проб с низким содержанием клейковины и 13,9 $см^{3/2}$ у проб с содержанием клейковины выше 25%. Это говорит о несбалансированности упруго-эластичных свойств у большинства

исследуемых образцов. При этом в группе с высоким содержанием клейковины показатель формы кривой был несколько ниже (2,6), чем в группе с низким содержанием клейковины (3,4). Такие значения показателя формы кривой указывали на пониженные хлебопекарные качества.

По реологическим свойствам теста на валориграфе большое значение имеет показатель водопоглощения (ВПС) – важный технологический параметр [16-19], позволяющий определить фактический выход хлеба и уменьшить сырьевые потери при его производстве. В среднем ВПС исследуемых проб составила 63,2% при диапазоне от 58,9% до 67,0%. В то же время мука имела в среднем показатели качества на уровне средней по силе, невысокую степень разжижения (72 ЕВ) и хорошую устойчивости (9,9 мин) при пониженном значении показателя валориметрической оценки – 61 ЕВ, что в среднем характеризовало такую муку как слабую.

На рисунке 1 представлены радиальные диаграммы, отражающие максимальное, минимальное и среднее значение индексов прибора миксолаба, позволяющего определить целевое использование муки по его реологическим свойствам.

Как видно из круговых диаграмм, исследуемые пробы зерна обладали высоким значением показателя ретроградации крахмала, характеризующего углеводно-амилазный комплекс муки и, в частности, свойства крахмала. Высокое значение показателя может говорить о высокой скорости черствения хлеба из такой муки. Довольно высокое значение показателя свидетельствовало об активности ферментов амилолитического действия. Высокий индекс водопоглощения показывает силу муки.

При этом исследуемые пробы зерна обладали низкой вязкостью, низким показателем глютен+, характеризующим хлебопекарные свойства зерна – в частности, что оказывает влияние на объемный выход хлеба и реологические свойства мякиша.

Определение хлебопекарных свойств пшеницы по пробным лабораторным выпечкам хлеба

Из полученной муки был выпечен хлеб с применением двух методов пробной лабораторной выпечки для выявления силы пшеницы – ремикса и сокращённого-ремикса. Основной целью использования различных методов выпечки было их сравнение по возможности оценки качества, как сильного, так и слабого зерна пшеницы, для выбора метода, в наибольшей степени дифференцирующего силу пшеницы.

В ходе работы было принято во внимание, что на результат измерений, выполненных по одному методу помимо различных свойств разных проб муки, могут влиять многие факторы, такие, в частности, как оператор, используемое оборудование и его калибровка, параметры окружающей среды и время между измерениями. В связи с этим эксперимент проводился с тщательным соблюдением условий повторяемости: испытания проводили на одном и том же оборудовании, при одинаковых условиях окружающей среды, одним оператором, использующим одни и те же средства измерения, в короткий промежуток времени.

Пробы, выпеченные сокращённым методом, характеризовались более высоким значением всех показателей качества, чем пробы, выпеченные ремикс-методом, причём это справедливо как для проб муки с высоким содержанием клейковины, так и с низким.

Исследование взаимосвязи показателей качества муки с качеством хлеба

Анализ взаимосвязи между различными показателями качества зерна пшеницы, наибольший интерес представляют те, в которых рассматривается связь признаков качества зерна с его хлебопекарными свойствами.

Для пшеницы с содержанием клейковины менее 25% в результате корреляционного анализа, выявляющего прямолинейные зависимости между показателями качества, подтверждена прямая зависимость между количеством клейковины в зерне и объемным выходом хлеба, выпеченного ремикс-методом (r = 0,420 и 0,461 для формового и подового хлеба), а также его удельным объемом и органолептической оценкой. Устойчивая связь обнаружена между формоустойчивостью хлеба, выпеченного данным методом, и числом падения в зерне (r = 0,689) и муке (r = 0,598), что согласуется с работами учёных, таких как Л.Я. Ауэрманом, Н.П. Козьминой, В.Л. Кретовичем, а также натурой (r = 0,558). Умеренная связь обнаружена между показателями пористости, удельного объема хлеба и реологических свойств мякиша. Показатель качества клейковины имел обратную взаимосвязь с формоустойчивостью хлеба. При этом хлеб, выпеченный сокращенным методом, несмотря на более высокие показатели качества и органолептическую оценку, устойчивых взаимосвязей с количеством клейковины в зерне и муке не имел, что объясняется, по-видимому, различиями в рецептурах выпечек. Однако также отмечены положительные взаимосвязи с показателями натуры и массы 1000 зёрен.

В ходе работы большое внимание было уделено реологическим свойствам теста по альвеографу и валориграфу. Так, показатель максимального избыточного давления оказывал влияние на объемный выход, удельный объем и формоустойчивость хлеба, выпеченного ремикс-методом. При этом показатель формоустойчивости также имел положительную взаимосвязь с коэффициентом конфигурации кривой (r = 0,662) и отрицательную с показателями эластичности теста – средней абсциссой при разрыве и индексом растяжимости (r = -0,552 и r = -0,534).

При этом, как и в случае с показателями качества зерна и муки, хлеб, выпеченный сокращенным методом, показывал гораздо меньшее количество взаимосвязей с реологическими свойствами теста. Но при этом подтверждались устойчивые положительные зависимости формоустойчивости хлеба от максимального избыточного давления (r = 0,626) и коэффициента конфигурации кривой (r = 0,508), отражающего сбалансированность упруго-эластичных свойств муки. Отмечалась прямая взаимосвязь энергии деформации теста по альвеографу, характеризующая силу муки и органолептическую оценку хлеба, выпеченного данным методом.

При анализе показателей реологических свойств по валориграфу при выпечке ремикс-методом взаимосвязей между качеством хлеба и ВПС не выявлено, однако при выпечке сокращенным методом обнаружена устойчивая прямая зависимость формоустойчивости и органолептической оценки хлеба от водопоглотительной способности муки. Также отмечалась зависимость объемного выхода, удельного объема и органолептической оценки хлеба, выпеченного ремикс-методом, и устойчивостью теста по валориграфу, валориметрической оценкой и числом качества (ЧКФ). Хлеб, выпеченный сокращенным-ремикс методом, также отражал влияние валориметрической оценки, характеризующей силу муки, однако, эта связь менее тесная.

Для пшеницы содержанием клейковины более 25% были получены следующие данные. При анализе корреляционных связей между показателями качества зерна и муки и качества хлеба, выпеченного ремикс-методом, отмечена прямая взаимосвязь между содержанием клейковины в зерне и формоустойчивостью хлеба (r = 0,532). Реологические свойства мякиша имели прямую зависимость с числом падения в зерне и муке (r = 0,639 и r = 0,514) и натурой (r = 0,539). Выход муки при этом влиял практически на все показатели качества хлеба.

Хлеб, выпеченный сокращенным методом, показывал меньше прямых взаимосвязей: анализ данных не выявил зависимости качества хлеба, выпеченного данным методом, с количеством клейковины как в зерне, так и в муке. Отмечено влияние числа падения на объемный выход и формоустойчивость хлеба, а также на его органолептическую оценку. Качество клейковины в муке при этом имело умеренную взаимосвязь с реологическими свойствами мякиша – относительной упругостью и отношением пластичности к упругости (r = -0,564 и r = 0,550).

Заметной корреляционной зависимости между показателями качества хлеба, выпеченного ремикс-методом, и реологическими свойствами по альвеографу не обнаружено. Корреляционный анализ качества хлеба, выпеченного сокращенным методом, и реологических свойств теста по альвеографу позволил выявить лишь взаимосвязь эластичных свойств теста и пористости хлеба (r = 0,599 и r = 0,604).

При анализе корреляционных зависимостей между показателями качества хлеба и реологических свойств теста по валориграфу отмечено влияние показателя времени замеса теста на формоустойчивость и общую деформацию мякиша хлеба, выпеченного ремикс-методом (r = 0,540 и r = 0,530 соответственно). Также отмечена умеренная зависимость формоустойчивости (r = 0,492), общей деформации мякиша (r = 0,490) и органолептической оценки (r = 0,499, r = 0,482) от валориметрической оценки. У хлеба, выпеченного сокращенным методом, выявлена лишь устойчивая прямая зависимость реологических свойств мякиша от разжижения теста (r = 0,492).

Одной из важнейших целей проводимой работы являлось использование новых современных приборов и оборудования в оценке качества зерна пшеницы. Миксолаб определяет целевое использование муки по его реологическим свойствам [15]. Использование в работе приборов альвеограф, валориграф и миксолаб помогает наиболее наглядно и быстро поставить взаимосвязь между качеством муки и выпеченным из нее хлебом, свести к минимуму ошибки, возможные при выполнении выпечки оператором. Данные, полученные в результате испытания муки по реологическим показателям могут быстро и достоверно определить цели по использованию муки.

Заключение

Проведённые исследования свидетельствуют о том, что в отличие от пшеницы XX века в настоящее время имеются существенные изменения в её свойствах, поэтому, необходимо создание новой системы оценки качества зерна пшеницы с учётом его целевого использования.

Кроме того, исследование подтвердило наше предположение о необходимости оценки качества пшеницы, используемой на хлебопекарные цели новыми показателями, определяемыми на новом приборе – миксолабе (Франция), который позволяет добавить в дополнение к ранее имевшимся показателям оценку свойств пшеницы с позиции сохранности хлеба, протекания процессов его черствения, что в последние годы приобрело в России большую проблему.

Литература

1 Шаймерденова Д.А. Сравнительная характеристика классификаций зерна мягкой пшеницы Казахстана и основных зернопроизводящих стран // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 1. С. 140–145. doi: 10.20914/2310–1202–2018–1–140–145

2 Интерфакс. Итоги 2019 года в российском сельском хозяйстве. URL: http://agroobzor.ru/article/a-1161.html

3 Доля продовольственной пшеницы в урожае 2020 г. в РФ снизилась, фуражной – выросла. URL: https://www.zol.ru/n/3279a

4 Мелешкина Е.П., Жильцова Н.С., Коломиец С.Н., Бундина О.И. Сравнение российской оценки хлебопекарных свойств пшеницы и определение качества зерна с использованием миксолаба // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. С. 70–80. doi: 10.20914/2310–1202–2019–3–70–80

5 Мелешкина Е.П., Витол И С., Туляков Д Г. Современные способы оценки муки // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2017. № 7–8 (171). С. 22–25.

6 Перфилова О.В., Бабушкин В.А., Парусова К.В., Евдокимова И.П. Влияние овощных порошков на реологические свойства теста и хлеба из пшеничной муки // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2016. № 1. С. 71-79.

7 Анисимова Л.В., Ахмед С.О.И. Реологические свойства теста из смеси пшеничной и цельносмолотой овсяной муки // Ползуновский вестник. 2017. № 3.

8 Старовойтова О.В. Садриева А.А., Мингалеева З.Ш., Решетник О.А. Исследование реологических характеристик теста с использованием добавки антиоксидантного действия // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 18.

9 Конева С.И., Егорова Е.Ю., Козубаева Л.А., Резниченко И.Ю. Влияние льняной муки на реологические свойства теста из смеси пшеничной и льняной муки и качество хлеба // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49. № 1. doi: 10.21603/2074-9414-2019-1-85-96

10 Перепёлкина Я.Ю., Болтенко Ю.А. Влияние реологических характеристик пшеничного теста после замеса на качество готового хлеба // Научные исследования: от теории к практике. 2015. № 5. С. 152-154.

11 Кулеватова Т.Б., и др. Особенности реологических свойств теста из ржаной муки и смесей на ее основе // Хранение и переработка сельхозсырья. 2019. № 4. doi: 10.36107/spfp.2019.185

12 Faridi H., Faubion J. M. Dough rheology and baked product texture. Springer Science & Business Media, 2012.

13 Mohammed I., Ahmed A.R., Senge B. Dough rheology and bread quality of wheat–chickpea flour blends // Industrial Crops and Products. 2012. V. 36. № 1. P. 196-202. doi: 10.1016/j.indcrop.2011.09.006

14 Bonfil D.J., Posner E.S. Can bread wheat quality be determined by gluten index? // Journal of Cereal Science. 2012. V. 56. № 2. P. 115-118. doi: 10.1016/j.jcs.2012.07.003

15 Fu B.X., Wang K., Dupuis B. Predicting water absorption of wheat flour using high shear-based GlutoPeak test // Journal of Cereal Science. 2017. V. 76. P. 116-121.

16 Chaple S., Sarangapani C., Jones J., Carey E. et al. Effect of atmospheric cold plasma on the functional properties of whole wheat (Triticum aestivum L.) grain and wheat flour // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2020. V. 66. P. 102529. doi: 10.1016/j.ifset.2020.102529

17 Chen Y.X. et al. Effects of tempering with steam on the water distribution of wheat grains and quality properties of wheat flour // Food chemistry. 2020. V. 323. P. 126842. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.126842

18 Singh N., Virdi A.S., Katyal M., Kaur A. et al. Evaluation of heat stress through delayed sowing on physicochemical and functional characteristics of grains, whole meals and flours of India wheat // Food Chemistry. 2021. V. 344. P. 128725. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128725

19 Stoffel F., Santana W.D.O., Fontana R.C., Gregolon J.G.N. et al. Chemical features and bioactivity of grain flours colonized by macrofungi as a strategy for nutritional enrichment // Food chemistry. 2019. V. 297. P. 124988. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.124988

20 Paznocht L., Kotíková Z., Orsák M., Lachman J. et al. Carotenoid changes of colored-grain wheat flours during bun-making // Food chemistry. 2019. V. 277. P. 725-734. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.11.019

References

1 Shaimerdenova D.A. Comparative characteristics of the classifications of soft wheat grain in Kazakhstan and the main grain-producing countries. Proceedings of VSUET. 2018. vol. 80. no. 1. pp. 140–145. doi: 10.20914 / 2310–1202–2018–1–140–145 (in Russian).

2 Interfax. Results of 2019 in Russian agriculture. Available at: http://agroobzor.ru/article/a 1161.html (in Russian).

3 The share of milling wheat in the 2020 harvest in the Russian Federation decreased, while the share of feed wheat increased. Available at: https://www.zol.ru/n/3279a (in Russian).

4 Meleshkina E.P., Zhiltsova N.S., Kolomiets S.N., Bundina O.I. Comparison of the Russian assessment of the baking properties of wheat and the determination of grain quality using mixolab. Proceedings of VSUET. 2019. vol. 81. pp. 70–80. doi: 10.20914 / 2310–1202–2019–3–70–80 (in Russian).

5 Meleshkina E.P., Vitol I.S., Tulyakov D.G. Modern methods of flour assessment. Confectionery and bakery production. 2017. no. 7-8 (171). pp. 22-25. (in Russian).

6 Perfilova O.V., Babushkin V.A., Parusova K.V., Evdokimova I.P. The influence of vegetable powders on the rheological properties of dough and bread from wheat flour. Bulletin of Michurinsky State Agrarian University. 2016. no. 1. pp. 71-79. (in Russian).

7 Anisimova L.V., Akhmed S.O.I. Rheological properties of dough from a mixture of wheat and whole-ground oat flour. Polzunovskiy Vestnik. 2017. no. 3. (in Russian).

8 Starovoitova O.V. Sadrieva A.A., Mingaleeva Z.Sh., Reshetnik O.A. Investigation of rheological characteristics of dough using antioxidant additives. Bulletin of Kazan Technological University. 2013. vol. 16. no. 18. (in Russian).

9 Koneva S.I., Egorova E.Yu., Kozubaeva L.A., Reznichenko I.Yu. The influence of flax flour on the rheological properties of dough from a mixture of wheat and flax flour and the quality of bread. Technics and technology of food production. 2019. vol. 49. no. 1. doi: 10.21603/2074-9414-2019-1-85-96 (in Russian).

10 Perepyolkina Ya.Yu., Boltenko Yu.A. Influence of rheological characteristics of wheat dough after kneading on the quality of finished bread. Scientific research: from theory to practice. 2015. no. 5. pp. 152-154. (in Russian).

11 Kulevatova T.B. et al. Features of the rheological properties of dough from rye flour and mixtures based on it. Storage and processing of agricultural raw materials. 2019. no. 4. doi: 10.36107/spfp.2019.185 (in Russian).

12 Faridi H., Faubion J. M. Dough rheology and baked product texture. Springer Science & Business Media, 2012.

13 Mohammed I., Ahmed A.R., Senge B. Dough rheology and bread quality of wheat–chickpea flour blends. Industrial Crops and Products. 2012. vol. 36. no. 1. pp. 196-202. doi: 10.1016/j.indcrop.2011.09.006

14 Bonfil D.J., Posner E.S. Can bread wheat quality be determined by gluten index? Journal of Cereal Science. 2012. vol. 56. no. 2. pp. 115-118. doi: 10.1016/j.jcs.2012.07.003

15 Fu B.X., Wang K., Dupuis B. Predicting water absorption of wheat flour using high shear-based GlutoPeak test. Journal of Cereal Science. 2017. vol. 76. pp. 116-121.

16 Chaple S., Sarangapani C., Jones J., Carey E. et al. Effect of atmospheric cold plasma on the functional properties of whole wheat (Triticum aestivum L.) grain and wheat flour. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2020. vol. 66. pp. 102529. doi: 10.1016/j.ifset.2020.102529

17 Chen Y.X. et al. Effects of tempering with steam on the water distribution of wheat grains and quality properties of wheat flour. Food chemistry. 2020. vol. 323. pp. 126842. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.126842

18 Singh N., Virdi A.S., Katyal M., Kaur A. et al. Evaluation of heat stress through delayed sowing on physicochemical and functional characteristics of grains, whole meals and flours of India wheat. Food Chemistry. 2021. vol. 344. pp. 128725. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128725

19 Stoffel F., Santana W.D.O., Fontana R.C., Gregolon J.G.N. et al. Chemical features and bioactivity of grain flours colonized by macrofungi as a strategy for nutritional enrichment. Food chemistry. 2019. vol. 297. pp. 124988. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.124988

20 Paznocht L., Kotíková Z., Orsák M., Lachman J. et al. Carotenoid changes of colored-grain wheat flours during bun-making. Food chemistry. 2019. vol. 277. pp. 725-734. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.11.019

Сведения об авторах

Елена П. Мелешкина д.т.н., директор, ВНИИЗ – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Дмитровское шоссе, 11, г. Москва, 127434, Россия, kachestvovniiz@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-1339-7150

Светлана Н. Коломиец к.с.-х.н., старший науч. сотр, ВНИИЗ – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Дмитровское шоссе, 11, г. Москва, 127434, Россия, kolomietcs@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3130-2285

Наталья С. Жильцова вед. инженер, аспирант, ВНИИЗ – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Дмитровское шоссе, 11, г. Москва, 127434, Россия, nata007-08@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3436-6049

Ольга И. Бундина к.э.н., ведущий науч. сотр., ВНИИЗ – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Дмитровское шоссе, 11, г. Москва, 127434, Россия, boi888@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7821-6042

Information about authors

Elena P. Meleshkina Dr. Sci. (Engin.), director, VNIIZ branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbatova RAS, 11 Dmitrovskoe highway, Moscow, 127434, Russia, kachestvovniiz@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-1339-7150

Svetlana N. Kolomiets Cand. Sci. (Agric.), senior researcher, VNIIZ branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbatova RAS, 11 Dmitrovskoe highway, Moscow, 127434, Russia, kolomietcs@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3130-2285

Natalya S. Zhiltsova lead engineer, graduate student, VNIIZ branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbatova RAS, 11 Dmitrovskoe highway, Moscow, 127434, Russia, nata007-08@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3436-6049

Olga I. Bundina Cand. Sci. (Econ.), leading researher, VNIIZ branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbatova RAS, 11 Dmitrovskoe highway, Moscow, 127434, Russia, boi888@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7821-6042

Вклад авторов

Елена П. Мелешкина консультация в ходе исследования
Светлана Н. Коломиец написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Наталья С. Жильцова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент
Ольга И. Бундина выполнила расчёты

Contribution

Elena P. Meleshkina consultation during the study
Svetlana N. Kolomiets wrote the manuscript, adjusted it before submitting it to the editorial office and is responsible for plagiarism
Natalya S. Zhiltsova review of literary sources on the study problem, conducted an experiment
Olga I. Bundina performed calculations

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/01/2021	**После редакции** 08/02/2021	**Принята в печать** 01/03/2021
Received 11/01/2021	**Accepted in revised** 08/02/2021	**Accepted** 01/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-163-168 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.6: 633.14: 633.11 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Функциональная ценность талгана, изготовленного из пророщенного зерна пшеницы и ячменя

Алена В. Сумина [1] alenasumina@list.ru 0000-0002-0466-6833
Вадим И. Полонский [2,4] vadim.polonskiy@mail.ru 0000-0002-7183-0912
Татьяна М. Шалдаева [3] tshaldaeva@yandex.ru 0000-0002-6049-9179

1 Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, ул. Ленина,90, г. Абакан, 655017, Россия
2 Красноярский государственный аграрный университет, пр.-т Мира, 90, г. Красноярск 660049, Россия
3 Центральный Сибирский ботанический сад СО РАН, ул. Золотодолинская, 101, г. Новосибирск, 630090, Россия
4 Сибирский федеральный университет, пр-т Свободный, 79, г. Красноярск,660041, Россия

Аннотация. Цель настоящего исследования состояла в анализе суммарного содержания антиоксидантов (ССА) на разных этапах производства хакасского национального продукта талган, изготовленного из пророщенного зерна пшеницы и ячменя. Зерновые культуры выращивали на территории Бейского района Республики Хакасия, которая характеризуется благоприятными климатическими условиями с позиций выращивания зерна с повышенным содержанием антиоксидантов. Для определения величины ССА в зерне использовали два растворителя – горячую бидистиллированную воду и 70%-ный этанол. Измерение ССА выполняли на приборе «Цвет Яуза-01-АА». Среди всех исследуемых образцов зерна были зарегистрированы более высокие показатели при использовании в качестве элюента горячей бидистиллированной воды. Установлено, что процесс проращивания не снижал вкусовых качеств зернового продукта. Величина ССА в талгане, изготовленном на основе пророщенного зерна ячменя, была выше в сравнении с пшеницей на 34%. Выявлен эффект увеличения уровня ССА в продукте по сравнению с исходным сырьем после этапа проращивания зерна у пшеницы и ячменя в 1,5 и 2 раза, а после этапов обжаривания и измельчения в 2 и 2,5 раза соответственно. Величина ССА в отрубях превышала таковую в исходном зерне на 44 и 65% для пшеницы и ячменя соответственно. Таким образом, в результате исследований было установлено, что независимо от исследуемой культуры (ячмень, пшеница), введение в технологию изготовления талгана дополнительного этапа, заключающегося в проращивании зерна, является одним из эффективных способов повышения величины ССА в изготовленном на его основе продукте

Ключевые слова: зерно, пшеница, ячмень, проращивание, обжаривание, измельчение, талган, антиоксиданты

Functional value of a talgan made from sprouted wheat and barley

Alena V. Sumina [1] alenasumina@list.ru 0000-0002-0466-6833
Vadim I. Polonskiy [2,4] vadim.polonskiy@mail.ru 0000-0002-7183-0912
Tatyana M. Shaldaeva [3] tshaldaeva@yandex.ru 0000-0002-6049-9179

1 Khakass State University, Lenina st., 90, Abakan, 655017, Russia
2 Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira ave., 90, Krasnoyarsk, 660049, Russia
3 Central Siberian Botanical Garden, SB RAS, Zolotodolinskaya st., 101, Novosibirsk, 630090, Russia
4 Siberian Federal University, Svobodnyy ave., 79, Krasnoyarsk, 660041, Russia

Abstract. The aim of this study was to analyze the total content of antioxidants (TCA) at different stages of production of the Khakass national product talgan, made from sprouted wheat and barley. Grain crops were grown on the territory of the Bey district of the Republic of Khakassia, which is characterized by favorable climatic conditions from the point of view of growing grain with an increased content of antioxidants. To determine the TCA value in the grain, two solvents were used – hot bidistilled water and 70% ethanol. The TCA measurement was performed on the device "Color Yauza-01-AA". Among all the grain samples studied, higher values were recorded when using hot bidistilled water as an eluent. It was found that the germination process did not reduce the taste qualities of the grain product. The value of the TCA in talgan, made on the basis of sprouted barley grain, was higher in comparison with wheat by 34%. The effect of increasing the level of TCA in the product in comparison with the initial raw material after the stage of grain germination in wheat and barley, respectively, by 1.5 and 2 times, and after the stages of roasting and grinding by 2 and 2.5 times. The value of FSA in bran exceeded that in the original grain by 44 and 65% for wheat and barley, respectively. Thus, as a result of the research, it was found that regardless of the studied crop (wheat, barley), the process of germination of grain is one of the effective ways to increase the value of TCA in the talgan product made on its basis.

Keywords: grain, wheat, barley, germination, roasting, grinding, talgan, antioxidants

Введение

Сегодня для повышения качества питания населения разрабатываются варианты усовершенствования имеющихся технологий производства продуктов питания, а также рассматриваются новые возможности их изготовления из уже известного сырья. Как известно, наиболее употребляемыми населением продуктами являются изготовленные на основе зерна. При этом современные потребители предпочитают зерновые продукты с повышенной функциональной ценностью, что можно достичь, например, при помощи модификации технологических процессов.

Для цитирования
Сумина А.В., Полонский В.И., Шалдаева Т.М. Функциональная ценность талгана, изготовленного из пророщенного зерна пшеницы и ячменя // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 163–168. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-163-168

For citation
Sumina A.V., Polonskiy V.I., Shaldaeva T.M. Functional value of a talgan made from sprouted wheat and barley. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 163–168. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-163-168

© 2021, Сумина А.В. и др. / Sumina A.V et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Одним из показателей функциональной ценности продукта выступает его антиоксидантная активность, которая во многом обеспечивается присутствием фенольных соединений, являющихся вторичными метаболитами растений, которые уменьшают молекулярные повреждения, вызванные появлением в клетках свободных радикалов [6].

В этой связи при производстве продуктов на основе зерна важным является степень влияния различных технологических этапов на суммарное содержание антиоксидантов (ССА) в конечном продукте. В нашей недавней работе [2] была прослежена динамика этого биохимического показателя в зерновом сырье на трех основных технологических этапах (обжаривание, измельчение и отделение отрубей) изготовления хакасского национального продукта талгана на основе пшеницы и ячменя. В результате экспериментально был установлен рост уровня ССА в конечном продукте по сравнению с исходным зерном в среднем на 12%.

В литературе показано, что процесс проращивания зерна при температуре от 15 до 28 °С в течение 2–5 дней способствует значительному повышению антиоксидантной активности и общего содержания фенольных соединений у пшеницы и ячменя [5, 7, 10, 12]. Данный факт объясняется способностью к образованию фенольных кислот во время прорастания, а синтезированные ферменты, разрушающие клеточную стенку, могут гидролизовать фенольные соединения, связанные с нею. Все это сопровождается повышением уровня свободных фенольных соединений, главным образом, феруловой кислоты, в зерне и, следовательно, ростом в нем величины суммарного содержания антиоксидантов (ССА) [7, 12–20].

Сравнительно недавно разработан способ получения талгана, включающий дополнительный технологический этап – проращивание зерна [1]. При этом какая-либо информация о величине ССА в таком функциональном продукте в литературе отсутствует.

Цель работы – определение величины ССА на разных этапах изготовления талгана из пророщенного зерна пшеницы и ячменя.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования служили образцы пшеничного и ячменного зерна, выращенного в 2019 году на территории Бейского района Республики Хакасия.

На подготовительном этапе на сортировочных столах вручную производили очистку зерна от примесей, различимых невооруженным глазом. Затем отобранное зерно готовили к проращиванию согласно методике [1]. Суть ее состояла в промывании очищенного зерна под проточной водой (t = 18–20 °С) и последующей раскладке на подносах, которые накрывались полиэтиленовой пленкой для создания повышенной влажности воздуха. Зерно проращивали при комнатной температуре в течение 48 часов. За указанное время зерно размягчалось, и появлялись ростки размером около 0,5 мм, что являлось критерием для окончания проращивания. Далее пророщенное зерно просушивали, обжаривали при температуре 180–200 °С в течение 10–15 минут, а затем измельчали и просеивали через сита с d ≈ 0,9 мм. В результате описанного технологического процесса был получен продукт талган и отходы в виде отрубей.

В данной работе проводили сравнительное изучение уровня ССА у образцов талгана, изготовленного из двух видов зернового сырья и двух вариантов его начальной подготовки (сухое или пророщенное зерно). Отбор проб для анализа величины ССА производили после прохождения основных технологических этапов изготовления талгана.

Определение величины ССА в образцах проводили при помощи прибора «Цвет Яуза-01-АА» с использованием двух элюентов: горячей бидистиллированной воды и 70% этилового спирта. Подробнее методика измерения уровня ССА описана нами ранее [2]. Статистическая обработка результатов была выполнена с помощью стандартного пакета анализа данных программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Традиционная технология получения хакасского национального продукта талган включает обжаривание, измельчение и просеивание зерна. Дополнительно на самом первом этапе нами было проведено проращивание зерна. Данные по органолептической оценке талгана на основе пророщенного зерна представлены в таблице 1. Можно видеть, что изготовленный продукт характеризовался схожими показателями с талганом, полученным из зерна без его проращивания. Иначе говоря, дополнительный этап проращивания зерна на вкусовых качествах конечного продукта практически не отразился.

Результаты выполненных измерений величины ССА целого и пророщенного зерна пшеницы и ячменя приведены в таблице 2. Можно видеть, что процесс проращивания зерна сопровождался повышением уровня ССА вне зависимости от исследуемой культуры. При этом большее увеличение зарегистрировано у ячменя, что численно соответствует двукратному росту данного показателя в сравнении с не пророщенным зерном.

Таблица 1.

Органолептические характеристики зернового продукта, изготовленного из цельного ипроросшего зерна ячменя

Table 1.

Organoleptic characteristics of a grain product made from whole and sprouted barley grain

Параметр Parameter	Продукт из пророщенного зерна Sprouted grain product	Продукт из цельного зерна Whole grain product	Метод проведения Method of carrying out
Цвет Color	От светло-коричневого, кремового с вкраплением более темных частиц раздробленного зерна, до коричневого From light brown, creamy interspersed with darker particles of crushed grain, to brown	Светло-коричневый, неоднородный, с вкраплением более темных частиц раздробленного зерна | Light brown, non-uniform, interspersed with darker particles of crushed grain	Визуально visual control
Текстура Texture	Относительно однородная. Размер частиц 0,1–0,5 мм Relatively homogeneous. Particle size 0.1–0.5 mm	Относительно однородная. Крупные 0,3–0,5 мм частицы раздробленного эндосперма и алейронового слоя равномерно распределены по всей массе продукта | Relatively homogeneous. Large 0.3–0.5 mm particles of crushed endosperm and aleurone layer are evenly distributed throughout the entire mass of product	
Блеск | Shine	Отсутствует, поверхность матовая | None, matt surface		
Запах | Smell	Жареного зерна Roasted grain	Жареного зерна с ореховыми нотками Roasted grain with nutty notes	Дегустация Tasting
Вкус | Taste	Сладковатый, без горечи | Sweetish, without bitterness		

Таблица 2.

Суммарное содержание антиоксидантов (ССА) в зерне пшеницы и ячменя, используемого в технологическом цикле производства талгана

Table 2.

The total content of antioxidants (TCA) in wheat and barley grain used in the technological cycle of talgan production

Образец Sample	ССА, мг/г сухого вещества | TCA, mg / g dry matter	
	Бидистилированная вода | Bidistilled water	70% этанол | 70% ethanol
Зерно цельное без модификации | Whole grain no modification		
Пшеница | Wheat	0,54±0,01a	0,51±0,01a
Ячмень | Barley	0,56±0,02a	0,54±0,01a
Зерно пророщенное | Sprouted grain		
Пшеница | Wheat	0,86±0,02b*+	0,73±0,01b*+
Ячмень | Barley	1,18±0,02b*+	1,03±0,03b*+
Продукт обжаренный и измельченный из пророщенного зерна талган Fried and chopped product from sprouted grain talgan		
Пшеница | Wheat	1,14±0,01c*+	0,95±0,02c*+
Ячмень | Barley	1,52±0,03c*+	1,29±0,02c*+
Отруби из пророщенного зерна | Sprouted grain bran		
Пшеница | Wheat	0,72±0,01b*+	0,71±0,01b*+
Ячмень | Barley	0,92±0,02d*	0,90±0,02d*

Примечание: в таблице представлена средняя арифметическая величина и ошибка средней; в пределах каждой колонки значения в строках для каждого вида с разными буквами различаются существенно между собой по t-критерию при $p \leq 0,05$; в пределах каждого варианта значения в строках со знаком * различаются существенно между собой по t-критерию при $p \leq 0,05$; в пределах каждой строки значения в колонках со знаком + различаются существенно между собой по t-критерию при $p \leq 0,05$

Динамика изменения величины ССА в зерне исследуемых культур в зависимости от этапа изготовления талгана при использовании в качестве элюента горячей бидистилированной воды представлена на рисунке 1. Из него следует, что при проращивании зерна у всех образцов отмечается увеличение уровня ССА.

Полученные в настоящей работе данные подтверждают описанный в литературе эффект увеличения содержания антиоксидантов в зерне пшеницы [3] и ячменя [9] при его проращивании.

Термическая обработка (обжаривание) зерна также способствовала повышению уровня ССА в продукте. Из данных таблицы 2 можно видеть результат увеличения этого показателя в зерне обеих культур после этапа его обжаривания и измельчения в сравнении с исходным зерном, как сухим, так и пророщенным.

Наибольшее увеличение уровня ССА отмечалось у пророщенного ячменя, где рост составил 2,5 раза в сравнении с цельным зерном. В литературе показано, что процесс обжаривания зерна сопровождается, во-первых, некоторым снижением содержания термочувствительных и свободных фенольных соединений [8], во-вторых, существенным накоплением продуктов реакции Л.К. Мэйлэрда (Maillard), проявляющих сильные антиоксидантные свойства [4, 11]. Суммарный эффект при этом положительный [8].

Аналогичные результаты по уровню ССА в зерновых продуктах были получены при использовании в качестве растворителя 70%

этилового спирта. У ячменя рост этого биохимического показателя в процессе проращивания зерна и изготовления на его основе конечного продукта проявлялся в большей степени, чем у пшеницы (рисунок 2).

Подчеркнем, что в работе было зарегистрировано различие в величинах ССА образцов в зависимости от используемого элюента. Более высокие значения ССА получены, когда в качестве такового применялась бидистилированная вода (таблица 2). Важно отметить, что отруби, полученные при изготовлении талгана, также характеризовались повышенным значением ССА по сравнению с исходным сырьем. Так, для зерна пшеницы значение данного показателя в среднем возросло на 44%, а для ячменя на 65% (таблица 2).

Хакасский национальный продукт талган традиционно изготавливают из не пророщенного зерна ячменя и пшеницы. Поэтому был проведен сравнительный анализ изменения величины ССА при изготовлении талгана из пророщенного и сухого зерна (рисунок 3). Можно видеть, что прохождение технологических этапов производства данного зернового продукта сопровождается повышением его функциональной ценности в плане величины ССА на 99 и 154% (из пророщенного зерна пшеницы и ячменя соответственно) и 12% (из цельного зерна обеих культур). При этом в случае использования этапа проращивания зерна отмечается заметное увеличение уровня ССА в отрубях по сравнению с исходным зерном.

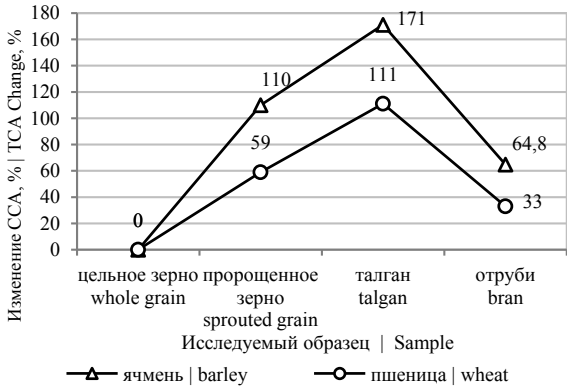


Рисунок 1. Изменение суммарного содержания антиоксидантов в зерне ячменя и пшеницы на различных технологических этапах производства талгана из пророщенного сырья (элюент горячая бидистилированная вода)

Figure 1. Change in the total content of antioxidants in the grain of barley and wheat at various technological stages of the production of talgan from germinated raw materials (eluent is hot bidistilled water)

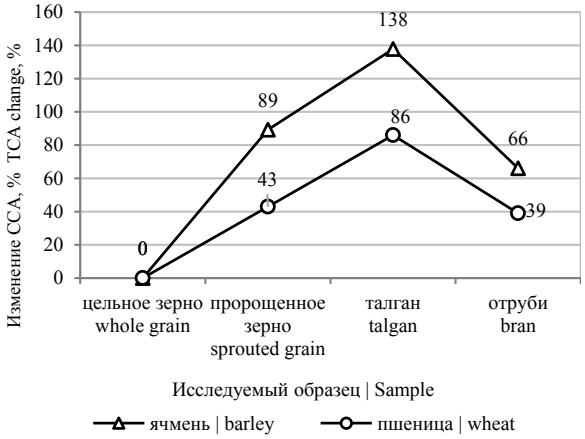


Рисунок 2. Изменение суммарного содержания антиоксидантов в зерне ячменя и пшеницы на различных технологических этапах производства талгана из пророщенного сырья (элюент этиловый спирт)

Figure 2. Change in the total content of antioxidants in the grain of barley and wheat at various technological stages of the production of talgan from germinated raw materials (eluent is ethyl alcohol)

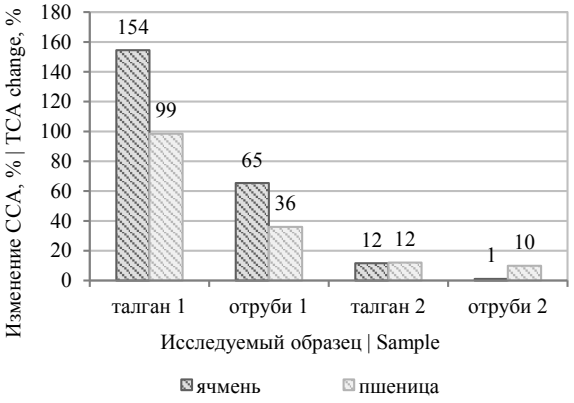


Рисунок 3. Изменение (в сравнении с цельным зерном) суммарного содержания антиоксидантов в продукте талган, изготовленном по традиционной технологии из пророщенного зерна (1) и цельного зерна (2) пшеницы и ячменя и в отходах (отрубях), образующихся при его производстве (средние значения по двум элюентам)

Figure 3. Changes (in comparison with whole grains) in the total content of antioxidants in the talgan product made according to the traditional technology from sprouted grain (1) and whole grain (2) wheat and barley and in waste (bran) formed during its production (average values for two eluents)

Заключение

Независимо от исследуемой культуры (пшеница или ячмень) введение в технологию изготовления талгана дополнительного этапа, заключающегося в проращивании зерна, является одним из эффективных способов повышения величины ССА в конечном продукте.

Литература

1 Пат. № 2463809, RU, A23L 1/172. Пищевой функциональный продукт «талкан» из пророщенного зерна и способ его производства. Буракаева Г.Д., Буракаев И.Д. № 2009135940/12; Заявл. 28.09.2009; Опубл. 20.10.2012.

2 Полонский В.И., Сумина А.В., Шалдаева Т.М. Зависимость суммарного содержания антиоксидантов в талгане от этапов его изготовления и вида исходного сырья // Вестник КрасГАУ. 2020. № 12. С. 209–214. doi: 10.36718/1819-4036-2020-12-209-214

3 Alvarez-Jubete L. et al. Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking // Food chemistry. 2010. V. 119. № 2. P. 770–778. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.07.032

4 Zannou O., Koca I. Optimization and stabilization of the antioxidant properties from Alkanet (Alkanna tinctoria) with natural deep eutectic solvents // Arabian Journal of Chemistry. 2020. V. 13. № 8. P. 6437-6450. doi: 10.1016/j.arabjc.2020.06.002

5 Ge X. et al. Germination and drying induced changes in the composition and content of phenolic compounds in naked barley // Journal of Food Composition and Analysis. 2021. V. 95. P. 103594. doi: 10.1016/j.jfca.2020.103594

6 Kruma Z., Kince T., Galoburda R., Tomsone L. et al. Influence of germination temperature and time on phenolic content and antioxidant properties of cereals // Baltic Conference on Food Science and Technology: conference proceedings. 2019. doi:10.22616/FOODBALT.2019.044

7 Lemmens E. et al. Impact of cereal seed sprouting on its nutritional and technological properties: a critical review // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2019. V. 18. № 1. P. 305–328. doi: 10.1111/1541-4337.12414

8 Yepes A. et al. Purple passion fruit seeds (Passiflora edulis f. edulis Sims) as a promising source of skin anti-aging agents: Enzymatic, antioxidant and multi-level computational studies // Arabian Journal of Chemistry. 2021. V. 14. № 1. P. 102905. doi: 10.1016/j.arabjc.2020.11.011

9 Sharma P., Gujral H.S. Antioxidant and polyphenol oxidase activity of germinated barley and its milling fractions // Food Chemistry. 2010. V. 120. № 3. P. 673–678. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.10.059

10 Świeca M., Dziki D. Improvement in sprouted wheat flour functionality: Effect of time, temperature and elicitation // International Journal of Food Science & Technology. 2015. V. 50. № 9. P. 2135–2142. doi: 10.1111/ijfs.12881

11 Verma V., Singh Z., Yadav N. Maillard Reaction and Effect of Various Factor on the Formation of Maillard Products: and Its Impact on Processed Food Products // In: Research Trends in Food Technology and Nutrition. 2019. V. 7. № 5. P. 63–90.

12 Zilic S., Basic Z., Sukalovic V.H., Maksimovic V. et al. Can the sprouting process applied to wheat improve the contents of vitamins and phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour? // International Journal of Food Science and Technology. 2014. V. 49. P. 1040–1047. doi: 10.1111/ijfs.12397

13 Diniyah N., Alam M. B., Lee S. H. Antioxidant potential of non-oil seed legumes of Indonesian's ethnobotanical extracts // Arabian Journal of Chemistry. 2020. V. 13. № 5. P. 5208-5217. doi: 10.1016/j.arabjc.2020.02.019

14 Shah M.D., Seelan J.S.S., Iqbal M. Phytochemical investigation and antioxidant activities of methanol extract, methanol fractions and essential oil of Dillenia suffruticosa leaves // Arabian Journal of Chemistry. 2020. V. 13. № 9. P. 7170-7182. doi: 10.1016/j.arabjc.2020.07.022

15 Martini L., Pecoraro L., Salvottini C., Piacentini G. et al. Appropriate and inappropriate vitamin supplementation in children // Journal of Nutritional Science. 2020. V. 9. doi:10.1017/jns.2020.12

16 Shibata K., Sugita C., Sano M., Fukuwatari T. Urinary excretion of B-group vitamins reflects the nutritional status of B-group vitamins in rats // Journal of nutritional science. 2013. V. 2. doi:10.1017/jns.2013.3

17 Beelman R.B., Kalaras M.D., Phillips A.T., Richie J.P. Is ergothioneine a 'longevity vitamin'limited in the American diet? // Journal of Nutritional Science. 2020. V. 9. doi:10.1017/jns.2020.44

18 Zhang F., Zhang J., Di H., Xia P. et al. Effect of long-term frozen storage on health-promoting compounds and antioxidant capacity in baby mustard // Frontiers in Nutrition. 2021. V. 8. P. 133. doi: 10.3389/fnut.2021.665482

19 Derbyshire E. Micronutrient intakes of British Adults Across Mid-Life: A secondary analysis of the UK national diet and nutrition survey // Frontiers in nutrition. 2018. V. 5. P. 55. doi: 10.3389/fnut.2018.00055

20 Melse-Boonstra A. Bioavailability of Micronutrients From Nutrient-Dense Whole Foods: Zooming in on Dairy, Vegetables, and Fruits // Frontiers in Nutrition. 2020. V. 7. doi: 10.3389/fnut.2020.00101

References

1 Burakaev G. D., Burakaev I. D. Functional food product "talkan" from sprouted grain and method of its production. Patent RF, no. 2463809, 2012.

2 Polonsky V.I., Sumina A.V., Shaldaeva T.M. Dependence of the total content of antioxidants in talgan on the stages of its manufacture and the type of raw material. Bulletin of KrasGAU. 2020. no. 12. pp. 209–214. doi: 10.36718 / 1819-4036-2020-12-209-214 (in Russian).

3 Alvarez-Jubete L. et al. Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. Food chemistry. 2010. vol. 119. no. 2. pp. 770–778. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.07.032

4 Zannou O., Koca I. Optimization and stabilization of the antioxidant properties from Alkanet (Alkanna tinctoria) with natural deep eutectic solvents. Arabian Journal of Chemistry. 2020. vol. 13. no. 8. pp. 6437-6450. doi: 10.1016/j.arabjc.2020.06.002

5 Ge X. et al. Germination and drying induced changes in the composition and content of phenolic compounds in naked barley. Journal of Food Composition and Analysis. 2021. vol. 95. pp. 103594. doi: 10.1016/j.jfca.2020.103594

6 Kruma Z., Kince T., Galoburda R., Tomsone L. et al. Influence of germination temperature and time on phenolic content and antioxidant properties of cereals. Baltic Conference on Food Science and Technology: conference proceedings. 2019. doi:10.22616/FOODBALT.2019.044

7 Lemmens E. et al. Impact of cereal seed sprouting on its nutritional and technological properties: a critical review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2019. vol. 18. no. 1. pp. 305–328. doi: 10.1111/1541-4337.12414

8 Yepes A. et al. Purple passion fruit seeds (Passiflora edulis f. edulis Sims) as a promising source of skin anti-aging agents: Enzymatic, antioxidant and multi-level computational studies. Arabian Journal of Chemistry. 2021. vol. 14. no. 1. pp. 102905. doi: 10.1016/j.arabjc.2020.11.011

9 Sharma P., Gujral H.S. Antioxidant and polyphenol oxidase activity of germinated barley and its milling fractions. Food Chemistry. 2010. vol. 120. no. 3. pp. 673–678. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.10.059

10 Świeca M., Dziki D. Improvement in sprouted wheat flour functionality: Effect of time, temperature and elicitation. International Journal of Food Science & Technology. 2015. vol. 50. no. 9. pp. 2135–2142. doi: 10.1111/ijfs.12881

11 Verma V., Singh Z., Yadav N. Maillard Reaction and Effect of Various Factor on the Formation of Maillard Products: and Its Impact on Processed Food Products. In: Research Trends in Food Technology and Nutrition. 2019. vol. 7. no. 5. pp. 63–90.

12 Zilic S., Basic Z., Sukalovic V.H., Maksimovic V. et al. Can the sprouting process applied to wheat improve the contents of vitamins and phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour? International Journal of Food Science and Technology. 2014. vol. 49. pp. 1040–1047. doi: 10.1111/ijfs.12397

13 Diniyah N., Alam M. B., Lee S. H. Antioxidant potential of non-oil seed legumes of Indonesian's ethnobotanical extracts. Arabian Journal of Chemistry. 2020. vol. 13. no. 5. pp. 5208-5217. doi: 10.1016/j.arabjc.2020.02.019

14 Shah M.D., Seelan J.S.S., Iqbal M. Phytochemical investigation and antioxidant activities of methanol extract, methanol fractions and essential oil of Dillenia suffruticosa leaves. Arabian Journal of Chemistry. 2020. vol. 13. no. 9. pp. 7170-7182. doi: 10.1016/j.arabjc.2020.07.022

15 Martini L., Pecoraro L., Salvottini C., Piacentini G. et al. Appropriate and inappropriate vitamin supplementation in children. Journal of Nutritional Science. 2020. vol. 9. doi:10.1017/jns.2020.12

16 Shibata K., Sugita C., Sano M., Fukuwatari T. Urinary excretion of B-group vitamins reflects the nutritional status of B-group vitamins in rats. Journal of nutritional science. 2013. vol. 2. doi:10.1017/jns.2013.3

17 Beelman R.B., Kalaras M.D., Phillips A.T., Richie J.P. Is ergothioneine a 'longevity vitamin'limited in the American diet? Journal of Nutritional Science. 2020. vol. 9. doi:10.1017/jns.2020.44

18 Zhang F., Zhang J., Di H., Xia P. et al. Effect of long-term frozen storage on health-promoting compounds and antioxidant capacity in baby mustard. Frontiers in Nutrition. 2021. vol. 8. pp. 133. doi: 10.3389/fnut.2021.665482

19 Derbyshire E. Micronutrient intakes of British Adults Across Mid-Life: A secondary analysis of the UK national diet and nutrition survey. Frontiers in nutrition. 2018. vol. 5. pp. 55. doi: 10.3389/fnut.2018.00055

20 Melse-Boonstra A. Bioavailability of Micronutrients From Nutrient-Dense Whole Foods: Zooming in on Dairy, Vegetables, and Fruits. Frontiers in Nutrition. 2020. vol. 7. doi: 10.3389/fnut.2020.00101

Сведения об авторах

Алена В. Сумина к.с-х.н., доцент, кафедра химии и геоэкологии, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова , ул. Ленина, 90, г. Абакан, 655017, Россия, alenasumina@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-0466-6833

Вадим И. Полонский д.б.н., профессор, кафедра ландшафтной архитектуры и ботаники, Красноярский государственный аграрный университет, пр.-т Мира, 90, г. Красноярск 660049, Россия), vadim.polonskiy@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7183-0912

Татьяна М. Шалдаева к.б.н., научный сотрудник, лаборатория фитохимии, Центральный Сибирский ботанический сад СО РАН, ул. Золотодолинская, 101, г. Новосибирск, 630090, Россия), tshaldaeva@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-6049-9179

Information about authors

Alena V. Sumina Cand. Sci. (Agric.), associate professor, chemistry and geoecology department, Khakass State University, Lenina st., 90, Abakan, 655017, Russia, alenasumina@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-0466-6833

Vadim I. Polonskiy Dr. Sci. (Biol.), professor, landscape architecture and botany department, Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira ave., 90, Krasnoyarsk, 660049, Russia, vadim.polonskiy@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7183-0912

Tatyana M. Shaldaeva Dr. Sci. (Biol.), researcher, phytochemistry laboratory, Central Siberian Botanical Garden, SB RAS, Zolotodolinskaya st., 101, Novosibirsk, 630090, Russia, tshaldaeva@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-6049-9179

Вклад авторов

Алена В. Сумина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела пробоподготовку и эксперимент, выполнила расчеты, написала рукопись, корректировала ее до подачи в редакцию, несет ответственность за плагиат

Вадим И. Полонский консультация в ходе исследования

Татьяна М. Шалдаева провела экспериментальную часть

Contribution

Alena V. Sumina review of the literature on the problem under study, carried out sample preparation and experiment, performed calculations, wrote a manuscript, corrected it before submitting it to the editor, is responsible for plagiarism

Vadim I. Polonskiy consultation during the study

Tatyana M. Shaldaeva conduction the experimental part

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/01/2021	**После редакции** 15/02/2021	**Принята в печать** 01/03/2021

Received 18/01/2021	**Accepted in revised** 15/02/2021	**Accepted** 01/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-169-178 Оригинальная статья/Research article
УДК 636.085.5 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Использование жома топинамбура и пробиотического препарата в составе полнорационных гранулированных комбикормов для кроликов

Анна А. Дерканосова [1] aa-derk@yandex.ru 0000-0002-9726-9262
Елена Е. Курчаева [2] alena.kurchaeva@ya.ru 0000-0001-5958-0909
Александр В. Востроилов [2] alexandervostroilov@ya.ru 0000-0003-1626-5735
Руслан Н. Звягин [3] lipetsk.krolik@mail.ru
Андрей Н. Звягин [3] lipetsk.krolik@mail.ru
Игорь В. Максимов [2] maximus880@mail.ru 0000-0001-9713-0159

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия
3 ООО «Липецкий кролик» ул. Ленина, д. 157, Липецкая обл., Хлевенский район, с. Конь-Колодезь, 393250

Аннотация. Целью работы является научное и практическое обоснование повышения продуктивности кроликов на фоне использования жома топинамбура и пробиотического комплекса «Субтилис-С» в составе биологически ценных комбикормов. Внедрение в отрасли кролиководства интенсивных технологий выращивания, а так же увеличение поголовья привело к значительному усилению техногенной и микробиологической нагрузки на организм кроликов, что в свою очередь, вызывает нарушение процессов пищеварения, обмена веществ, снижение продуктивности и возникновение кишечных инфекций. Решением данной проблемы могут стать инновационные разработки по использованию в кормовых рационах растительных добавок и пробиотических комплексов, способствующих улучшению биодоступности питательных веществ комбикормов и повышающих сохранность поголовья без применения в лечебно – профилактических целях антибиотиков. Исследовано влияние пробиотической добавки «Субтилис-С» совместно жомом топинамбура на сохранность, продуктивность, физиологический статус и химический состав мяса кроликов. Для изучения влияния комплексов пробиотик - жом топинамбура было подобрано 30 кроликов в возрасте 45 дней. Контрольная группа кроликов получала основной рацион, состоящий из комбикорма ПК-90, кролики опытных групп получали комбикорм ПЗК-90, в состав которого был введен комплекс пробиотик «Субтилис-С» (0,6г/кг и 1,0 г/кг)- жом топинамбура 10% к массе комбикорма. Анализ химического состава мышечной ткани показал, что использование пробиотического препарата «Субтилис-С» в дозировке 1,0 г/кг и жома топинамбура в дозировке 10% к массе комбикорма повышает среднесуточные приросты и как следствие мясную продуктивность, улучшает сбалансированность химического состава, что подтверждается апробацией полученных данных в условиях промышленного комплекса ООО «Липецкий кролик» и оценкой физико-химических, функционально-технологических и органолептических показателей получаемого мясного сырья

Ключевые слова: жом топинамбура, полнорационный комбикорм, кролики, интенсивность роста, мясная продуктивность

The use of artichoke pulp and probiotic preparation in the composition of complete granular feed for rabbits

Anna A. Derkanosova [1] aa-derk@yandex.ru 0000-0002-9726-9262
Elena E. Kurchaeva [2] alena.kurchaeva@ya.ru 0000-0001-5958-0909
Alexander V. Vostroilov [2] alexandervostroilov@ya.ru 0000-0003-1626-5735
Ruslan N. Zvyagin [3] lipetsk.krolik@mail.ru
Andrey N. Zvyagin [3] lipetsk.krolik@mail.ru
Igor V. Maksimov [2] maximus880@mail.ru 0000-0001-9713-0159

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
2 Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, st. Michurina, 1, Voronezh, 394087, Russia
3 LLC "Lipetsk rabbit" st. Lenin, 157, Lipetsk region., Khlevensky district, with. Horse-Well, 393250

Abstract. The aim of the work is the scientific and practical substantiation rabbits productivity increasing while using Jerusalem artichoke pulp and the probiotic complex "Sporothermin" in the composition of biologically valuable compound feed. The introduction of intensive breeding technologies in the rabbit breeding industry, as well as an increase in the number of livestock, led to a significant increase in the technogenic and microbiological load on the rabbits' body, which in turn causes disruption of digestion, metabolism, a decrease in productivity and the occurrence of intestinal infections. The solution to this problem can be innovative developments on the application of herbal supplements and probiotic complexes in feed rations. They help to improve the bioavailability of nutrients in compound feed and increase the safety of livestock without the use of antibiotics for therapeutic and prophylactic purposes. The influence of the probiotic additive "Sporothermin" together with Jerusalem artichoke pulp on the safety, productivity, physiological status and chemical composition of rabbit meat was studied in the work. 30 rabbits aged 45 days were selected to study the effect of probiotic complexes - Jerusalem artichoke pulp. The control group of rabbits received the main diet, consisting of compound feed PK-90, the rabbits of the experimental groups received compound feed PK-90, which included the probiotic complex "Sporothermin" (0.6 g / kg and 1.0 g / kg) - Jerusalem artichoke pulp 10% by weight of compound feed. The analysis of the chemical composition of muscle tissue showed that the application of the probiotic preparation "Sporothermin" at a dosage of 1.0 g / kg and Jerusalem artichoke pulp at a dosage of 10% to the mass of compound feed increases the average daily gains and, as a result, meat productivity, improves the balance of the chemical composition. This is confirmed by the approbation of the data obtained in the industrial complex of Lipetsk Rabbit LLC and the assessment of the physicochemical, functional, technological and organoleptic characteristics of the raw meat obtained.

Keywords: Jerusalem artichoke pulp, complete feed, rabbits, growth intensity, meat productivity

Для цитирования
Дерканосова А.А., Курчаева Е.Е., Востроилов А.В., Звягин Р.Н., Звягин А.Н., Максимов И.В. Использование жома топинамбура и пробиотического препарата в составе полнорационных гранулированных комбикормов для кроликов // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 169–178. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-169-178

For citation
Derkanosova A.A., Kurcheva. E.E., Vostroilov A.V., Zvyagin, R.N., Zvyagin A.N., Maksimov I.V. The use of artichoke pulp and probiotic preparation in the composition of complete granular feed for rabbits. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 169–178. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-169-178

© 2021, Дерканосова А.А. и др. / Derkanosova A.A et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

На современном этапе в России наиболее актуален вопрос обеспечения населения качественной продукцией животноводства, которую можно получить только при полноценном кормлении, способствующем интенсивности роста животных, продуктивности и снижению затрат кормов на единицу продукции [11, 12]. Но, требует от производителей отказа от применения кормовых антибиотиков, которые способны аккумулироваться в организме животных. Но в условиях промышленного получения сельскохозяйственной продукции, исключение антибиотиков может привести к массовым заболеваниям животных. В связи с чем, возникает необходимость поиска препаратов альтернативных кормовым антибиотикам, которые способны поддерживать устойчивость к заболеваниям объектов разведения [1, 4, 6].

Внедрение в отрасли кролиководства интенсивных технологий выращивания, а также увеличение поголовья привело к значительному усилению техногенной и микробиологической нагрузки на организм кроликов, что в свою очередь, вызывает нарушение процессов пищеварения, обмена веществ, снижение продуктивности и возникновение кишечных инфекций [8–10, 13].

Решением данной проблемы могут стать инновационные разработки по использованию в кормовых рационах растительных добавок и пробиотических комплексов, способствующих улучшению биодоступности питательных веществ комбикормов и повышающих сохранность поголовья без применения в лечебно – профилактических целях антибиотиков.

В современных условиях уменьшения объемов сельскохозяйственного производства, недостатка кормов, их дороговизны, неудовлетворительного ветеринарно-санитарного состояния животноводческих помещений снижается сопротивляемость животных к различным заболеваниям. В результате развиваются дисбактериозы и иммунодефицитные состояния, растет процент заболеваемости, снижается продуктивность, повышается падеж [2, 3, 5]. Все это можно устранить при помощи пробиотиков

Цель работы – обоснование эффективности использования жома топинамбура в сочетании с пробиотическим препаратом и гидролизатом овса в составе полнорационного гранулированного комбикорма для молодняка кроликов с целью повышения их мясной продуктивности.

Материалы и методы

Основная часть экспериментальных исследований состояла из научно-хозяйственных опытов, проведенных в период с 2018 по 2020 годы в ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ на базе факультета ветеринарной медицины и технологии животноводства, а также научно-исследовательской базы ГНУ ВНИВИПФИТ Россельхозакадемии и центра коллективного пользования ВГУИТ (г. Воронеж).

Объектами исследований являлись кролики гибридной породы HYCOLE (ООО «Липецкий кролик») в возрасте 45 суток, разделенные на контрольную и опытные группы по 15 голов. Научно-хозяйственные опыты были проведены по общепринятым методикам (А.И. Овсянников, 1976) методом сбалансированных групп-аналогов в два периода (подготовительный и учетный). Опытные группы формировали из клинически здоровых животных. Содержание и кормление кроликов соответствовали зоогигиеническим и зоотехническим нормам.

Кроликов контрольной группы кормили по схеме, принятой в хозяйстве полнорационным гранулированным комбикормом ПЗК-92, опытные группы кроликов получали кормовые рационы на основе комбикорма ПЗК-92 (полученный на основе зерновых культур, жмыха подсолнечника, пшеничных отрубей, травяной муки из люцерны и премикса КВП П90–1К), в состав которого вводили пробиотическую добавку «Субтилис-С» ($5 \cdot 10^9$) в дозировке 0,6 и 1,0 г/ кг комбикорма, а также жом топинамбура в количестве 10% к массе комбикорма и гидролизат овса в дозировке 2%. Оптимизацию рационов проводили с помощью программы «КормОптима» (ООО «КормоРесурс», Воронеж). Химический анализ кормов и продуктов выделения, гематологические показатели крови проводили стандартными методиками в условиях лаборатории.

Динамику живой массы учитывали индивидуальным взвешиванием. Для определения мясной продуктивности провели убой по 3 головы кроликов из каждой группы по методике ВИЖ. Мясную продуктивность кроликов определяли путем взвешивания тушек на весах после проведения контрольного убоя в возрасте 105 сут и разделке тушек. Оценку химического состава и биологической ценности мяса кроликов проводили в соответствии с рекомендациями (Антипова Л.В., 2004).

Результаты

Пробиотические препараты находят широкое применение в животноводстве, в том числе и как компоненты полнорационных гранулированных комбикормов, что позволяет более точно прогнозировать эффект от использования в кормовых рационах кроликов. В работе был использован пробиотический препарат «Субтилис-С», который представляет собой

комплекс лиофилизированных микроорганизмов рода Bacillus subtilis и Bacillus licheniformis (не менее $5 \cdot 10^9$ КОЕ/г, в качестве наполнителя лактоза) [15–20].

С целью повышения питательной ценности комбикормов и использования ресурсов традиционно не востребованных при получении данного вида продукции перспективной с точки зрения кормовых достоинств является такая неприхотливая к природно – климатическим условиям Воронежской области культура, как топинамбур. Кормовой эквивалент топинамбура равен 13,3, что соответствует 22,2 корм. ед. в 100 кг зеленой массы.

Жом топинамбура является ценным кормовым компонентом. Жом топинамбура это вторичное сырья, которое остается при производстве инулина водной экстракцией. В таблице 1 представлен химический состав жома топинамбура сорта Новость ВИРа, выращенного в Воронежской области.

В последнее время особый интерес вызывает использование в качестве веществ сорбционной природы растительных добавок с высоким содержанием пищевых волокон [14]. К которым относится и жом топинамбура, содержащий в своем составе значительное количество инулина (6,3%) и пищевых волокон (22%). Выработку полнорационных гранулированных комбикормов (таблица 2) с вводом пробиотического препарата «Субтилис-С», жома топинамбура и зерновой патоки из овса проводили в условиях АО «ВЭКЗ» (г. Воронеж) на основе разработанных рецептов комбикормов и рекомендаций, позволяющих повысить качество конечной продукции.

Таблица 1.

Химический состав жома топинамбура сорта Новость ВИРа, %

Table 1.

The chemical composition of the Artichoke pulp variety of News Vire, %

Показатель Indicator	Жом топинамбура (сухой) Artichoke pulp (dry)
Сухое вещество | Dry matter	84,5±0,07
Сырой протеин | Raw Protein	15,3±0,12
Сырой жир | Raw fat	0,48±0,04
Углеводы | Carbohydrates	22,8±0,02
Зола | Ash	2,8 ±0,19
Ca, g/kg	5,1±0,11
P, g/kg	2,6±0,34

Таблица 2.

Рецепты и питательная ценность разработанных комбикормов

Table 2.

Recipes and nutritional value of the developed compound feeds

Состав компонентов Content	Содержание в рецепте, % | Content in the recipe, %					
	ПЗК-92–60 (контроль) PZK-92–60 (control)		ПЗК-92–63 PZK-92–63		ПЗК-92–64 PZK-92–64	
1	2		3		4	
Пшеница | Wheat	6,00	60,0	6,00	60,0	6,00	60,0
Ячмень | Barley	7,80	78,0	14,20	142,00	14,20	142,00
Овес | Oats	8,00	80,00	11,10	111,00	11,10	111,00
Кукуруза | Corn	10,00	100,00	–	-	-	-
Отруби пшеничные | Wheat bran	15,00	150,00	5,00	50,00	5,00	50,00
Жмых подсолнечный | Sunflower cake	16,50	165,00	16,50	165,00	16,50	165,00
Шрот подсолнечный | Sunflower meal	8,00	80,00	8,00	80,00	8,00	80,00
Мука травяная люцерны | Alfalfa grass flour	20,00	200,00	20,00	200,00	20,00	200,00
Жом топинамбура | The pulp of artichoke	–	–	10,00	100,00	10,00	100,00
Меласса | Molasses	2,00	20,00	–	-	-	-
Мука мясная | Meat flour	3,00	30,00	3,00	30,00	3,00	30,00
Соль поваренная | Table salt	0,20	2,00	0,10	1,00	0,10	1,00
Монокальцийфосфат | Monocalcium Phosphate	1,40	14,00	1,40	14,00	1,40	14,00
Мел кормовой | Stern chalk	1,00	10,00	1,40	14,00	1,40	14,00
Субтилис-С | Subtilis-S	–		0,06	0,6	0,1	1,00
Карбитокс | Carbitox	0,10	1,00	–	-	-	-
Фунгистат ГПК | Fungistat GPK	–	–	0,20	2,00	0,20	2,00
Гидролизат овса | Oat Hydrolysate	–	–	2,00	20,00	2,00	20,00
П90–1 К (премикс) | P90–1 K (premix)	1,00	10,00	1,00	10,00	1,00	10,00
Цена корма с НДС, руб./тонну The price of feed with the VAT, RUB/ton	14900,00		16399,00		17550,00	

Продолжение таблицы 2 | Continuation of table 2

1	2	3	4
Показатели качества и питательная ценность | Quality indicators and nutritional value			
ОЭ пушных зверей, ккал/100г | OE of fur-bearing animals, kcal/100g	235	233	239
ОЭ пушных зверей, ЭКЕ | OE of fur-bearing animals, EKE	1,09	1,09	1,10
Сырой протеин, % | Raw Protein, %	18,40	18,79	18,94
Сырой жир, % | Raw fat, %	4,91	4,89	4,43
Сырая клетчатка, % | Raw fiber, %	12,50	12,83	13,60
Сырая зола, % | Raw ash, %	6,22	6,54	6,44
Крахмал, % | Starch, %	20,56	20,49	17,10
Лизин, % | Lysine, %	0,59	0,73	0,73
Метионин+цистин, % | Methionine+cystine, %	0,65	0,65	0,63
Триптофан, % | Tryptophan, %	0,24	0,25	0,23
Кальций | Calcium	1,05	1,19	1,24
Фосфор | Phosphorus	0,78	0,76	0,74
Витаминный и минеральный состав комбикормов | Vitamin and mineral composition of compound feeds			
А, тыс. МЕ/кг	6,00	6,00	6,00
B_1, мг/кг	2,00	2,00	2,00
B_2, мг/кг	3,00	3,00	3,00
B_{12}, мг/кг	0,030	0,030	0,030
Cu, мг/кг	20,00	20,00	20,00
Zn, мг/кг	50,00	50,00	50,00
Mn, мг/кг	30,00	30,00	30,00



(a) (b)

Рисунок 1. Выработанные образцы комбикормов: (a) – контрольный образец, (b) – опытных образец с вводом пробиотического комплекса Субтилис-С (1,0 г/кг комбикорма), жома топинамбура и гидролизата овса

Figure 1. Developed feed samples: a-control sample, (b) – experimental sample with the introduction of the probiotic complex Subtilis-S (1.0 g/kg of feed), artichoke pulp and oat hydrolysate

Таблица 3.

Интенсивность роста молодняка кроликов

Table 3.

Growth rate of young rabbits

Возраст, суток Age, days	Группа | Group		
	1-я группа (контрольная) Group 1 (control group)	2-я группа (опытная 1) 2nd group (experimental 1)	3-я группа (опытная 2) 3rd group (experimental 2)
		Пробиотический препарат « Субтилис-С » + жом топинамбура 10% к массе комбикорма и 2% гидролизата овса | Probiotic preparation " Subtilis-S " + topi-nambura pulp 10% by weight of mixed feed and 2% of oat hydrolysate	
		0,6 г/кг комбикорма 0.6 g | kg of mixed feed	1,0 г/кг комбикорма 1.0 g | kg of mixed feed
1	40,20 ±0,11	40,30 ±0,12	40,50 ±0,13
45	970, 0±0,16	991,0±0,19	980,0±0,21
60	1557,0 ±21,47	1597,0± 16,54	1641 ±19,20
90	2304,0±17,04	2366,0±20,12	2674±17,38
105	3250,0±20,17	3398,0±20,14	3576±26,00
Среднесуточный прирост, г Average daily growth, g	30,40±0,79	32,09±0,60	34,61±0,37
Сохранность, % | Safety, %	80,00	86,67	100,00

Таблица 4.

Биохимические показатели крови кроликов

Table 4.

Biochemical parameters of rabbit blood

Показатель | Indicator	Группа | Group		
	1-я группа (контрольная) Group 1 (control group)	2-я группа (опытная 1) 2nd group (experimental 1)	3-я группа (опытная 2) 3rd group (experimental 2)
В начале опыта (45 суток) | At the beginning of the experiment (45 days)			
Общий белок, г/л Total protein, g/l	69,71±0,17	69,74±0,22	70,36±0,28
Глобулины, г/л | Globulins, g/l	34,58±0,19	34,50±0,14	34,60±0,21
Альбумины, г/л/Albumins, g/l	35,13±1,05	35,24±1,14	35,76±1,20
В конце опыта (105 суток) | At the end of the experience (105 days)			
Общий белок, г/л/ Total protein, g/l	70,29±0,33	74,89±0,51	76,28±0,44
Глобулины, г/л | Globulins, g/l	34,08±0,49	34,75±0,38	34,80±0,65
Альбумины, г/л/Albumins, g/l	36,21±0,64	40,14±1,12	41,48±1,11

Таблица 5.

Морфологические показатели крови

Table 5.

Morphological parameters of blood

Показатель | Indicator	Группа | Group		
	1-я группа (контрольная) Group 1 (control group)	2-я группа (опытная 1) 2nd group (experimental 1)	3-я группа (опытная 2) 3rd group (experimental 2)
В начале опыта (45 суток) | At the beginning of the experiment (45 days)			
Эритроциты, 10^{12}/л Red blood cells, 10^{12}/l	4,62±0,14	4,60±0,16	4,67±0,12
Лейкоциты, 10^{9}/л White blood cells, 10^{9}/l	6,74±0,14	6,80±0,18	6,83±0,14
Гемоглобин, г/л/ Hemoglobin, g/l	110,94±1,10	111,12±1,20	112,28±1,21
В конце опыта (105 суток) | At the end of the experience (105 days)			
Эритроциты, 10^{12}/л Red blood cells, 10^{12}/l	5,26±0,18	5,74±0,16	6,32±0,09
Лейкоциты, 10^{9}/л White blood cells, 10^{9}/l	6,66±0,10	6,29±0,19	6,26±0,11
Гемоглобин, г/л Hemoglobin, g/l	110,84±0,66	116,60±1,07	117,65±1,11

Таблица 6.

Результаты контрольного убоя и морфологический состав тушек кроликов

Table 6.

The results of the control slaughter and morphological composition of carcasses of rabbits

Показатель | Indicator	Группа | Group		
	1-я группа (контрольная) Group 1 (control)	2-я группа (опытная 1) 2nd group (experimental 1)	3-я группа (опытная 2) 3rd group (experimental 2)
Предубойная живая масса, г Pre-slaughter live weight, g	3079,0±11,14	3221,0±9,30	3320,0±11,44
Масса парной тушки, г Weight of the paired carcass, g	1705,0±21,11	1810,0±22,15	1930,0±15,40
Убойный выход, % | Carcass yield, %	55,37±0,41	56,19±0,47	58,13±0,58
Масса жира – сырца, г | Weight of raw fat, g	118,0±4,51	114,0±2,66	108,0±2,31
Масса мякоти, г | The pulp weight, g	1300,0±22,11	1418,0±33,15	1562,0±32,34
Масса кости, г | Bone mass, g	287,0±3,47	278,0±3,55	260,0±4,16
Индекс мясности | Meat content Index	4,52±0,18	5,10±0,42	6,00±0,35

Таблица 7.

Химический состав мяса кроликов

Table 7.

Chemical composition of rabbit meat

Массовая доля компонета, % | Mass fraction, %	Группа | Group		
	1-я группа (контрольная) Group 1 (control)	2-я группа (опытная 1) 2nd group (experimental 1)	3-я группа (опытная 2) 3rd group (experimental 2)
Влага | Water	72,31±0,17	72,37±0,22	70,93±0,28
Сухое вещество | Dry matter	27,69±0,33	27,60±0,41	29,07±0,38
Белок | Protein	19,40±1,05	20,23±1,14	21,76±1,20
Жир | Fat	7,27±0,33	6,40±0,17	6,31±0,22
Зола | Ash	1,02±0,04	1,00±0,06	1,00±0,02

Таблица 8.

Функционально–технологические показатели мяса кроликов

Table 8.

Functional and technological indicators of rabbit meat

Показатель | Indicator	Группа | Group		
	1-я группа (контрольная) Group 1 (control group)	2-я группа (опытная 1) 2nd group (experimental 1)	3-я группа (опытная 2) 3rd group (experimental 2)
Влагосвязывающая способность, % (ВСС) | Moisture binding ability,% (MBA)	60,31±0,19	62,54±0,42	66,33±0,54
Влагоудерживающая способность, % (ВУС) | Moisture-retaining ability, % (MRA)	57,60±0,39	60,76±0,21	63,17±0,32
Жироудерживающая способность, % (ЖУС) | Fat-retaining ability, % (FRA)	62,40±1,37	63,24±1,34	67,55±1,28
Эмульгирующая способность, % (ЭС) Emulsifying ability, % (EA)	30,27±0,61	31,40±0,47	33,81±0,29
Стабильность эмульсии, % (СЭ) Emulsion stability, % (ES)	48,22±0,48	51,10±0,56	52,30±0,32

Обсуждение

В условиях промышленного комплекса ООО «Липецкий кролик» была проведена оценка эффективности полнорационных гранулированных комбикормов, обогащенных пробиотическим препаратом и жомом топинамбура в кормовых рационах молодняка кроликов.

Характер и уровень кормления поголовья молодняка кроликов отражает динамика живой массы. Исследованиями установлено, что по достижении убойного возраста (105 суток) кролики контрольной группы характеризовались более низкой живой массой, в то время как в опытных группах данный показатель имел положительное увеличение (таблица 3).

Сохранность кроликов, в опытных группах составила 100%, в контрольной – 70%, что связано с усилением общей резистентности организма, а соединения пробиотической природы, возможно, способствовали нормализации процессов пищеварения и как следствие улучшению конверсии комбикорма. Были определены клинико-физиологические показатели кроликов, получавших пробиотические препараты и отмечено незначительное повышение частоты сердечных сокращений и дыхания, что связано с максимальным поступлением биологически активных веществ в организм кроликов, но данные показатели находились в пределах физиологической нормы.

За весь период проведения опыта наибольшая живая масса отмечалась у кроликов 3 группы, получавшей в составе комбикорма пробиотический препарат «Субтилис-С» в дозировке 1,0 г/кг комбикорма совместно с жомом топинамбура в количестве 10% к массе комбикорма гидролизатом овса (2%).

В опытных группах за весь период откорма прирост живой массы кроликов достоверно превышал значение контрольной группы на 10,15% и 4,31% соответственно.

Состав крови важный показатель физиологического состояния организма, связанный с выполнением жизненно важных функций, и в том числе с продуктивными качествами животных. Нами были изучены биохимические показатели крови (таблица 4), которые подтверждают положительное влияние пробиотического препарата «Субтилис-С» в комплексе с жомом топинамбура на функционирование организма в целом.

У животных опытных групп в возрасте 105 суток отмечается достоверное повышение количества общего белка сыворотки крови на 8,52 и 6,54% соответственно по сравнению с контролем, а также положительная динамика увеличения морфологических показателей крови, в частности повышение количества гемоглобина, так у второй и третьей группы количество гемоглобина достоверно превосходило контрольные значения на 5,76 г./л или 5,19% и 6,81 г./л или 6,75% соответственно.

Аналогичная динамика прослеживается по содержанию эритроцитов, что указывает на улучшение обеспеченности организма кислородом и как следствие интенсификации обменных процессов, протекающих в организме кроликов (таблица 5).

В конце опыта был произведен контрольный убой с оценкой морфологического состава согласно общепринятой методике (таблица 6). В опытных группах убойный выход составил 56,19% и 58,13%, в то время как в контрольной группе находился на уровне 55,37% (таблица 6). Масса мышечной ткани у кроликов опытных группах на 9,07 и 20,15% соответственно больше, чем у особей контрольной группы.

Данное увеличение массы мышечной ткани по-видимому связано с увеличением трансформации питательных веществ кормового рациона на фоне применения пробиотического препарата «Субтилис-С» совместно с жомом топинамбура, а также активизации выработки ферментных систем в организме, что также способствовало более быстрому и значительному отложения питательных веществ в теле подопытных кроликов и повышению белковой составляющей мышечной ткани.

Сбалансированность рационов питания оказывает непосредственное влияние на химический состав мяса кроликов, формируя его пищевую и биологическую ценность.

Наибольшее содержание белка, отмечено в мясе кроликов 3-й опытной группы (таблица 7), что по-видимому связано с более высокой трансформацией питательных веществ комбикорма под действием пробиотического комплекса «Субтилис-С» в белковую составляющую мышечной ткани. Одновременно отмечено снижение массой доли жира, что говорит о повышении пищевой ценности мяса.

Оценка функционально – технологических свойств мяса кроликов (ВСС (влагосвязывающая способность), ВУС (влагоудерживающая способность), ЖУС (жироудердивающая способность), ЭС (эмульгирующая способность) и СЭ (стабильность эмульсии) также выявила явную положительную динамику (таблица 8).

ВСС находилась на достаточно высоком уровне и превышали показатели контрольной группы на 3,69% и 9,98% соответственно, что можно объяснить более высоким содержанием белка и меньшим содержанием жира в мясе опытной группы кроликов.

Наиболее важными показателя с точки зрения оценивания технологического потенциала мяса кролика является ВУС и ЖУС, которые характеризуют способность белков миофибрилл образовывать белково-жировую матрицу. Данные показатели являются величиной непостоянной и зависят от типа кормления и упитанности кролика. Исследованиями установлено, что ВУС (на 5,48 и 9,67%) и ЖУС (на 1,34 и 8,25%) опытных групп превосходят аналогичные показатели контрольной группы кроликов.

Проведенная органолептическая оценка мяса и бульона кроликов контрольной и опытных групп, показала положительное влияние совместного использования пробиотического комплекса «Субтилис-С» и жома топинамбура на формирование вкусо-ароматического профиля как вареного мяса, так и бульона. В результате проведенной дегустации было определено, что наибольшей бальной оценкой характеризовались образцы вареного мяса и бульона, полученного от тушек 3 группы (8,3 балла и 7,9 соответственно).

Заключение

Проведенное исследование показывает, что использование пробиотического комплекса «Субтилис-С» и жома топинамбура в составе комбикормов технологически оправдано, а также позволяет избежать целого ряда проблем, связанных со снижением сохранности и продуктивности поголовья, встающих перед производителями качественного мясного сырья.

Подобранные дозировки пробиотического комплекса «Субтилис-С», жома топинамбура и гидролизата овса в составе комбикорма при

проведении промышленной апробации в условиях ООО «Липецкий кролик» позволили снизить затраты комбикорма на 1,42 ЭКЕ (энергетическая кормовая единица) по сравнению с контролем. Было достигнуто увеличение прибыли на 3616,0 руб. и уровня рентабельности на 12% по отношению к контрольной группе (23%) при выращивании 3 групп кроликов (по 100 голов в каждой группе).

Благодарности

Авторы выражают благодарность коллективу ГНУ ВНИВИПФИТ Россельхозакадемии и АО «ВЭКЗ» за ценные замечания и проведение ряда исследований.

Литература

1 Amaravadhi S.Ch., Mallam M., Manthani Gn.Pr., Komireddy K.R. Effect of dietary supplementation of probiotics and enzymes on the haematology of rabbits reared under two housing systems // Vet. World. 2012. V. 5 (12). P. 748–753. doi:10.5455/vetworld.2012.748-753

2 Birolo M., Trocino A., Tazzoli M., Xiccato G. Effect of feed restriction and feeding plans on performance, slaughter traits and body composition of growing rabbits // World Rabbit Sci. 2017. № 25. P. 113–122.

3 Cheryomushkina I.V., Korneeva O.S. Innovative biotechnology probiotic feed additives c and immunostimulatory effects // Research Journal of Pharmacy and Technology. 2017. V. 10. № 4. P. 1165–1167. doi: 10.5958/0974-360X.2017.00210.4

4 Cunha S., Mendes A., Rego D., Meireles D. et al. Effect of competitive exclusion in rabbits using an autochthonous probiotic // World Rabbit Sci. 2017. № 25. P. 123–134.

5 Kurchaeva E.E., Vostroilov A.V., Derkanosova N.M., Kashirina N.A. et al. Meat productivity and quality of rabbit meat using probiotic additives and sorbents // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. V. 9. № 6. P. 1386–1394

6 Kurchaeva E.E., Vostroilov A.V., Artemov E.S., Maksimov I.V. Improving the productivity of rabbits through the sharing of probiotic complexes and herbal supplements // Conference on Innovations in Agricultural and Rural development. 2019. V. 341. 012051. doi:10.1088/1755–1315/341/1/012051

7 Кутин Д.Д. Влияние рациона кормления на организм кроликов // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2018. № 4. С. 181–186.

8 Миронова И.В., Черненков Е.Н. Естественная резистентность кроликов при скармливании пробиотической кормовой добавки Биогумитель // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (63). С. 115–117.

9 Миронова И.В., Черненков Е.Н., Черненкова А.А. Показатели крови кроликов при включении в рацион пробиотической кормовой добавки Биогумитель // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (63). С. 212–215.

10 Ноздрин Г.А., Иванова А.Б., Ноздрин А.Г. Пробиотики на основе Bacillus Subtilis и их роль в поддержании здоровья животных разных видов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2006. № 7. С. 64–68.

11 Черненков Е.Н., Миронова И.В., Гизатов А.Я. Влияние скармливания препарата Биогумитель на убойные качества и морфологический состав туши кроликов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 4 (48). С. 146–148.

12 Черненков Е.Н., Миронова И.В. Качество мяса кроликов при скармливании пробиотика «Биогумитель» // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 10 (132). С. 104–108.

13 Шабунин С.В., Бессонова Л.П., Паршин П.А. Ветеринарно-санитарные аспекты предупреждения рисков возникновения инфекционных заболеваний // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 1. С. 34–37. doi: 10.24411/0235–2451–2019–10108

14 Шенцова Е.С., Востроилов А.В., Лыткина Л.И., Курчаева Е.Е. Повышение физиологического статуса и качества мяса кроликов на фоне применения пробиотического комплекса «Субтилис-С» в составе комбикормов // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 3. С. 57–63. doi: 1Q.2Q914/2310-12Q2-2Q19-3-57-63

15 Юрина Н.А., Псхациева З.В., Кононенко С.И., Есауленко Н.Н. и др. Эффективность применения кормовых добавок Субтилис-С и Ковелос в комбикормах // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2014. Т. 17. № 1. С. 185–192.

16 Шевцов А.А., Дранников А.В., Дерканосова А.А., Торшина А.А., Ориничева А.А., Анохина Е.П. Исследование кормовой белковой добавки из растительного сырья со свойствами фитобиотика // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 3. С. 65–70. doi:10.20914/2310-1202-2020-3-65-70

17 Słowianek M., Mańkowska D., Leszczyńska J. Reaction of spice proteins with serum antibodies from celiac patients and rabbit antibodies raised to specific glutamine/proline-containing peptides // Food and Agricultural Immunology. 2017. V. 28. №. 1. P. 134-148. doi: 10.1080/09540105.2016.1230598

18 Taliercio E., Loveless T., Turano M.J. Identification of epitopes of the A1aBx and A5A4B3 subunits of glycinin antigenic in three animal species // Food and Agricultural Immunology. 2015. V. 26. №. 2. P. 271-281. doi:10.1080/09540105.2014.906566

19 Nalbantsoy A. Prevention and identification of Salmonella Enteritidis infection via novel diagnostic stained antigens and polyclonal antibodies // Food and agricultural immunology. 2013. V. 24. №. 2. P. 139-149. doi:10.1080/09540105.2012.662629

20 Dobreva Z.G. et al. Immunostimulatory activities of Haberlea rhodopensis leaf extract on the specific antibody response: protective effects against γ-radiation-induced immunosuppression // Food and Agricultural Immunology. 2015. V. 26. №. 3. P. 381-393. doi:10.1080/09540105.2014.922935

21 DrannikovA.V., Derkanosova A.A., Korotaeva A.A., Orinicheva A.A., Iskusnykh A.Yu., LitvinovE.V. Phytobiotics as an alternative to antibiotics in feeding farm birds. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. V. 640. №. 3. P. 032061. doi: 10.1088/1755-1315/640/3/032061

22 Bahrami R., Shahbazi Y., Nikousefat Z. Occurrence and seasonal variation of aflatoxin in dairy cow feed with estimation of aflatoxin M 1 in milk from Iran // Food and Agricultural Immunology. 2016. V. 27. №. 3. P. 388-400. doi: 10.1080/09540105.2015.1109613

References

1 Amaravadhi S.Ch., Mallam M., Manthani Gn.Pr., Komireddy K.R. Effect of dietary supplementation of probiotics and enzymes on the haematology of rabbits reared under two housing systems. Vet. World. 2012. vol. 5 (12). pp. 748–753. doi:10.5455/vetworld.2012.748-753

2 Birolo M., Trocino A., Tazzoli M., Xiccato G. Effect of feed restriction and feeding plans on performance, slaughter traits and body composition of growing rabbits. World Rabbit Sci. 2017. no. 25. pp. 113–122.

3 Cheryomushkina I.V., Korneeva O.S. Innovative biotechnology probiotic feed additives c and immunostimulatory effects. Research Journal of Pharmacy and Technology. 2017. vol. 10. no. 4. pp. 1165–1167. doi: 10.5958/0974-360X.2017.00210.4

4 Cunha S., Mendes Â., Rego D., Meireles D. et al. Effect of competitive exclusion in rabbits using an autochthonous probiotic. World Rabbit Sci. 2017. no. 25. pp. 123–134.

5 Kurchaeva E.E., Vostroilov A.V., Derkanosova N.M., Kashirina N.A. et al. Meat productivity and quality of rabbit meat using probiotic additives and sorbents. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. vol. 9. no. 6. pp. 1386–1394.

6 Kurchaeva E.E., Vostroilov A.V., Artemov E.S., Maksimov I.V. Improving the productivity of rabbits through the sharing of probiotic complexes and herbal supplements. Conference on Innovations in Agricultural and Rural development. 2019. vol. 341. 012051. doi:10.1088/1755–1315/341/1/012051.

7 Kutin D.D. Influence of the diet of feeding on the organism of rabbits. International Journal of Applied Sciences and Technologies "Integral". 2018. no. 4. pp. 181–186. (in Russian).

8 Mironova I.V., Chernenkov E.N. Natural resistance of rabbits when feeding a probiotic feed additive Biogumitel. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. 2017. no. 1 (63). pp. 115-117. (in Russian).

9 Mironova I.V., Chernenkov E.N., Chernenkova A.A. Blood indicators of rabbits when included in the diet of the probiotic feed additive Biogumitel. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. 2017. no. 1 (63). pp. 212-215. (in Russian).

10 Nozdrin G.A., Ivanova A.B., Nozdrin A.G. Probiotics based on Bacillus Subtilis and their role in maintaining the health of animals of different species. Siberian Bulletin of Agricultural Science. 2006. no. 7. pp. 64–68. (in Russian).

11 Chernenkov E.N., Mironova I.V., Gizatov A.Ya. Influence of feeding the drug Biogumitel on the slaughter qualities and morphological composition of the carcass of rabbits. News of the Orenburg State Agrarian University. 2014. no. 4 (48). pp. 146-148. (in Russian).

12 Chernenkov E.N., Mironova I.V. The quality of rabbit meat when feeding the probiotic "Biogumitel". Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2015. no. 10 (132). pp. 104-108. (in Russian).

13 Shabunin S.V., Bessonova L.P., Parshin P.A. Veterinary and sanitary aspects of preventing the risks of infectious diseases. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2019. vol. 33. no. 1. pp. 34–37. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10108 (in Russian).

14 Shentsova E.S., Vostroilov A.V., Lytkina L.I., Kurchaeva E.E. Improving the physiological status and quality of rabbit meat against the background of the use of the probiotic complex "SPOROTERMIN" in the composition of feed. Proceedings of VSUET. 2019. vol. 81. no. 3. pp. 57–63. doi: 1Q.2Q914 / 2310-12Q2-2Q19-3-57-63 (in Russian).

15 Yurina N.A., Pskhatsieva Z.V., Kononenko S.I., Esaulenko N.N. et al. The effectiveness of the use of feed additives Sporothermin and Kovelos in compound feed. Actual problems of intensive development of animal husbandry. 2014. vol. 17. no. 1. pp. 185–192. (in Russian).

16 Shevtsov A.A., Drannikov A.V., Derkanosova A.A., Torshina A.A., Orinicheva A.A., Anokhina E.P. Study of a fodder protein supplement from plant raw materials with phytobiotic properties. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 3. pp. 65–70. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2020-3-65-70

17 Słowianek M., Mańkowska D., Leszczyńska J. Reaction of spice proteins with serum antibodies from celiac patients and rabbit antibodies raised to specific glutamine/proline-containing peptides. Food and Agricultural Immunology. 2017. vol. 28. no. 1. pp. 134-148. doi: 10.1080/09540105.2016.1230598

18 Taliercio E., Loveless T., Turano M.J. Identification of epitopes of the A1aBx and A5A4B3 subunits of glycinin antigenic in three animal species. Food and Agricultural Immunology. 2015. vol. 26. no. 2. pp. 271-281. doi:10.1080/09540105.2014.906566

19 Nalbantsoy A. Prevention and identification of Salmonella Enteritidis infection via novel diagnostic stained antigens and polyclonal antibodies. Food and agricultural immunology. 2013. vol. 24. no. 2. pp. 139-149. doi:10.1080/09540105.2012.662629

20 Dobreva Z.G. et al. Immunostimulatory activities of Haberlea rhodopensis leaf extract on the specific antibody response: protective effects against γ-radiation-induced immunosuppression. Food and Agricultural Immunology. 2015. vol. 26. no. 3. pp. 381-393. doi:10.1080/09540105.2014.922935

21 DrannikovA.V., Derkanosova A.A., Korotaeva A.A., Orinicheva A.A., Iskusnykh A.Yu., LitvinovE.V. Phytobiotics as an alternative to antibiotics in feeding farm birds. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. vol. 640. no. 3. pp. 032061. doi: 10.1088/1755-1315/640/3/032061

22 Bahrami R., Shahbazi Y., Nikousefat Z. Occurrence and seasonal variation of aflatoxin in dairy cow feed with estimation of aflatoxin M 1 in milk from Iran. Food and Agricultural Immunology. 2016. vol. 27. no. 3. pp. 388-400. doi: 10.1080/09540105.2015.1109613

Сведения об авторах

Анна А. Дерканосова к.т.н., доцент, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, aa-derk@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-9726-9262

Елена Е. Курчаева к.т.н., доцент, кафедра частной зоотехнии, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, alena.kurchaeva@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-5958-0909

Александр В. Востроилов д.с.-х.н., профессор, кафедра частной зоотехнии, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, alexandervostroilov@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-1626-5735

Руслан Н. Звягин заместитель генерального директора, ООО «Липецкий кролик», ул. Ленина, д. 157, Липецкая обл., Хлевенский район, с. Конь-Колодезь, 393250, Россия, lipetsk.krolik@mail.ru

Андрей Н. Звягин генеральный директор, ООО «Липецкий кролик», ул. Ленина, д. 157, Липецкая обл., Хлевенский район, с. Конь-Колодезь, 393250, Россия, lipetsk.krolik@mail.ru

Игорь В. Максимов к.с.-х.н., доцент, кафедра технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, maximus880@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-9713-0159

Information about authors

Anna A. Derkanosova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, aa-derk@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-9726-9262

Elena E. Kurchaeva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, private animal science department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia, alena.kurchaeva@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-5958-0909

Alexander V. Vostroilov Dr. Sci. (Agric.), private animal science department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia, alexandervostroilov@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-1626-5735

Ruslan N. Zvyagin deputy general director, LLC Lipetsk rabbit, Lipetsk region, Khlevensky district, Kon-Kolodez village, 393250, lipetsk.krolik@mail.ru

Andrey N. Zvyagin general director, LLC Lipetsk rabbit, 157 Lenin Street, Lipetsk region, Khlevensky district, Kon-Kolodez village, 393250, Russia, lipetsk.krolik@mail.ru

Igor V. Maksimov Cand. Sci. (Agric.), associate professor, storage and processing technology of agricultural products department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia, maximus880@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-9713-0159

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/01/2021	**После редакции** 15/02/2021	**Принята в печать** 02/03/2021

Received 18/01/2021	**Accepted in revised** 15/02/2021	**Accepted** 02/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-179-186 Оригинальная статья/Research article
УДК 640 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Комплексная оценка некурительной никотинсодержащей продукции

Марина В. Шкидюк [1] tabak.technolog@rambler.ru 0000-0001-8363-580X
Тамара А. Дон [1] tomadon@mail.ru 0000-0002-6184-0121
Ольга К. Бедрицкая [1] olgabedritskaya@ mail.ru 0000-0003-2163-2237

1 Всероссийский НИИ табака, махорки и табачных изделий, ул. Московская, 42, г. Краснодар, 350042, Россия

Аннотация. Некурительные никотинсодержащие продукты разнообразны и предлагаются в виде ароматизированного табачного/нетабачного сырья, упакованного в порционные пакетики, разной массы и размеров, разнообразного цвета и с различным содержанием никотина. В РФ оборот табака жевательного регламентируется Федеральным законом № 268, сосательный табак (снюс) запрещен в для оптовой и розничной торговли в соответствии с ФЗ N 456. Федеральный закон N 303 приравнял потребление нетабачной никотинсодержащей продукции, предназначенной для жевания и сосания к потреблению табака. Отсутствие нормативных требований к никотинсодержащим продуктам, аналогичным по упаковке, но различным по ингредиентному составу и физиологическому эффекту, предопределяет необходимость разработки методологии комплексной оценки некурительных изделий с верификацией методов контроля. Проведен мониторинг исследований, проводимых в различных научных центрах, по вопросу токсикологической оценки некурительных табачных/нетабачных никотинсодержащих продуктов. Анализ потребительских показателей некурительной продукции, включает органолептическую оценку и определение никотина, как показателя токсической нагрузки. Установлено, что содержание никотина в исследуемых образцах колеблется в диапазоне от 0,3 % до 7,6%. Количество никотина, получаемое потребителем при курении сигарет, является критерием достаточного уровня концентрации никотина в некурительном продукте, экстрагируемого через слизистую рта. Основой (носителем) некурительных нетабачных продуктов является, в основном, порошкообразная микрокристаллическая целлюлоза или мелкоизмельченное растительное сырье (мята перечная), различного ароматического профиля и цвета. Определена структура и предложены идентификационные признаки некурительной продукции, в т.ч. и дополнительный признак наличия табака в ингредиентном составе продукта - содержание табачных специфических нитрозаминов. В результате исследований, предложено введение ограничения содержания никотина в некурительных изделиях на уровне 20 - 30 мг на порцию и разработана комплексная оценка некурительной продукции, включающая: органолептический анализ потребительских показателей; спектрофотометрический метод определения никотина; термогравиметрический метод определения массовой доли влаги, метод оптической микроскопии и люминесцентный анализ для определения структуры продукта с целью идентификации; жидкостную хроматографию/масс-спектрометрию количественного определения табачных специфических нитрозаминов

Ключевые слова: нетабачная никотинсодержащая продукция, табак жевательный, ингредиентный состав, рецептура, никотин, биодоступность, дегустационная оценка, влажность, структура, токсичные компоненты, специфические нитрозамины, нитрозонорникотин

Complex estimation system for smokeless nicotine containing products

Marina V. Shkidyuk [1] tabak.technolog@rambler.ru 0000-0001-8363-580X
Tamara A. Don [1] tomadon@mail.ru 0000-0002-6184-0121
Olga K. Bedritskaya [1] olgabedritskaya@ mail.ru 0000-0003-2163-2237

1 All-Russian Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products, Moskovskaya S, 42, Krasnodar, 350072, Russia

Abstract. Smokeless nicotine containing products are very diverse and offered in flavored tobacco/non tobacco forms, packed in portioned sachets of different mass, dimensions, and colors, with different nicotine content. In RF of chewing tobacco is regulated by Federal law № 268, sucking tobacco (snus) is prohibited for wholesale and retail trade according to FL № 456. Federal law № 303 equates consuming of non tobacco nicotine containing products for chewing and sucking to tobacco consumption. Absence of regulations for nicotine containing products with similar package, but different in composition and physiological effect requires elaboration methods for complex estimation of smokeless products with methods verification in order to their control. Monitoring of studies conducted in various scientific centers on the issue of toxicological assessment of smokeless tobacco / non-tobacco nicotine-containing products has been carried Analysis of consumer's indicators of smokeless products includes organoleptic testing and measuring nicotine content as toxicity indicator. It is discovered that nicotine content in studied samples varies from 0.3 to 7.6 %. Quantity of absorbed nicotine during cigarette smoking is criterion of sufficient nicotine concentration in smokeless products, extracted through oral mucosa. Base (carrier) for non tobacco products is usually powdered microcrystal cellulose or grinded plant matter (peppermint) of different flavor and color. Structure of smokeless products is defined and their identification features are offered, including extra feature – tobacco presence in product, defined by presence of tobacco specific nitrosamines. As the result of the researches adoption of nicotine content limit of 20 – 30 mg per portion is offered. Complex estimation system for smokeless products is elaborated. It includes: organoleptic testing of consumer's properties, spectrophotometric method for nicotine content measuring, thermogravimetric determination of the mass fraction of moisture, optical microscopy and luminiscence analysis for defining product structure in order to its identification, gas chromatography for defining humectants and LC-MS for measuring content of tobacco specific nitrosaminescontent.

Keywords: non-tobacco nicotine-containing products, chewing tobacco, ingredient composition, recipe, nicotine, bioavailability, tasting assessment, moisture, structure, toxic components, specific nitrosamines, nitrosonornicotine

Для цитирования
Шкидюк М.В., Дон Т.А., Бедрицкая О.К. Комплексная оценка некурительной никотинсодержащей продукции // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 179–186. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-179-186

For citation
Shkidyuk M.V., Don T.A., Bedritskaya O.K. Complex estimation system for smokeless nicotine containing products. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 179–186. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-179-186187

© 2021, Шкидюк М.В. и др. / Shkidyuk M.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Ограничение традиционного курения сигарет в России привело к значительному увеличению в объеме потребления некурительных изделий.

В РФ табак жевательный находятся в обороте на основании Федерального закона от 22.12.2008 г. № 268-ФЗ «Технический регламент на табачную продукцию».

Сосательный табак (снюс) – запрещен в РФ для оптовой и розничной торговли в соответствии с Федеральным законом от 30.12.2015 № 456-ФЗ «О внесении изменений в статью 19 ФЗ "Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака" и статью 14.53 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях»

Потребление никотина в качестве никотинзаместительной терапии официально одобрено во многих странах мира [1].

Федеральный закон от 31 июля 2020 г. № 303-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросу охраны здоровья граждан от последствий потребления никотинсодержащей продукции» приравнял потребление никотинсодержащей продукции, предназначенной для жевания, сосания или нюханья к потреблению табака.

На фоне неуклонного сокращения потребления табака, в России средняя ежегодная выручка от табачных акцизов составляет около 500 млрд руб. [2]. Однако, независимо от страны, затраты, связанные с употреблением табака, являются значительными [3].

Запрет на продажу некурительных никотинсодержащих продуктов в РФ, приведет к потере до 5 млрд руб. в год [4].

Отсутствие нормативных требований к нетабачным никотинсодержащим продуктам (НСП), аналогичным по упаковке и физиологическому воздействию табачным изделиям, предопределяет необходимость проведения исследований и разработку стандартизированных методик контроля качественных показателей продукции данного сегмента. Первым шагом в этом направлении, является разработка проекта Технического регламента Евразийского экономического союза «Технический регламент на никотинсодержащую продукцию» [1].

Цель работы – разработка комплексной оценки некурительной никотинсодержащей продукции.

Материалы и методы

Объектами исследований служили коммерческие образцы некурительных табачных / нетабачных никотинсодержащих изделий.

При проведении работы использовались стандартные методы, принятые в табачной промышленности, а также «Методика органолептической оценки некурительных табачных изделий», разработанная в лаборатории технологии производства табачных изделий ВНИИТТИ и адаптированная для НСП.

Для определения структуры исследуемых продуктов использовали методы оптической микроскопии и люминесцентного анализа.

Для определения табачных специфических нитрозаминов применяли метод LC-MS/MS.

Результаты и обсуждение

Табак вызывает сильное привыкание. Существующая идея рационального и осознанного потребления табака вызывает сомнения [5]. Кроме того, курение сигарет является сильнейшим фактором риска развития рака легких и хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) [5].

По мере того, как цены на сигареты растут во всем мире, все больше потребителей потенциально могут использовать никотинсодержащие продукты, особенно при отсутствии данных о негативном воздействии и токсикологических рисках потребления.

НСП пропагандируется как средство снижения вреда от табака [6]. Мониторинг показал, что более 250 миллионов жителей Азии в той или иной форме используют бездымные табаки SLT [6] и нетабачные никотинсодержащие продукты. Исследователи Zohaib Khan, Sheraz Khan, Lara Christianson, Sara Rehman, Obinna Ekwunife, Florence Samkange-Zeeb [6] утверждают, что объединенные доказательства относительно риска рака полости рта при использования бездымных табаков отсутствуют [6].

Исследования, проводимые в Швеции, показали, что снюс – бездымный табачный продукт со средним/высоким содержанием никотина и низким содержанием нитрозаминов, по оценкам, как минимум на 90% менее вреден, чем курение сигарет [7].

Количество никотина, получаемое при потреблении традиционной сигареты, является критерием уровня никотина в некурительном продукте.

На основании исследований и анализа мировых научных изысканий, проведенных в лаборатории технологии производства табачных изделий ФГБНУ ВНИИТТИ, в письме на имя Главного государственного санитарного врача РФ Поповой А.Ю от 23.12.2019 г., институтом предложено введение ограничения содержания никотина в некурительных изделиях: не более 3% или на уровне 20–30 мг на порцию.

Современные некурительные изделия могут быть условно разделены на табачные и нетабачные никотинсодержащие продукты (НСП), при этом, физиологический эффект основан на потреблении никотина [8].

Ведущие транснациональные производители сигарет проводят тестовый маркетинг продуктов, похожих на снюс [7]. В 2014 г. была разработана технология изготовления сосательного табака белого цвета «Epok», предусматривающая очищение табака от вредных веществ. По данным производителей, продукт содержит на 90% меньше вредных вещества, а по вкусу не уступает традиционному шведскому снюсу [9].

Не содержащие табак, современные никотиновые продукты для перорального применения похожи по внешнему виду и использованию на снюс в шведском стиле, но без табака [10]. НСП орального потребления предлагаются в виде ароматизированного нетабачного сырья с различным содержанием никотина [11].

Проведен мониторинг исследований, проводимых по вопросу токсикологической оценки некурительных табачных / нетабачных никотинсодержащих продуктов.

Исследователи Christopher R E. Coggins, Mark Ballantyne и др. [7] провели токсикологическое тестирование, исследование химических, физических и биологических агентов продукта Swedish snus (SWS), которые могут взаимодействовать с ДНК, приводя к генетическим изменениям. Результаты для SWS в анализах мутагенности были в целом отрицательными. Данные SWS контрастируют с данными, сообщенными для курительного табака в форме сигарет, где обычно сообщается о сильных положительных ответах на мутагенность и цитотоксичность. Эти отрицательные результаты лабораторных исследований совпадают с большим количеством эпидемиологических данных из Швеции, показывающих, что потребление SWS связано со значительно более низким канцерогенным потенциалом по сравнению с сигаретами [7]

Bishop E, East N, Bozhilova S, Santopietro S, Smart D, Taylor M, Meredith S, Baxter A, Breheny D, Thorne D, Gaca M в своих исследованиях использовали метод экстракции в среде для культивирования клеток, обеспечивающий постоянную концентрацию никотина [10]. Была использована серия современных скрининговых анализов in vitro (жизнеспособность, маркеры здоровья клеток, окислительный стресс и генотоксичность) [10]. Сравнительные исследования проводили между бестабачным никотинсодержащим продуктом LYFT (БАТ), эталонным образцом бездымного табака CORESTA CRP1.1 [12] и референтным образцом сигарет 1R6F. Исследования подтверждают снижение потенциального риска потребления нетабачных никотинсодержащих продуктов.

Lunell E., Fagerström K., Hughes J., Pendrill R. [13] проводили сравнение фармакокинетики однократной дозы продукта на нетабачной основе ZYN (Swedish Match). Продукт ZYN с содержанием никотина 3 и 6 мг, сравнивался с SWS (8 мг) и жевательной резинкой Nicorette, а ZYN (8 мг) сравнивался с нюхательным табаком Longhorn, с содержанием никотина 18 мг [13]. Данное исследование предлагает методы определения и подтверждает вероятность снижения токсической нагрузки нового орального продукта без табака ZYN.

Некурительные нетабачные продукты представлены на рисунке 1.

Для анализа некурительной никотинсодержащей продукции предложен комплекс исследований: органолептическая оценка, определение влажности и количественного содержания никотина [14]. Содержание никотина в исследуемых образцах определяли спектрофотометрическим методом, согласно ГОСТ 30038–93 (ИСО 2881:77) на спектрофотометре СФ-16. Результаты исследований представлены в таблице 1.



(a) (b) (c) (d)

Рисунок 1. Некурительные никотинсодержащие продукты: (a) жевательная смесь на основе органической целлюлозы Corvus Logan; (b) подушечки для рассасывания с никотином GGWP; (c) нетабачное изделие Citrus ZYN mini; (d) жевательная смесь сухих трав Corvus Brutal

Figure 1. Smokeless nicotine containing products: (a) chewing product on the base jof organic cellulose gum Corvus Logan; (b) pads with nicotine GGWP; (c) non-tobacco product of Citrus ZYN mini; (d) chewing product of cured herbs Corvus Brutal

Таблица 1.

Потребительские показатели продукции орального потребления

Table 1.

Consumer's indicators for product of oral type of consuming

Sample	Показатели | Indicators				
	Органолептические | Organoleptic			Физико-химические | physicochemical	
	Основа Content	Цвет | Color	Аромат Aroma	Влажность, % Humidity, %	Содержание никотина, % Nicotine content, %
Табачный продукт | Tobacco product					
Жевательный табак 1 Chewing tobacco 1	обрывки табака scraps of tobacco	коричневый с оттенками brown with shades	табачный tobacco	36,5	0,8
Жевательный табак 2 Chewing tobacco 2		темно-коричневый dark brown		30,4	0,3
Нетабачный никотинсодержащий продукт | Non-tobacco nicotine product					
Nictech Extremely Strong	cellulose E 460	белый white	ментол menthol	32,7	3,3
ZYN Citrus Mini	целлюлоза cellulose		цитрус, ментол различной интенсивности citrus, menthol of different intensity	30,0	0,9
ZYN Mini Dry				30,2	2,8
ZYN Strong				30,2	5,6
ZYN Citrus Mini Extra Strong				30,6	7,0
Corvus Brutal	peppermint	темно-зеленый dark green	ментол различной интенсивности menthol of varying intensity	29,8	7,6
KUST ice Mint Heavy	целлюлоза cellulose	белый white		32,3	0,8
Velo Polar Mint				26,4	4,1
EPOK Chew Ice Cool				35,4	1,0
Monarch Original Grape	виноградный жмых grape cake	красный red	виноград | grape	30,2	2,1
Pegas Original Lemon	рис целлюлоза rice cellulose	светло-желтый	лимон | lemon	27,8	2,8
White Fox	целлюлоза cellulose	белый	ментол | menthol	33,0	1,8
FAFF Citron		светло-зеленый	ментол | menthol	31,2	2,6
VOTE		белый	фруктовые оттенки | fruit shades	35,4	1,5
Corvus Extreme	мята перечная peppermint	темно-бурый	ментол | mlenthol	19,0	5,9
Corvus Logan	целлюлоза cellulose	желтый	дыня | melon	29,9	3.9
GGWP	нетканое полотно cloth	светло-бежевый	карамельно-парфюмерный caramel perfume	47,3	3,6
Head Shot		светло-розовый	парфюмерный perfume	47,7	5,1

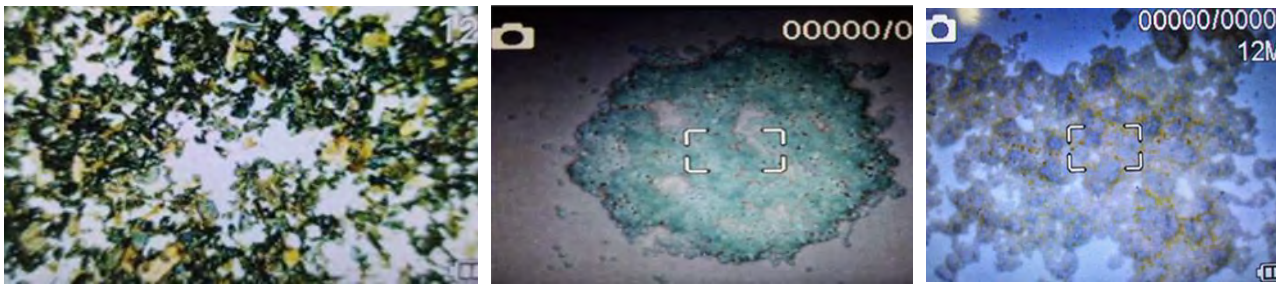
Установлено, что влажность исследуемых образцов, установленная термогравиметрическим методом, находится в значительном диапазоне (19,0–47,7%), а содержание никотина колеблется от 0,3 до 7,6%.

Органолептическая оценка показала, что основой некурительных никотинсодержащих продуктов является, в основном, порошкообразная микрокристаллическая целлюлоза или мелкоизмельченное растительное сырье (мята перечная, виноградный жмых, рис). Образец продукта GGWP представляет нетканое полотно (войлок), пропитанное никотином.

Некурительные нетабачные продукты имеют различный ароматический профиль, структуру и цвет [11]. В ингредиентном составе НСП допускаются никотин и компоненты, разрешенные к использованию при производстве пищевой продукции [11].

Определение структуры табачных / нетабачных никотинсодержащих продуктов проводилось методом оптической микроскопии с использованием микроскопа Digital Microscope Levenhuk DTX 500 LCD.

Структура образцов некурительной продукции представлена на рисунках 2–3.



(a) (b) (c)

Рисунок 2. Структура образцов некурительных нетабачных никотинсодержащих продуктов на основе растительного сырья и целлюлозы: (a) жевательная смесь на основе растительного сырья Corvus Brutal; (b) FAFF Citron; (c) ZYN

Figure 2. Samples structure of smokelex non – tobacco products of the base on plant material and cellulose: (a) chewing product of cured herbs Corvus Brutal; (b) FAFF Citron; (c) ZYN



Рисунок 3. Структура табака жевательного

Figure 3. Structure of chewing tobacco

Структура нетабачной некурительной продукции:

- никотинсодержащая продукция на основе целлюлозы представляет собой мелкоизмельченное (порошкообразное) вещество, обладающее мягкой, легко растираемой пальцами, структурой с характерным запахом используемого ароматизатора, различного цвета;
- никотинсодержащая продукция на основе мяты перечной визуально определяется как мелкоизмельченное растительное сырье зеленовато-коричневого цвета без специфического табачного аромата.

Для отнесения никотинсодержащей продукции к табачной или нетабачной, установлена возможность применение метода люминесцентного анализа.

При разработке комплексной оценки, исследована целесообразность адаптации методов CORESTA для применения к некурительной нетабачной никотинсодержащей продукции:

- CRM № 69 «Определение pH в табаке и табачных изделий»;
- CRM № 88 «Определение активности воды в табаке и табачных изделий»;
- CRM № 90 «Определение прочности запечатывания порционной упаковки для табака и производных продуктов и принципы измерения».

При проведении исследований, установлен дополнительный признак наличия / отсутствия табака в ингредиентном составе НСП – содержание табачных специфических нитрозаминов (TSNA) [15]. Растения из рода Nicotiana содержат большое количество никотина [16] и, соответственно, возможно количественное определение TSNA в табачных продуктах. Результаты определения уровня TSNA сильно отличаются от исследования к исследованию [16] в зависимости от использования аналитического инструмента.

Для определения NNN (N-нитрозонорникотина) и NNK (4-(метил-нитрозамино) – 1-(3-пиридил) – 1-бутанона) в некурительных продуктах, проводилась валидация метода высокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с тандемной масс спектрометрией [17], установленного ISO 21766 «Tobacco and tobacco products – Determination of tobacco-specific nitrosamines in tobacco products – Method using LC-MS/MS» [18]. Анализ проводили на аналитическом оборудовании: хроматографе Thermo Scientific Dionex UltiMate 3000 / масс-спектрометре TSQ Quantiva [17].

Результаты количественного определения табачных специфических нитрозаминов (NNN/NNK) в образцах некурительной табачной / нетабачной продукции представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Содержание табачных специфических нитрозаминов в исследуемых образцах

Table 2.

Content of tobacco specific nitrosamines in studed samples

		Некурительная продукция | Non-smoking products					
		табачная | tobacco		нетабачная никотисодержащая non-tobacco smokeless nicotine containing			
		жевательный табак 1 chewing tobacco 1	жевательный табак 2 chewing tobacco 2	Velo Polar Mint	White Fox	Corvus Brutal	EPOK Ice Cool
NNN	мкг/г	3,21	2,00	н/о		0,01	н/о
NNK	мкг/г	0,24	0,21			н/о	
н/о* – ниже предела определения метода							

Как видно из таблицы 2, табачные специфические нитрозамины (NNN и NNK) определены только в образцах табака жевательного.

Возросший интерес к некурительной табачной / нетабачной никотинсодержащей продукции, как к альтернативе курению [19], а также предоставление никотина потребителю, без компонентов пиролиза табака, может предотвратить большую часть потенциального вреда от традиционного курения [20].

По результатам исследований, разработана комплексная оценка некурительной никотинсодержащей продукции, включающая:

- органолептическую оценку;
- определение массовой доли влаги термогравиметрическим методом;
- определение содержания никотина методом спектрофотометрии;
- определение структуры методом оптической микроскопии и / или методом люминесцентного анализа;
- определение табачных специфических нитрозаминов методом жидкостной хроматографии / тандемной масс-спектрометрии (LC-MS/MS).

Заключение

Некурительная нетабачная никотинсодержащая продукция является современной альтернативой традиционному курению.

Разработана комплексная оценка некурительной никотинсодержащей продукции.

Основным компонентом, обуславливающим токсикологический риск потребления некурительной продукции, является никотин, содержание которого в исследуемых образцах составляет от 0,3 до 7,6%. Предложено введение ограничения содержания никотина в некурительных изделиях на уровне 20–30 мг на порцию.

Литература

1 Дон Т.А., Калашников С.В., Миргородская А.Г. и др. Исследование инновационных видов нетабачной никотинсодержащей продукции орального потребления // Состояние и перспективы мировых научных исследований по табаку, табачным изделиям и инновационной никотинсодержащей продукции: сборник научных трудов международной научной конференции. Краснодар: Просвещение-Юг, 2020. С. 92–100. doi: 10.48113/496–2020–92–100205

2 Стрельников К. Табачные гиганты обещают "мир без курения". Как это будет в России. URL: ttps://ria.ru /20200221/1565025641.html

3 Makate M., Whetton S., Tait R.J. et al. Tobacco Cost of Illness Studies: A Systematic Review // Nicotine & tobacco research. 2020. V. 22. № 4. P. 458–465. doi: 10.1093/ntr/ntz038

4 Nutt D.J., Phillips L.D., Balfour D., Curran H.V. et al. Estimating the harms of nicotine-containing products using the MCDA approach // European addiction research. 2014. V. 20. №. 5. P. 218-225. doi: 10.1159/000360220

5 Bierut L.J. 2018 Langley Award for Basic Research on Nicotine and Tobacco: Bringing Precision Medicine to Smoking Cessation // Nicotine & Tobacco Research. 2020. V. 22. № 2. P. 147–151. doi: 10.1093/ntr/ntz036

6 Khan Z., Khan Sh., Christianson L. et al. Smokeless Tobacco and Oral Potentially Malignant Disorders in South Asia: A Systematic Review and Meta-analysis // Nicotine & Tobacco Research. 2018. V. 20. № 1. P. 12–21. doi: 10.1093/ntr/ntw310

7 Coggins C.R.E., Ballantyne M., Curvall M. et al. The in vitro toxicology of Swedish snus // Critical Reviews in Toxicology. 2012. V. 42. № 4. P. 304–313. doi: 10.3109/10408444.2012.666660

8 Дон Т.А., Миргородская А.Г., Шкидюк М.В. и др. Исследование некурительной никотиносодержащей продукции // Новые технологии. 2019. № 2(48). С. 46–56. doi: 10.24411/2072–0920–2019–10205

9 Leventhal A.M., Goldenson N.I., Barrington-Trimis J.L., Pang R.D. et al. Effects of non-tobacco flavors and nicotine on e-cigarette product appeal among young adult never, former, and current smokers // Drug and alcohol dependence. 2019. V. 203. P. 99-106. doi: 10.1016/j.drugalcdep.2019.05.020

10 Bishop E, East N, Bozhilova S, Santopietro S et al. An approach for the extract generation and toxicological assessment of tobacco-free 'modern' oral nicotine pouches // Food and Chemical Toxicology. 2020. V. 145. P. 111713. doi:10.1016/j.fct.2020.111713

11 Дон Т.А., Калашников С.В., Миргородская А.Г. Вопросы идентификации некурительных табачных изделий // Новые технологии. 2020. № 2(52). С. 40–49. doi: 10.24411 / 2072 – 0920–2020–10204

12 Kaur G., Muthumalage T., Rahman I. Mechanisms of toxicity and biomarkers of flavoring and flavor enhancing chemicals in emerging tobacco and non-tobacco products // Toxicology letters. 2018. V. 288. P. 143-155. doi: 10.1016/j.toxlet.2018.02.025

13 Lunell E., Fagerström K., Hughes J., et al. Pharmacokinetic Comparison of a Novel Non-tobacco-Based Nicotine Pouch (ZYN) With Conventional, Tobacco-Based Swedish Snus and American Moist Snuff // Nicotine and Tobacco Research. 2020. V. 22. № 10. P. 1757-1763. doi: 10.1093/ntr/ntaa068

14 Миргородская А.Г., Шкидюк М.В., Калашников С.В. Методы контроля некурительной никотинсодержащей продукции // Новые технологии. 2020. № 4 (54). С. 60 – 65. doi: 10.47370/2072–0920–2020–15–4–60–65

15 Миргородская А.Г., Шкидюк М.В., Бубнова Н.Н. и др. Исследование токсичных веществ: карбонильных соединений и табачных специфических нитрозаминов в дыме сигарет и аэрозоле различных систем доставки никотина // Состояние и перспективы мировых научных исследований по табаку, табачным изделиям и инновационной никотинсодержащей продукции: сборник научных трудов международной научной конференции. Краснодар: Просвещение-Юг, 2020. С. 78–91. doi: 10.48113/496_2020_78_91

16 Moldoveanu S.C., Scott W.A., Lawson D.M. Nicotine analysis in several non-tobacco plant materials // Beiträge Zur Tabakforschung International/Contributions to Tobacco Research. 2016. V. 27. №. 2. P. 54-59. doi:10.1515/cttr-2016–0008

17 Гнучих Е.В., Шкидюк М.В., Миргородская А.Г. и др. Современные методы контроля никотиносодержащих продуктов // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 2. С. 101–108. doi: 10.20914/2310–1202–2019–2–101–108

18 ISO 21766–2018. Tobacco and tobacco products – De-termination of tobacco-specific nitrosamines in tobacco products – Method using LC-MS/MS. URL: https://www.iso.org/ru/standard/71601.html

19 Lee P.N. Summary of the epidemiological evidence relating snus to health // Regulatory Toxicology and Pharmacology. 2011. V. 59. №. 2. P. 197-214. doi: 10.1016/j.yrtph.2010.12.002

20 London R.C.P. Nicotine without smoke: Tobacco harm reduction // RCP Lond. 2016. V. 908. URL: https://www.rcplondon.ac.uk/projects/outputs/nicotine-without-smoke-tobacco-harm-reduction

References

1 Don T.A., Kalashnikov S.V., Mirgorodskaya A.G. Research of innovative types of non-tobacco nicotine-containing products for oral consumption // State and prospects of world scientific research on tobacco, tobacco products and innovative nicotine-containing products: collection of scientific papers of the international scientific conference. Krasnodar, Education-South, 2020. pp. 92–100. doi: 10.48113/496–2020–92–100205 (in Russian).

2 Strelnikov K. Tobacco giants promise "a world without smoking". How it will be in Russia. Available at: ttps://ria.ru /20200221/1565025641.html (in Russian).

3 Makate M., Whetton S., Tait R.J. et al. Tobacco Cost of Illness Studies: A Systematic Review. Nicotine & tobacco research. 2020. vol. 22. no. 4. pp. 458–465. doi: 10.1093/ntr/ntz038

4 Nutt D.J., Phillips L.D., Balfour D., Curran H.V. et al. Estimating the harms of nicotine-containing products using the MCDA approach. European addiction research. 2014. vol. 20. no. 5. pp. 218-225. doi: 10.1159/000360220

5 Bierut L.J. 2018 Langley Award for Basic Research on Nicotine and Tobacco: Bringing Precision Medicine to Smoking Cessation. Nicotine & Tobacco Research. 2020. vol. 22. no. 2. pp. 147–151. doi: 10.1093/ntr/ntz036

6 Khan Z., Khan Sh., Christianson L. et al. Smokeless Tobacco and Oral Potentially Malignant Disorders in South Asia: A Systematic Review and Meta-analysis. Nicotine & Tobacco Research. 2018. vol. 20. no. 1. pp. 12–21. doi: 10.1093/ntr/ntw310

7 Coggins C.R.E., Ballantyne M., Curvall M. et al. The in vitro toxicology of Swedish snus. Critical Reviews in Toxicology. 2012. vol. 42. no. 4. pp. 304–313. doi: 10.3109/10408444.2012.666660

8 Don T.A., Mirgorodskaya A.G., Shkidyuk M.V. et al. Research of non-smoking nicotine-containing products. New technologies.2019. no. 2(48). pp. 46–56. doi: 10.24411/2072–0920–2019–10205 (in Russian).

9 Leventhal A.M., Goldenson N.I., Barrington-Trimis J.L., Pang R.D. et al. Effects of non-tobacco flavors and nicotine on e-cigarette product appeal among young adult never, former, and current smokers. Drug and alcohol dependence. 2019. vol. 203. pp. 99-106. doi: 10.1016/j.drugalcdep.2019.05.020

10 Bishop E, East N, Bozhilova S, Santopietro S. et al. An approach for the extract generation and toxicological assessment of tobacco-free 'modern' oral nicotine pouches. Food and Chemical Toxicology. 2020. vol. 145. pp. 111713. doi:10.1016/j.fct.2020.111713

11 Don T.A., Kalashnikov S.V., Mirgorodskaya A.G. Issues of identification of smokeless tobacco products. New technologies. 2020. no. 2(52). pp. 40–49. doi: 10.24411/2072 – 0920–2020–10204 (in Russian).

12 Kaur G., Muthumalage T., Rahman I. Mechanisms of toxicity and biomarkers of flavoring and flavor enhancing chemicals in emerging tobacco and non-tobacco products. Toxicology letters. 2018. vol. 288. pp. 143-155. doi: 10.1016/j.toxlet.2018.02.025

13 Lunell E., Fagerström K., Hughes J. et al. Pharmacokinetic Comparison of a Novel Non-tobacco-Based Nicotine Pouch (ZYN) With Conventional, Tobacco-Based Swedish Snus and American Moist Snuff. Nicotine and Tobacco Research. 2020. vol. 22. no. 10. pp. 1757-1763. doi: 10.1093/ntr/ntaa068

14 Mirgorodskaya A.G., Shkidyuk M.V., Kalashnikov S.V. Methods of control of non-smoking nicotine-containing products. New technologies. 2020. no. 4 (54). pp. 60 - 65. doi: 10.47370/2072–0920–2020–15–4–60–65 (in Russian).

15 Mirgorodskaya A.G., Shkidyuk M.V., Bubnova N.N. Research of toxic substances: carbonyl compounds and specific tobacco nitrosamines in cigarette smoke and aerosol of various nicotine delivery systems. State and prospects of world scientific research on tobacco, tobacco products and innovative nicotine-containing products: collection of scientific papers of the international scientific conference. Krasnodar, Education-South, 2020. pp. 78-91.doi: 10.48113/496_2020_78_91 (in Russian).

16 Moldoveanu S.C., Scott W.A., Lawson D.M. Nicotine analysis in several non-tobacco plant materials. Beiträge Zur Tabakforschung International/Contributions to Tobacco Research. 2016. vol. 27. no. 2. pp. 54-59. doi:10.1515/cttr 2016–0008

17 Gnuchikh E.V., Shkidyuk M.V., Mirgorodskaya A.G. and others. Modern methods of control of nicotine-containing products. Proceedings of VSUET. 2019. vol. 81. no. 2. pp. 101–108. doi: 10.20914/2310–1202–2019–2–101–108 (in Russian).

18 ISO 21766–2018. Tobacco and tobacco products – De-termination of tobacco-specific nitrosamines in tobacco products – Method using LC-MS/MS. Available at: https://www.iso.org/ru/standard/71601.html

19 Lee P.N. Summary of the epidemiological evidence relating snus to health. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 2011. vol. 59. no. 2. pp. 197-214. doi: 10.1016/j.yrtph.2010.12.002

20 London R.C.P. Nicotine without smoke: Tobacco harm reduction. RCP Lond. 2016. vol. 908. Available at: https://www.rcplondon.ac.uk/projects/outputs/nicotine-without-smoke-tobacco-harm-reduction

Сведения об авторах

Марина В. Шкидюк ст. науч. сотрудник, лаборатория технологии производства табачных изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий , ул. Московская, 42, г. Краснодар, 350072, Россия , tabak.technolog@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0001-8363-580X

Тамара А. Дон к.т.н. зав. лабораторией, технологии производства табачных изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий, ул. Московская, 42, г. Краснодар, 350072, Россия, tomadon@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6184-0121

Ольга К. Бедрицкая ст. науч. сотрудник, лаборатория технологии производства табачных изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий, ул. Московская, 42, г. Краснодар, 350072, Россия , olgabedritskaya@ mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-2163-2237

Information about authors

Marina V. Shkidyuk senior researcher, laboratory of technologies for manufacturing tobacco products, All-Russian Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products, Moskovskaya St, 42, Krasnodar, 350072, Russia, Russia, tabak.technolog@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0001-8363-580X

Tamara A. Don Cand. Sci. (Engin.), head of laboratory, laboratory of technologies for manufacturing tobacco products, All-Russian Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products, Moskovskaya St, 42, Krasnodar, 350072, Russia, Russia, tomadon@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6184-0121

Olga K. Bedritskaya senior researcher, laboratory of technologies for manufacturing tobacco products, All-Russian Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products, All-Russian, Moskovskaya St, 42, Krasnodar, 350072, Russia, Russia, olgabedritskaya@ mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-2163-2237

Вклад авторов

Марина В. Шкидюк написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат
Тамара А. Дон обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёла эксперимент, выполнила расчёты
Ольга К. Бедрицкая консультация в ходе исследования

Contribution

Marina V. Shkidyuk wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Tamara A. Don review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Olga K. Bedritskaya consultation during the study

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 28/01/2021	**После редакции** 17/02/2021	**Принята в печать** 03/03/2021

Received 28/01/2021	**Accepted in revised** 17/02/2021	**Accepted** 03/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-187-191 Оригинальная статья/Research article

УДК 664.35 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Разработка купажей растительных масел для здорового питания

Наталья Л. Клейменова [1] klesha78@list.ru 0000-0002-1462-4055

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Проведен анализ растительных масел в соответствии с рекомендациями физиологических потребностей для разных групп населения и ФАО/ВОЗ для удовлетворения потребности употребления растительных масел. Целью работы является создание купажей растительных масел с опитимизированным составом полиненасыщенных жирных кислот ω_3, ω_6, ω_9 для здорового питания человека. Объекты исследования - растительные масла, полученные методом холодного прессования из расторопши, подсолнечника, рапса и рыжика. Проведен анализ жирнокислотного состава масел с помощью газовой хроматографии. Установлено, что наибольшее количество ω_6 содержится в масле подсолнечном – 66%, в масле расторопши – 53%, в масле рапсовом – 20%, в масле рыжиковом – 17%. Масло рыжиковое богато ω_3 – 37%, масло рапсовое ω_9 – 59%, что соответствует нормам для указанных видов масел. С помощью метода линейного программирования представлен расчет четырехкомпонентных купажей из различных видов масел, сбалансированных по ω_3, ω_6, ω_9 в соответствии с нормами, рекомендуемыми для удовлетворения суточной потребности питания человека. Спроектированы купажи растительных масел. Установлено соотношение в купажах жирных кислот ω_3 : ω_6 : ω_9 - 1:1,5:1,3. С помощью моделирования получено 5 купажей растительных масел с различным составом. На основании полученных данных рассчитаны частные функции желательности для каждого купажа и общий показатель Харрингтона. Получены значения функций желательности, которые превышают 0,9 и обобщенный критерий Харрингтона, имеющий значение 0,97, что соответствует стандартному уровню шкалы желательности «отлично». В связи с этим можно утверждать, что полученные купажи обладают сбалансированным составом. Следует отметить, что следующим этапом должны быть дегустационные исследования с целью получения удовлетворительных органолептических показателей.

Ключевые слова: купаж, масло подсолнечное, масло расторопши, масло рыжиковое, масло рапсовое

Development of blends of vegetable oils for a healthy diet

Natalia L. Kleymenova [1] klesha78@list.ru 0000-0002-1462-4055

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The analysis of vegetable oils was carried out in accordance with the recommendations of physiological needs for different groups of the population and FAO / WHO to meet the need for the consumption of vegetable oils. The aim of the work is to create blends of vegetable oils with an optimized composition of polyunsaturated fatty acids ω_3, ω_6, ω_9 for healthy human nutrition. The objects of research are vegetable oils obtained by cold pressing from milk thistle, sunflower, rapeseed and camelina. The analysis of the fatty acid composition of the oils was carried out using gas chromatography. It was found that the greatest amount of ω_6 is contained in sunflower oil – 66%, in milk thistle oil – 53%, in rapeseed oil 20%, in camelina oil 17%. Camelina oil is rich in ω_3 – 37%, rapeseed oil ω_9 – 59%, which corresponds to the standards for these types of oils. Using the method of linear programming, the calculation of four-component blends of various types of oils, balanced by ω_3, ω_6, ω_9, in accordance with the norms recommended for satisfying the daily nutritional needs of a person is presented. Blends of vegetable oils were designed. The ratio in fatty acid blends ω_3: ω_6: ω_9 - 1: 1.5: 1.3 has been established. By means of modeling, 5 blends of vegetable oils with different compositions were obtained. Based on the data obtained, the partial desirability functions for each blend and the general Harrington index were calculated. The values of the desirability functions that exceed 0.9 and the generalized Harrington criterion of 0.97 were obtained, which corresponds to the standard level of the desirability scale "excellent". In this regard, it can be argued that the resulting blends have a balanced composition. It should be noted that the next step is a tasting studies in order to obtain satisfactory organoleptic characteristics.

Keywords: blend, sunflower oil, milk thistle oil, camelina oil, rapeseed oil

Введение

Перспективным направлением в пищевой промышленности является получение традиционных продуктов с повышенной биологической ценностью оптимизацией количества и соотношения полиненасыщенных жирных кислот. Повышенная биологическая ценность характеризует качественное и количественное содержание полиненасыщенных жирных кислот, а также является критерием функциональности для растительных масел.

В настоящее время получаемые различные виды масел массового производства не оптимальны по физиологическому показателю – жирнокислотному составу. Поэтому необходимо увеличить ассортимент полезных для здоровья масел с новым составом и свойствами, а также применить рациональные технические решения для создания купажированных продуктов. Актуальность исследования заключается в изменении потребительских свойств новых купажей из растительных масел.

Для цитирования

Клейменова Н.Л. Разработка купажей растительных масел для здорового питания //Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 187–191. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-187-191

For citation

Kleymenova N.L. Development of blends of vegetable oils for a healthy diet. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 187–191. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-187-191

© 2021, Клейменова Н.Л./ Kleymenova N.L.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Известно множество работ, в которых представлено, что жиры должны быть в рационе питания человека в необходимом количестве и определенном соотношении [1, 2]. Также проведены исследования о влиянии полиненасыщенных жирных кислот на организм, оказывающих лечебный эффект: благоприятное воздействие при болезнях сердца, сахарном диабете, хронических заболеваниях глаз, онкологических заболеваниях [3-6]. Эти кислоты поступают в организм человека в разном количестве, но максимальный эффект от их воздействия достигается при определенном соотношении ω_3, ω_6, ω_9. Известен рациональный уровень потребления жирных кислот в количестве 11 г/сут [7].

Исследователи изучают не только количественную составляющую жиров, но и сбалансированность состава (наличие полиненасыщенных жирных кислот, биологически активных веществ), низкую окислительную способность при хранении масел, их безопасность [8]. Следовательно, требуется проведение исследований в данной области.

В нормах физиологических потребностей для разных групп населения установлены рекомендуемые количества потребления жиров – 80 – 100 г/сутки [9]. На основе ФАО/ВОЗ нормы потреблениях жиров составляют около 3% для ω_6 и 0,5% для ω_3, но для борьбы с сердечными заболеваниями рекомендуют до 9% ω_6 и 2% ω_3 [10]. Употребление большого количества ω_3 и ω_6 приводит к неблагоприятным последствиям. В связи с этим, рекомендуется употреблять около 35% жиров для здорового рациона человека, употребление меньшего количества приводит к их недостатку [11].

Поэтому целью работы является создание купажей растительных масел с опитимизированным составом полиненасыщенных жирных кислот ω_3, ω_6, ω_9 для здорового питания человека, снижающих риск развития заболеваний за счет пищевых ингредиентов [12, 13]. Задачей исследования является определение жирнокислотного состава масел с полиненасыщенными жирными кислотами, включающими ω_3, ω_6, ω_9, расчет купажей исследуемых масел. Для получения таких продуктов рекомендуется применять не менее двух масел с содержанием линолевой, линоленовой и олеиновой кислот.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования выбраны растительные масла, полученные методом холодного прессования из расторопши, подсолнечника, рапса и рыжика. На первом этапе проводились исследования по жирнокислотному составу растительных масел с помощью газовой хроматографии [14–16]. Идентификацию образцов определяли с использованием эталонных смесей метиловых эфиров жирных кислот, информация о которых достоверна. При проведении исследований учитывалась повторяемость результатов, которая составила 5 раз.

Для создания купажа использован метод оптимизации – линейного программирования, учитывающий содержание полиненасыщенных жирных кислот и их соотношение для исследуемых масел [17].

При использовании мультипликативной модели определены максимумы обобщенного критерия по формуле

$$D = \sqrt[m]{\Pi_{i=1}^{m} d_i},$$

где D – обобщенный критерий моделирования, $D \in [1]$; d_i – частные критерии по каждому из i-х факторов.

Частные критерии находили в соответствии с эталонным значением.

Определен максимум обобщенного критерия моделирования по формуле

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^{n} b_{ik} c_k x_k}{\sum_{i=1}^{n} c_k x_k},$$

где c_k – массовая доля компонентов масла,%; b_{ik} – массовая доля компонентов k-го ингредиента, которые входят в c_k в X_I ингредиенте рецептуры.

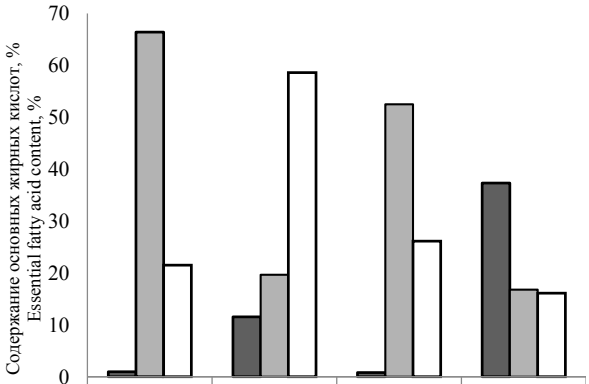
Затем вычисляются значения частных функций желательности каждого компонента. Чтобы найти частные критерии, использованы значения функции Харрингтона, которые могут быть сгруппированы в шкалу желательности.

Результаты и обсуждение

Проведен анализ состава исследуемых образцов масел по наличию полиненасыщенных жирных кислот. Наибольшее количество ω_6 содержится в масле подсолнечном – 66%, в масле расторопши – 53%, в масле рапсовом – 20%, в масле рыжиковом – 17%. Масло рыжиковое богато ω_3–37%, масло рапсовое ω_9–59%, что соответствует нормам для указанных видов масел (рисунок 1) [18].

Для эффективного получения функциональных продуктов важным аспектом является использование нерафинированных масел с повышенной биологической ценностью [19, 20]. В качестве источника богатого ω6 использовали масло расторопши. Добавление в купаж масла рыжикового позволит сбалансировать состав по ω3.

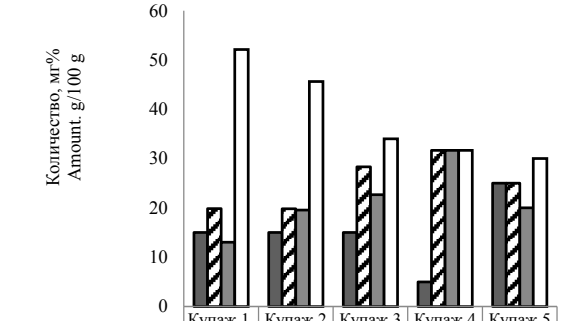
По результатам проектирования получены следующие четырехкомпонетные купажи с соотношением $\omega_3 : \omega_6 : \omega_9$ (рисунок 2).



	Масло подсолнечное Sunflower oil	Масло рапсовое Rapeseed oil	Масло расторопши Milk thistle oil	Масло рыжиковое Camelina oil
ω3	0,975	11,553	0,815	37,341
ω6	66,408	19,668	52,505	16,792
ω9	21,522	58,612	26,125	16,127

Рисунок 1. Состав исследуемых образцов масел по наличию полиненасыщенных жирных кислот

Figure 1. Composition of the studied oil samples by the presence of polyunsaturated fatty acids



	Купаж 1 Blend 1	Купаж 2 Blend 2	Купаж 3 Blend 3	Купаж 4 Blend 4	Купаж 5 Blend 5
Масло подсолнечное Sunflower oil	15	15	15	5	25
Масло рапсовое Rapeseed oil	19,84	19,83	28,33	31,66	25
Масло расторопши Milk thistle oil	13,03	19,55	22,67	31,67	20
Масло рыжиковое Camelina oil	52,13	45,62	34	31,67	30

Рисунок 2. Результаты проектирования четырехкомпонентных купажей

Figure 2. Results of designing four-component blends

Установлено соотношение жирных кислот $\omega_3 : \omega_6 : \omega_9$ – 1:1,5:1,3. На основании полученных данных рассчитаны частные функции желательности для каждого купажа и общий показатель Харрингтона (рисунок 3).

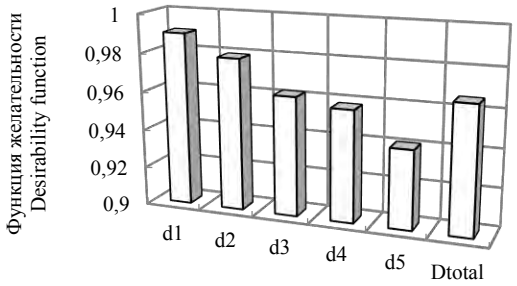


Рисунок 3. Частные критерии (d_i) и обобщенный критерий моделирования функции желательности растительных масел $D_{общ}$: d_1 – купаж 1, d_2 – купаж 2, d_3 – купаж 3, d_4 – купаж 4, d_5 – купаж 5

Figure 3. Partial criteria (d_i) and generalized criterion for modeling the desirability function of vegetable oils D_{total}: d_1 – blend 1, d_2 – blend 2, d_3 – blend 3, d_4 – blend 4, d_5 – blend 5

С помощью моделирования получено 5 купажей с различным составом, отвечающие современным требованиям питания, о чем свидетельствуют полученные данные. Анализ рисунка позволил сделать вывод, что значения функций желательности превышают 0,9, обобщенный критерий Харрингтона имеет значение 0,97. Следовательно, полученное значение соответствует стандартному уровню шкалы желательности «отлично». Поэтому можно утверждать, что полученные купажи обладают сбалансированным составом.

Заключение

Для создания функциональных пищевых продуктов использован безопасный и простой способ получения купажей при смешивании различных видов масел. Установлено, что наибольшее количество ω_6 содержится в масле подсолнечном – 66%, в масле расторопши – 53%, в масле рапсовом 20%, в масле рыжиковом – 17%. Масло рыжиковое содержит ω_3 в количестве – 37%, масло рапсовое ω_9 – 59%, что соответствует нормам для указанных видов масел.

С помощью программы Generic 2.0 проведено моделирование содержания концентрации исследуемых компонентов. Таким образом, установлен сбалансированный состав разработанных рецептур масел для перспективного использования в лечебно-профилактическом питании. Результаты анализа купажирования подтверждаются высокими значениями функции Харрингтона. Предложены рецептуры купажей, которые рекомендуется применять для функционального питания. Следующим этапом работы должна стать оптимизация купажей растительных масел, основанная на реологических и органолептических характеристиках.

Литература

1 Зайцева Л.В. Роль различных жирных кислот в питании человека и при производстве пищевых продуктов // Пищевая промышленность. 2010. № 10. С. 60–63.

2 Le Q., Lay H., Wu M. et al. Phytoconstituents and pharmacological activities of Silybum marianum (Milk Thistle) // American Journal of Essential Oils and Natural Products. 2018. V. 6 (4). P. 41–47.

3 Wang N., Duan C., Geng X., Li S. et al. One step rapid dispersive liquid-liquid micro-extraction with in-situ derivatization for determination of aflatoxins in vegetable oils based on high performance liquid chromatography fluorescence detection // Food chemistry. 2019. V. 287. P. 333-337. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.02.099

4 Lefort N., LeBlanc R., Giroux M.A., Surette M.E. Consumption of Buglossoides arvensis seed oil is safe and increases tissue long-chain n-3 fatty acid content more than flax seed oil–results of a phase I randomised clinical trial // Journal of nutritional science. 2016. V. 5. doi: 10.1017/jns.2015.34

5 Wong T.C., Chen Y.T., Wu P.Y., Chen T.W. et al. Ratio of dietary ω-3 and ω-6 fatty acids independent determinants of muscle mass in hemodialysis patients with diabetes // Nutrition. 2016. V. 32. P. 989-994. doi: 10.1016/j.nut.2016.02.015

6 Hashempour-Baltork F., Torbati M., Azadmard-Damerchi S., Savage G.P. Vegetable oil blending: A review of physicochemical, nutritional and health effects // Trends Food Sci. Technol. 2016. V. 5. P. 52-58. doi: 10.1016/j.tifs.2016.09.007

7 Владыкина Д.С., Ламоткин С.А., Колногоров К.П., Ильина Г.Н. и др. Разработка купажей растительных масел со сбалансированным жирнокислотным составом // Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2015. № 4. С. 240–245.

8 Rokosik E., Dwiecki K., Siger A. The quality of cold-pressed rapeseed oil obtained from seeds of Brassica napus L. with increased moisture content // Acta Sci. Pol. Technol. Aliment. 2019. V. 18 (2). P. 205–218. doi: 10.17306/J.AFS.2019.0672

9 МР 2.3.1.2432–08. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: методические рекомендации: утв. Роспотребнадзором 18.12.2008. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200076084

10 Freese J., Pricop-Jeckstadt M., Heuer T., Clemens M. et al. Determinants of consumption-day amounts applicable for the estimation of usual dietary intake with a short 24-h food list // Journal of nutritional science. 2016. V. 5. doi: 10.1017/jns.2016.26

11 AFSSA. Opinion of the French Food Safety Agency (AFSSA) on the update of French population reference intakes (ANCs) for fatty acids. 2010. URL: https://www.anses.fr/en/system/files/NUT2006sa0359EN.pdf

12 Tortosa-Caparros E., Navas-Carrillo D., Marin F., Ourenes-Pinero E. Anti-inflammatory effect of polyunsaturated omega-3 and omega-6 fatty acids in cardiovascular diseases and metabolic syndrome // Crit Rev Food SciNutr. 2017. V. 57(16). P. 3421–3429.

13 Артюхова С.И., Бондарева Г.И. Об актуальности использования рыжикового масла при производстве использования рыжикового масла при производстве биопродуктов для питания студентов // Международный журнал экспериментального образования. 2015. №. 8 (1) С. 102.

14 ГОСТ 31665–2012. Масла растительные и жиры животные. Получение метиловых эфиров жирных кислот.

15 Клейменова Н.Л. Исследование функционального состава подсолнечного масла, полученного методом холодного прессования // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 23–26. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.005

16 Клейменова Н.Л. Жирнокислотный состав масла семян расторопши пятнистой, полученного методом холодного прессования // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 81. № 2. С. 201–209. doi: 10.20914/2310-1202-2020-4-102-106

17 Усатиков С.В., Тимофеенко Т.И., Руденко О.В., Никонович С.Н. и др. Оценка эффективности использования компьютерной программы при создании смесей растительных масел для здорового питания // Фундаментальные исследования. 2015. № 10. С. 314–317.

18 CXS 210–1999 Standard for named vegetable oils. Adopted in 1999. Revised in 2001, 2003, 2009, 2017, 2019. Amended in 2005, 2011, 2013, 2015, 2019.

19 Кондратова И.И. и др. Купажированное растительное масло для геродиетического питания // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2010. № 4. С. 21–26.

20 Рощина Н.Н., Егорова Е.Ю. Разработка рецептуры трехкомпонентных растительных масел, оптимизированных по составу жирных кислот и витаминов // Известия Вузов. Пищевая технология. 2011. № 5–6. С. 32–34.

References

1 Zaitseva L.V. The role of various fatty acids in human nutrition and in the production of food products. Food Industry. 2010. vol. 10. pp. 60–63. (in Russian).

2 Le Q., Lay H., Wu M. et al. Phytoconstituents and pharmacological activities of Silybum marianum (Milk Thistle). American Journal of Essential Oils and Natural Products. 2018. vol. 6 (4). pp. 41–47.

3 Wang N., Duan C., Geng X., Li S. et al. One step rapid dispersive liquid-liquid micro-extraction with in-situ derivatization for determination of aflatoxins in vegetable oils based on high performance liquid chromatography fluorescence detection. Food chemistry. 2019. vol. 287. pp. 333-337. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.02.099

4 Lefort N., LeBlanc R., Giroux M.A., Surette M.E. Consumption of Buglossoides arvensis seed oil is safe and increases tissue long-chain n-3 fatty acid content more than flax seed oil–results of a phase I randomised clinical trial. Journal of nutritional science. 2016. vol. 5. doi: 10.1017/jns.2015.34

5 Wong T.C., Chen Y.T., Wu P.Y., Chen T.W. et al. Ratio of dietary ω-3 and ω-6 fatty acids independent determinants of muscle mass in hemodialysis patients with diabetes. Nutrition. 2016. vol. 32. pp. 989-994. doi: 10.1016/j.nut.2016.02.015

6 Hashempour-Baltork F., Torbati M., Azadmard-Damerchi S., Savage G.P. Vegetable oil blending: A review of physicochemical, nutritional and health effects. Trends Food Sci. Technol. 2016. vol. 5. pp. 52-58. doi: 10.1016/j.tifs.2016.09.007

7 Vladykina D.S., Lamotkin S.A., Kolnogorov K.P., Ilyina G.N. et al. Development of blends of vegetable oils with a balanced fatty acid composition. Chemistry, technology of organic substances and biotechnology. 2015. no. 4. pp. 240–245. (in Russian).

8 Rokosik E., Dwiecki K., Siger A. The quality of cold-pressed rapeseed oil obtained from seeds of Brassica napus L. with increased moisture content. Acta Sci. Pol. Technol. Aliment. 2019. vol. 18 (2). pp. 205–218. doi: 10.17306/J.AFS.2019.0672

9 MR 2.3.1.2432–08. Norms of physiological needs in energy and food substances for various groups of the population of the Russian Federation: methodological recommendations: approved. Rospotrebnadzor 18.12.2008. Available at: http://docs.cntd.ru/document/1200076084 (in Russian).

10 Freese J., Pricop-Jeckstadt M., Heuer T., Clemens M. et al. Determinants of consumption-day amounts applicable for the estimation of usual dietary intake with a short 24-h food list. Journal of nutritional science. 2016. vol. 5. doi: 10.1017/jns.2016.26

11 AFSSA. Opinion of the French Food Safety Agency (AFSSA) on the update of French population reference intakes (ANCs) for fatty acids. 2010. Available at: https://www.anses.fr/en/system/files/NUT2006sa0359EN.pdf

12 Tortosa-Caparros E., Navas-Carrillo D., Marin F., Ourenes-Pinero E. Anti-inflammatory effect of polyunsaturated omega-3 and omega-6 fatty acids in cardiovascular diseases and metabolic syndrome. Crit Rev Food SciNutr. 2017. vol. 57(16). pp. 3421–9.

13 Artyukhova S.I., Bondareva G.I. On the relevance of the use of camelina oil in the production of the use of camelina oil in the production of bio-products for the nutrition of students. International Journal of Experimental Education. 2015. vol. 8 (1). pp. 102. (in Russian).

14 GOST 31665–2012. Vegetable oils and animal fats. Preparation of methyl esters of fatty acids. (in Russian).

15 Kleimenova N.L. Investigation of the functional composition of sunflower oil obtained by the method of cold pressing. Polzunovsky vestnik. 2020. vol. 2. pp. 23–26. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.005 (in Russian).

16 Kleimenova N.L. Fatty acid composition of milk thistle seed oil obtained by cold pressing. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 81(2). pp. 201–209. doi: 10.20914/2310-1202-2020-4-102-106 (in Russian).

17 Usatikov S.V., Timofeenko T.I., Rudenko O.V., Nikonovich S.N. et al. Evaluation of the effectiveness of using a computer program when creating mixtures of vegetable oils for healthy nutrition. Fundamental Research. 2015. vol. 10. pp. 314–317. (in Russian).

18 CXS 210–1999 Standard for named vegetable oils Adopted in 1999. Revised in 2001, 2003, 2009, 2017, 2019. Amended in 2005, 2011, 2013, 2015, 2019.

19 Kondratova I. et al. Blended vegetable oil for elderly persons nutrition. Food processing: science and technology. 2010. vol. 4. pp. 21–26. (in Russian).

20 Roshchina N.N., Egorova E.Yu. Development of the formulation of three-component vegetable oils optimized for the composition of fatty acids and vitamins. Izvestiya Vuzov. Food technology. 2011. vol. 5–6. pp. 32–34. (in Russian).

Сведения об авторах

Наталья Л. Клейменова к.т.н., доцент, кафедра управления качеством и технологии водных биоресурсов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, klesha78@list.ru https://orcid.org/0000-0002-1462-4055

Information about authors

Natalia L. Kleymenova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, quality management and technology of aquatic bioresources department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, klesha78@list.ru https://orcid.org/0000-0002-1462-4055

Вклад авторов

Наталья Л. Клейменова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Contribution

Natalia L. Kleymenova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Поступила 23/01/2020 **После редакции** 18/02/2021 **Принята в печать** 04/03/2021

Received 23/01/2020 **Accepted in revised** 18/02/2021 **Accepted** 04/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-192-203 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.951.047 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Рыба вялено-провесная с улучшенными свойствами

Евгений В. Лыжин [1] evlyzhin@mail.ru 0000-0002-5869-2180
Владимир А. Гроховский [1] v.grokhosky@mail.ru 0000-0002-1892-0257
Михаил А. Ершов [1] eshovma@mstu.edu.ru 0000-0002-5072-2322
Сергей Ю. Дубровин [1] dubrovinsyu@mstu.edu.ru 0000-0003-4049-2807
Светлана С. Дубровина [1] ssdubrovina21@gmail.com 0000-0003-0515-1513

1 Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия

Аннотация. Проведено исследование потребительских предпочтений вяленой и провесной рыбной продукции среди респондентов, регулярно посещающих крупные торговые площадки в городе Мурманске. Установлено, что более двух третей респондентов предпочитают приобретать высококачественную вяленую и провесную рыбную продукцию; масса приобретаемой упаковки данного продукта не имеет ярко выраженного предпочтения. Проведена сенсорная оценка экстрактов 16 фитопродуктов и выбраны получившие самые высокие баллы: цветы ромашки; золотой ус; цветки липы и цветы бессмертника песчаного. Проведены эксперименты по посолу филе атлантического лосося и филе трески в слабом солевым растворе с фитоэкстрактом в течение 12–96 часов, соотношение рыбы, солевого раствора и водного экстракта фитопродуктов 1:1:0,01. Установлена наиболее приемлемая продолжительность слабого законченного посола, не превышающая 48 ч. Проведены эксперименты по сушке полуфабриката для установления качественных характеристик и предельной продолжительности обезвоживания вялено-провесного рыбного продукта. Исследованиями обезвоживаемого продукта через каждые 4 часа по сенсорным характеристикам и содержанию и активности воды Aw, установлена наиболее приемлемая продолжительность сушки, не превышающая 36 часов. Проведены исследования вялено-провесной рыбной продукции каждые 20 суток по органолептическим, химическим и микробиологическим показателям в течение 80-суточного периода хранения. Установлена приемлемая продолжительность хранения (срок годности) при температуре 0 – минус 5 °С вялено-провесной вакуумированной рыбы, равная двум месяцам. По результатам проведѐнных экспериментов разработаны ТУ и ТИ на изготовление нового вида вялено-провесной формованной рыбы с улучшенными свойствами.

Ключевые слова: рыбная продукция, потребительские предпочтения, экстракты фитопродуктов, слабый посол, обезвоживание, хранение

Half-dried fish with improved properties

Evgenij V. Lyzhin [1] evlyzhin@mail.ru 0000-0002-5869-2180
Vladimir A. Grohovskiy [1] v.grokhosky@mail.ru 0000-0002-1892-0257
Mikhail A. Ershov [1] eshovma@mstu.edu.ru 0000-0002-5072-2322
Sergey Yu. Dubrovin [1] dubrovinsyu@mstu.edu.ru 0000-0003-4049-2807
Svetlana S. Dubrovina [1] ssdubrovina21@gmail.com 0000-0003-0515-1513

1 Murmansk State Technical University, st. Sportivnayaivnaya, 13, Murmansk, 183010, Russia

Abstract. A study of consumer preferences for dried and half-dried fish products among respondents regularly visiting large retail sites in the city of Murmansk was conducted. It was found that more than two-thirds of respondents prefer to purchase high-quality dried and half-dried fish products; the weight of the purchased package of this product does not have a significant value. Sensory evaluation of extracts of 16 phytoproducts was carried out and the following highest-scoring ones were selected: chamomile flowers; golden mustache; linden flowers and sand immortelle flowers. Experiments of salting Atlantic salmon fillets and cod fillets in a weak saline solution with phytoextract for 12-96 hours were carried out; the ratio of fish, saline solution and aqueous extract of phytoproducts were 1:1:0.01. The most acceptable duration of weak finished salting is established not to be exceeding 48 hours. Experiments on drying the semi-finished product were carried out to establish the quality characteristics and the maximum duration of dehydration of the dried and half-dried fish product. Studies of the dehydrated product carried out every 4 hours by the sensory evaluations, the content and activity of water Aw established the most acceptable drying time, not exceeding 36 hours. Studies of dried fish products were carried out every 20 days according to organoleptic, chemical and microbiological parameters during the 80-day storage period. An acceptable storage period (shelf life) at the temperature of 0 - minus 5 °C of dried and half-dried vacuumed fish has been established to be of two months. Based on the results of the experiments, the technical specifications and technological instructions for the production of a new type of dried and half-dried formed fish with improved properties were developed.

Keywords: fish products, consumer preferences, herbal extracts, weak salting, dehydration, storage

Введение

Рыбохозяйственный комплекс России демонстрирует положительную динамику по всем ключевым экономическим показателям. В 2019 году объем добычи (вылова) водных биологических ресурсов составил 4,983 млн тонн [1], в 2020 г. – около 5,0 млн тонн, т. е. на уровне предыдущего года. В период с 2009 по 2020 год объем добычи (вылова) водных биологических ресурсов вырос более чем на 1 млн тонн, или на 34%. Причѐм вылов трески в 2020 составил более 300 тыс. тонн.

Что касается товарной аквакультуры, то она пока занимает относительно невысокое место в производственной и экономической структуре рыбохозяйственного комплекса.

Для цитирования
Лыжин Е.В., Гроховский В.А., Ершов М.А., Дубровин С.Ю., Дубровина С.С. Рыба вялено-провесная с улучшенными свойствами // Вестник ВГУИТ.2021. Т. 83. № 1. С. 192**Ошибка! Закладка не определена.**–203. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-192-203

For citation
Lyzhin E.V., Grohovskiy V.A., Ershov M.A., Dubrovin S.Yu., Dubrovina S.S. Half-dried fish with improved properties. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 192–203. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-192-203

© 2021, Лыжин Е.В. и др. / Lyzhin E.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Несмотря на опережающие темпы среднегодового роста производства – порядка 15 процентов в течение последних 5 лет – доля товарной аквакультуры (товарного рыбоводства) в общем объеме предложения рыбной и иной продукции из водных биологических ресурсов остается на относительно низком уровне – около 7 процентов (в 2019 г. – 286,8 тыс. тонн [1] и отстаѐт от уровня лидирующих в данном направлении государств, в частности Китая, Вьетнама, Норвегии и др., что несомненно говорит, о том, что рыбохозяйственный комплекс необходимо развивать.

В принятой «Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса РФ на период до 2030 г.» освещен вопрос комплексного проекта «Лососеводство» по развитию товарной аквакультуры (товарного рыбоводства) лососевых видов рыб по технологиям индустриальной и пастбищной аквакультуры [2]. Потребительский спрос (в связи с резким сокращением импортных поставок и снижением покупательной способности) и обеспечение импортозамещения на внутреннем рынке являются ключевыми возможностями для отечественной продукции из лососевых видов рыб, что обусловливает актуальность проекта развития товарной аквакультуры (товарного рыбоводства) лососевых видов рыб. Комплексный проект «Лососеводство» показывает то, что необходимо развивать технологии пищевых продуктов, выработанных из лососевых рыб.

Обеспечение высокого качества пищевой продукции как важнейшей составляющей укрепления здоровья и профилактики заболеваний, увеличения продолжительности жизни населения, содействие и стимулирование роста спроса и предложения на более качественные пищевые продукты являются приоритетными целями «Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года» [3].

Одним из путей решения поставленных целей является расширение ассортимента продуктов питания из морепродуктов, разработанных по инновационным технологиям. Традиционным спросом в нашей стране пользуется сушѐная и вяленая продукция из водных биоресурсов, и хотя среднегодовое производство которых в России составляет всего около 7000 тонн, тем не менее, в последние годы, наблюдается тенденция к увеличению их объѐмов [2].

С целью повышения объѐмов сушеновяленой продукции, повышения еѐ качественных характеристик необходимо совершенствование технологии вяления, поиск путей и способов снижения продолжительности процесса сушки, использования функциональных добавок естественного происхождения.

Поэтому представляет интерес разработка технологии вялено-провесной формованной рыбной продукции с диапазоном влажности от 48 до 52%, а также выпускаемой в виде соединѐнных вместе филе сразу двух видов рыб, в частности, атлантического лосося и трески, причѐм предварительно сырьѐ подвергается специальному слабому посолу в течение нескольких суток с введением в рассол экстрактов лечебных и тонизирующих трав.

К примеру, исследованиями было установлено, что люди, часто употребляющие семгу (атлантический лосось), почти в три раза меньше подвержены онкологическим заболеваниям, депрессивным состояниям, развитию гипертонической болезни. Регулярное употребление семги в пищу способствует тому, чтобы в нашем организме: улучшался обмен веществ, нормализовалась работа печени и органов желудочно-кишечного тракта, стенки кровеносных сосудов становились более прочными, стабилизировалась работа центральной нервной системы, а иммунитет значительно повышался [4]. А потребление трески приводит к улучшению состояния сосудистых стенок, повышению их эластичность; нормализации свѐртываемости крови и восстанавливает кровообращению и циркуляцию жидкостей; положительного влияния на внешний вид, укреплению волосяных фолликул и восстанавливлению повреждѐнных клеток эпидермиса; улучшению деятельности желудочно-кишечного тракта; предотвращению эмоциональной нестабильности благодаря повышенному содержанию магния и витаминов группы В; препятствованию образованию холестериновых бляшек; способствованию профилактики тромбоза и тромбоэмболии, понижению сахара при его избытке, снижению кровяного давления, вероятности возникновения атеросклероза; укрепления хрящевой и суставной ткани [5]. В настоящее время всѐ большую актуальность приобретает использование для лечебно-профилактических и других целей целого реестра трав, цветов и кустарников, их соцветий, почек, плодов, листьев, стеблей и корней. В частности, в нашей стране наиболее популярны следующие фитопродукты: шалфей лекарственный, девясил (жѐлтый цвет), ромашка аптечная, мята перечная, золотой ус, сабельник болотный, цветки липы, пижма, цветы бессмертника песчаного, полынь обыкновенная (чернобыльник), клевер луговой, мелисса лекарственная (медовка), подорожник, колендула

(ноготки), одуванчик лекарственный (полевой), иван-чай (кипрей), лопух обыкновенный, валериана лекарственная, корень солодки, женьшень обыкновенный, элеутерококк колючий, заманиха, аралия высокая и сердцевидная и многие другие. Экстракты, настойки, отвары, фитопрепараты этих представителей растительного мира находят все более широкое применение в технологии продуктов из водных биоресурсов.

С целью выявления отношения потребителей к вяленой и провесной рыбной продукции ходе работы были проведены маркетинговые исследования. Анкетирование проводилось среди жителей города Мурманска, которые регулярно посещают такие распространѐнные торговые площадки, как «Магнит», «Пятѐрочка», «Окей», а также среди профессорско-преподавательского состава и обучающихся Мурманского государственного технического университета. Результаты выявления социального статуса респондентов представллены на рисунках 1 – 4. Анализ рисунков 1–4 свидетельствует о том, что потенциальных потребителей по гендерному показателю примерно поровну (51% и 49% соответственно), состоящие в браке (44% от общего числа опрошенных), с детьми. Из них – большинство в возрасте старше 55 лет, работают (95% от общего числа) и имеют уровень доходов средний и ниже среднего, соответственно, (32% и 49%). Большинство опрошенных респондентов (58%) приобретает провесную и вяленую продукцию из водных биоресурсов раз в несколько месяцев, одна треть – раз в месяц, и только каждый десятый покупает данный продукт один раз в неделю (результаты представлены на рисунке 5 в виде диаграммы). Опрос потребительских предпочтений по предложенному ассортименту продуктов (рисунок 6) показал, что почти 70% (41 и 28%) опрошенных респондентов предпочли бы покупать соответственно, вяленую, копчено-вяленую и провесную рыбную продукцию. Анализ диаграммы, представленный рисунком 7, свидетельствует о том, что для более трети опрошенных (38% от общего числа респондентов) оптимальной массой нетто продукта является 300 г. У остальных двух третей респондентов предпочтения, следующие: 14% устраивает масса упаковки 350 г, 12% – 100 г, 400 г и 500 г, 7% – 200 г и 5% – 250 г.

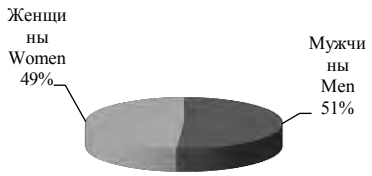


Рисунок 1. Гендерный анализ респондентов, участвующих в опросе

Figure1. Gender analysis of respondents participating in the survey

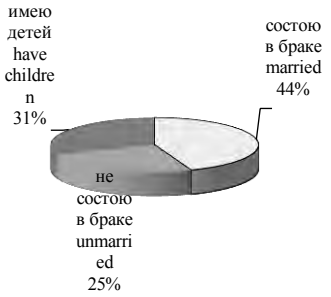


Рисунок 2. Анализ семейного положения респондентов, участвующих в опросе

Figure2. Analysis of the marital status of respondents participating in the survey

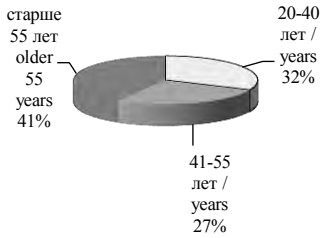


Рисунок 3. Анализ возраста респондентов, участвующих в опросе

Figure3. Analysis of the age of respondents participating in the survey

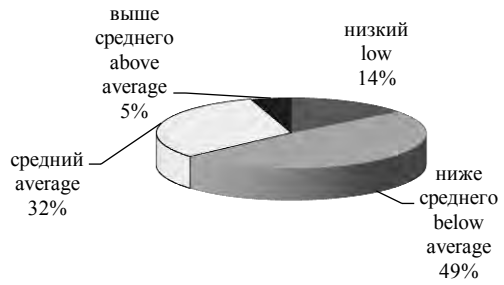


Рисунок 4. Анализ уровня доходов респондентов, участвующих в вопросе

Figure 4. Analysis of the income level of respondents participating in the survey

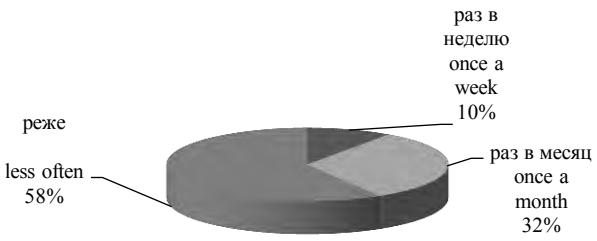


Рисунок 5. Частота покупки вяленой и провесной рыбной продукции

Figure5. Frequency of purchase of dried and half-dried fish products

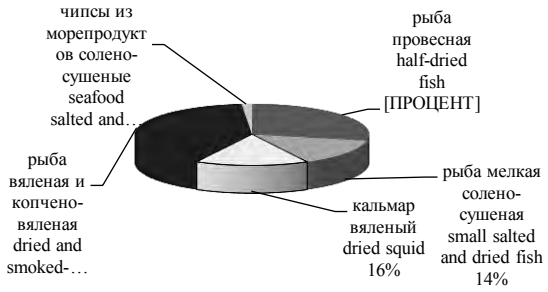


Рисунок 6. Потребительские предпочтения по ассортименту продукции из водных биоресурсов

Figure6. Consumer preferences for the range of products from aquatic bioresources

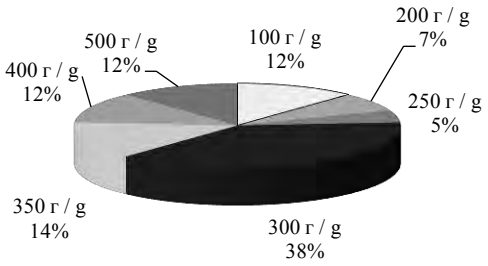


Рисунок 7. Потребительские предпочтения по массе нетто единицы потребительской упаковки

Figure7. Consumer preferences of net weight per unit of consumer packaging

Кроме того, респондентам задавались вопросы по ранжированию факторов, решающих при принятии решения о покупке. Опросом установлено, что у потребителей вяленой продукции на первом месте превалирует качество продукта, на втором – цена, на третьем – производитель, на четвертом – наличие свойств, позволяющих позиционировать продукцию как “продукт здорового питания”.

При ранжировании недостатков покупаемых товаров установлено, что для респондентов наибольшее значение имеет низкое качество продукта, затем неоправданно высокая цена, на третьем месте – срок хранения и самым незначительным был назван недостаточно широкий ассортимент.

Таким образом, обобщѐнные результаты проведенных маркетинговых исследований рынка сушѐно-вяленой продукции свидетельствуют о следующем:

– спрос на этот вид продукции имеется, хотя и не повседневный, от одного раза в неделю (10% респондентов), до одного раза в несколько месяцев (58%);

– более двух третей респондентов предпочитают приобретать вяленую и провесную рыбную продукцию;

– масса приобретаемой упаковки данного продукта не имеет ярко выраженного предпочтения и варьирует от 300 г у одной трети респондентов, и от 100 г до 500 г у остальных опрошенных.

Кроме того, респонденты предпочитают приобретать высококачественную продукцию и не приемлют неоправданно высокую цену на неѐ.

Учѐными и специалистами разработано и предложено большое количество технологий вяленых, в том числе и формованных продуктов, которые изготавливаются из фаршевых изделий, выработанных из водных биоресурсов.

Такая формованная рыбная продукция в процессе изготовления подвергается чрезмерным механическим и тепловым воздействиям (грубое и тонкое измельчение, горячее и холодное копчение и т. п.), что в конечном итоге снижает еѐ пищевую и биологическую ценность.

Вместе с тем создание комбинированных продуктов из гидробионтов, в которых бы гармонично сочетались щадящее воздействие на объекты переработки (без применения жѐстких режимов механической и термической обработки), что приводило бы к сохранению их функциональных свойств (к примеру, нативность и полноценность аминокислотного состава белков и жирнокислотного состава липидов рыбы), обогащение продукта ценными микронутриентами (полезнейшими органическими фитовеществами – эфирными маслами, флавоноидами и сапонинами, а также водорастворимыми витаминами, ценнейшими микроэлементами и др.), явилось бы одним из приоритетных направлений в технологии продуктов из водного сырья.

Поэтому представляет и теоретический и практический интерес разработка технологии вялено-провесных формованных продуктов на основе филе таких видов рыб, как лосось атлантический и треска с использованием растительных ингредиентов лечебно-профилактического назначения (сухие целебные травы, цветы, почки, листья и др.).

Атлантический лосось или сѐмга (лат. Salmonsalar) богат жирами, белками, микроэлементами и витаминами. Химический состав семги в среднем включает в себя 15,0% липидов, 20,0% белковых веществ, 1,0% минеральных веществ, 64,0% воды. Макроэлементный состав мышечной части сѐмги (мг/100 г) представлен K – 441, P – 245, Na – 57, Mg -28, Ca – 12, холестерином – 66. В составе семги присутствуют такие витамины, как A, B_1, B_2, B_{12}, E, PP, C, D, имеется и целый набор микроэлементов: Cl, Fe, Zn, F, Cr, Ni, Mo [4, 6].

Для экспериментов использовали атлантический лосось мороженый (филе-кусок с кожей категории А, изготовленный в соответствии с требованиями ГОСТ 3948–2016 [7]). Одним из основных производителей охлажденного и мороженого лосося атлантического на Европейском Севере являются ООО «Русский лосось», входящий в состав ГК «Балтийский берег».

Другая не менее ценная морская рыба с белым мясом – атлантическая треска (лат. Gadus-morhua), содержит в себе полезные микро- и макроэлементы, и богатый витаминный комплекс. В частности, мясо трески содержит в среднем, белковых веществ 17,4%, липидов 0,6%, воды 79,0%, макро – микроэлементы S – 200 мг/100 г, Cl – 165 мг/100 г, Zn – 1,02 мг/100 г, Mo – 4,0 мкг/100 г, Ni – 9,0 мкг/100 г, F – 700 мг/100 г, Cr – 55,0 мкг/100 г, витаминов А – 10,0 мкг, B_1 – 0,09 мг, B_2 – 0,07 мг, B_4 – 65 мг, B_5 – 0,3 мг, B_6 – 0,17 мг, B_{12} – 1,6 мкг, С – 1 мг, D – 0,5 мкг, Е – 0,9 мг, РР – 5,8 мг/100 г [8–10].

В экспериментальных целях использовали филе трески без кожи подпрессованое мороженое, изготовленное по ГОСТ 32006–2012 [11]. Производителями данного вида продукции на Северном бассейне являются ПАО «Мурманский траловый флот, группа компаний ЗАО «ФЭСТ», рыбопромысловые предприятия, входящие в «Союз рыбопромышленников Севера».

В экспериментах для улучшения качестваи полезности вялено-провесной рыбной продукции использовали ряд растительных ингредиентов лечебно-профилактического назначения, характеристика и свойства которых приведены ниже.

Цветы ромашки (Ромашка аптечная). Содержит никотиновую, салициловую, аскорбиновую кислоты, фитостерин, камеди, холин, эфирное масло, дубильные вещества, диоксикумарин, воска, сахара, гликозид умбеллиферон, глицериды жирных кислот, пектины. Цветы ромашки аптечной содержат до 1,8% (обычно – 0,3–1,0%) эфирного масла, имеющего окраску от желто-зеленого до голубого, с характерным запахом, приятном в небольших количествах. В цветках ромашки лекарственной найдены также флавоноиды, производные апигенина, лютеолина и кверцетина, которые также обладают противовоспалительными и противовирусными действиями. Соцветия ромашки аптечной накапливают макроэлементы (мг/г): Ca – 8,30; Mg – 3,10; Fe – 0,30; Mn – 0,29; Cu – 0,78; Zn – 0,80; Co – 0,16; Cr – 0,09; Ba – 0,20; V – 0,08; Se – 7,20; Ni – 0,24; Pb – 0,07; I – 0,07. Эфирное масло ромашки («ромашковое масло») обладает дезинфицирующим действием, снимает боли, ослабляет воспалительные процессы, расширяет сосуды головного мозга [12, 13].

Золотой ус (каллизия душистая). Содержит растительные полифенольные соединения (флавоноиды), которые имеют большое значение для поддержания здоровья организма. В первую очередь следует отметить, что эти биологически активные вещества обладают антиоксидантным действием, то есть способны нейтрализовать негативное воздействие свободных радикалов, которые образуются в организме в процессе жизнедеятельности. В соке золотого уса учеными были обнаружены два вещества из группы флавоноидов: кемпферол и кверцетин. Также содержатся, стероиды, витамин РР, микроэлементы: железо, медь и хром. В соке каллизии душистой в пересчѐте на сухую массу присутствуют свободные углеводы – 27,57%, в т. ч. полисахаридов 2,44%, аминокислоты 3,2%, каротиноиды и тритерпеновые соединения 0,21%, общее количество минеральных веществ составляет 30,37%. Золотой ус замечательно повышает уровень естественной защиты, и оказывает на организм общетонизирующее действие. Примечательно, что из-за своего губительного действия на потогонную микрофлору, продукты, приготовленные на его основе, долго не портятся и могут храниться достаточно долгое время при комнатной температуре [14, 15].

Липовый цвет. В цветках растения содержится аскорбиновая и салициловая кислоты, флавоновые гликозиды, талицин и каротин. Благодаря этому набору компонентов удаѐтся снять воспалительные процессы и боли. Липовый цвет содержит в себе большое количество эфирных масел. Им свойственны выраженные иммуномодулирующие и бактерицидные свойства. В цветках липы также были обнаружены белковые вещества (2,0 г/100 г), полисахариды и сахар (1,0 г/100 г.); минеральные вещества, в мг/100 г: К – 23,6; Ca – 16,9; Mg – 3,0; Fe – 0,2; а также дубильные составляющие; флавоноиды; антиоксиданты природного происхождения – сапонины. Липовый цвет обладает успокаивающим, антибактериальным, ранозаживляющим, жаропонижающим, противомикробным свойствами. Препараты из липового цвета помогают пищеварительной системе переваривать пищу, способствуют ее лучшему усвоению. Липовый цвет успокаивает нервную систему, снимает усталость, накопленную за день и обогащает организм энергией [16, 17].

Цветы бессмертника песчаного. Содержат флавоноиды, дубильные вещества, 0,05% эфирных масел, 1,2%, сахаров 3,66% смол, 0,05% стеринов, 0,25% флавонов, сапонины, высокомолекулярные спирты, пигменты, соли

натрия, калия, кальция, железа, марганца, витамины С, К, микроэлементы: хром, никель, селен, алюминий. К действиям данного сырья лечебно-профилактического назначения относят антибактериальную активность, эффективность в отношении угнетения колоний стафилококков и стрептококков и др. [18–20].

Методы

Сенсорную оценку аромата экстрактов фитопродуктов, а также их ароматику в рыбе после посола определяли с участием группы дегустаторов в количестве 10 чел. – по уровню приемлемости, которая включала в себя интенсивность (яркость) запаха, привлекательность, сочетаемость с запахом вялено-провесной рыбы, максимальный уровень – 10 баллов. Органолептическую оценку качества нового вида вялено-провесной рыбы в оливковом масле определяли по специально разработанной 20 – бальной шкале, включающие коэффициенты значимости, из которых наиболее высокие приходятся на самые характерные органолептические показатели: внешний вид, вкус и аромат [21]. Готовый продукт считается отличным при общей суммарной оценке качества равной от 18,1 до 20,0 баллов, хорошей – от 16,1 до 18,0 и удовлетворительной – от 14,1 до 16,0 баллов, неудовлетворительным – ниже 14,1 баллов.

Активность воды в полуфабрикате и в готовой вялено-провесной рыбной продукции определяли с помощью прибора HygroPalm AW1 и станции измерения активности воды AW-DIO. Определение активности воды. Активность воды (A_w) соответствует относительной влажности, которая достигается в равновесных условиях в герметично закрытой измерительной камере с гигроскопичным продуктом.

Определения белковых веществ (сырого протеина), небелкового азота, азота летучих оснований, аминного азота, массовой доли воды, хлористого натрия (поваренной соли), проводили по ГОСТ 7636–85 [22];

Показатели безопасности объектов исследования установлены в Техническом регламенте Евразийского экономического союза "О безопасности рыбы и рыбной продукции" (ТР ЕАЭС 040/2016) и в нормативной документации на продукцию [23]. Вялено-провесную рыбную продукцию исследовали по количеству мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) по ГОСТ 10444.15–94, бактерии группы кишечной палочки (колиформных бактерий) по ГОСТ 31747–2012, условно-патогенную микрофлору Staphylococcusaureus по ГОСТ ГОСТ 31746–2012 и патогенные микроорганизмы рода *Salmonella* по ГОСТ 31659–2012.

Результаты и обсуждение

В Мурманском государственном техническом университете на базе учебно-экспериментального цеха проведены экспериментальные работы по изготовлению формованной вялено-провесной продукции на основе филе сѐмги и трески, обогащѐнных экстрактами ценных компонентов ряда растительных ингредиентов.

На начальном этапе исследований был проведена сенсорная оценка экстрактов ряда фитопродуктов для выбора наиболее приемлемых из них. Известно, что специализированными организациями, в том числе и аптечными сетями, легитимно предлагается широкий реестр растений, практически, каждое из которых обладает определѐнными лечебно-профилактическими и тонизирующими свойствами. При разработке новой технологии вялено-провесной рыбной продукции из всего многообразия (сотен ценных представителей растительного мира) и невозможности проведения исследования их всех, решено использовать ограниченный ряд (16 фитопродуктов) для сенсорного анализа по уровню приемлемости в виде водных экстракты следующих сухих фитопродуктов шалфея лекарственного, девясила (жѐлтый цвет), цветов ромашки (ромашки аптечной), мяты перечной, золотого уса, сабельника болотного, цветков липы (липового цвета), пижмы, и цветов бессмертника песчаного, полыни обыкновенной (чернобыльника), клевера лугового, мелиссы лекарственной (медовки), подорожника, календулы (ноготки), одуванчика лекарственного (полевого), иван-чая (кипрея).

Сухие фитопродукты в мешочках из хлопчатобумажной ткани помещали в кипячѐную и охлаждѐнную до температуры (26±2) °С воду из расчѐта 10 г на 1 $дм^3$, настаивали в течение суток и подвергали сенсорному анализу группой дегустаторов (10 чел.) по приемлемости ароматики. Усреднѐнные результаты такой органолептической оценки представлены в таблице 1.

Результаты эксперимента (таблица 1) свидетельствуют о приемлемости ароматического «букета» следующих фитопродуктов, сенсорная оценка которых приближена к максимальному количеству баллов: цветов ромашки (9,4); золотого уса (9,6); цветков липы (9,6) и цветов бессмертника песчаного (9,4); которые и решено использовать в последующих экспериментах.

Особенностью разработанной технологии является слабый тузлучный законченный посол рыбы (который проводили после воздушного размораживания мороженого сырья, ополаскивания, разделки на филейчики и мойки их) с применением питьевой воды, соли поваренной пищевой и водного экстракта растительных ингредиентов сухих (цветов ромашки, золотого

уса, цветков липы и цветов бессмертника песчаного) [24]. Посол рыбы – филе атлантического лосося и филе трески массой от 100 до 150 г) проводили в ваннах со слабым солевым раствором плотностью 1,03–1,04 г/см^3 (с периодическим перемешиванием) в течение 12–96 часов в охлаждаемом крупногабаритном шкафу с температурой (4±1) ^{o} С для максимальной ароматизации и насыщения рыбы полезными фитосоединениями, а также до достижения содержания соли в филе от 2 до 3%. В результате поисковых экспериментов наиболее приемлемое соотношение рыбы, солевого раствора и водного экстракта фитопродуктов составило 1:1:0,01. Несмотря на различие в гистологической структуре и химическом составе данных видов рыб, в частности, по содержанию липидов и воды, решено проводить совместный законченный слабый посол этих гидробионтов для выравнивания солѐности их по окончанию данного процесса.

Поэтому целью следующего эксперимента явилось установление продолжительности посола филе этих видов рыб, для чего через каждые 12 часов посола определяли качественные показатели полуфабриката по его ароматизации (сенсорно) и содержанию поваренной соли (аргентометрическим методом, ГОСТ 7636–85). Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 1.

Сенсорная оценка экстрактов фитопродуктов по ароматической приемлемости

Table 1.

Results of sensory evaluation of extracts of phytoproducts on aromatic acceptability

Экстракты фитопродуктов | Extracts of phytoproducts							
Шалфей лекарственный Medicinalsage	Девясил Elecampane	Календула Marigold	Мята перечная Peppermint	Золотой ус Callisiafragrans	Сабельник болотный Marshcinquefoil	Цветкилипы Linden flowers (Tiliaeflos)	Пижма обыкновенная Commontansy
Усреднѐнная оценка дегустаторов приемлемости аромата | Average rating of flavor acceptability by tasters							
7,8	5,2	6,6	8,4	9,6	4,4	9,6	5,6
Экстракты фитопродуктов | Extracts of phytoproducts							
Цветы бессмертника Helichrysum flowers (Helichrysum arenarium)	Полынь обыкновенная Common wormwood	Клевер луговой Meadow clover	Мелисса лекарственная Melissa officinalis	Подорожник Plantain	Цветы ромашки Chamomileflowers	Одуванчик лекарственный Dandelion officinalis	Иван-чай Blooming Sally
Усреднѐнная оценка дегустаторов приемлемости аромата | Tasters' average of flavor acceptability							
9,4	4,2	4,8	7,5	6,7	9,4	4,6	8,2

Таблица 2.

Оптимальная продолжительность посола

Table2.

Results of the experiment to establish a close to optimal duration of salting

Продолжительность посола, час Duration of salting, hour	Показатели качества филе рыбы после посола Quality indicators of fish fillets after salting			
	Приемлемость (ароматика) рыбного полуфабриката после посола, баллы Acceptability (aromatics) of fish semi-product after salting, points		Содержание хлорида натрия Sodium chloride content *(NaCl)*, %	
	филе сѐмги salmon fillet	филе трески cod fillet	филе сѐмги salmon fillet	филе трески cod fillet
12	6,6	7,0	0,8±0,06	1,1±0,10
24	7,1	7,5	1,5±0,10	1,8±0,07
36	7,6	8,4	2,0±0,08	2,3±0,06
48	8,1	9,2	2,2±0,07	2,3±0,09
60	8,0	9,35	2,1±0,15	2,2±0,04
72	7,8	9,1	2,2 ±0,06	2,4±0,10
84	8,2	9,2	2,3±0,04	2,35±0,08
96	8,0	9,3	2,25±0,08	2,3±0,06

Данные, представленные в таблице 2, однозначно свидетельствуют о наиболее приемлемой продолжительности слабого законченного посола, не превышающей 2 суток.

После посола филе рыбы подвергали стеканию в течение 30 мин, затем полуфабрикат укладывали в специальные сетчатые формочки с подпрессовкой таким образом, чтобы на филейчики сѐмги (кожей вниз) накладывались примерно такие же по размерам филе-кусочки трески, и они были соединены вместе. Далее сетчатые формочки с рыбой направляли на обезвоживание в универсальную коптильно-сушильную установку (УКСУ) конструкции МГТУ. Процесс обработки формованных филейчиков рыбы воздухом температурой

20–22° С, относительной влажностью 45–50% и скоростью движения 0,5–1 м/с. Для установления динамики обезвоживания рыбы и предельной продолжительности процесса с выходом на заданные параметры (48–52%) по суммарному содержанию влаги (определяли по ГОСТ 7636–85) в продукте, а также для фиксации дегустаторами изменения вкусоароматических достоинств продукта в соответствии разработанной 20-балльной шкалой, через каждые 4 часа были проведены необходимые исследования по определению. Данные представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Качественные характеристики и предельная продолжительность обезвоживания вялено-провесного рыбного продукта

Table 3.

The results of the experiment to establish the quality characteristics and duration dehydration of dried-slung fish product

Продолжительность обезвоживания, час Duration of dehydration, hour	Показатели качества обезвоживаемого филе рыбы Quality indicators of dehydrated fish fillets		
	Органолептическая характеристика рыбного филе в процессе сушки, баллы Organoleptic characteristics of fish fillets during drying, points	Суммарное содержание воды в обезвоживаемом продукте, % Total water content in the dehydrated product, %	Данные по активности воды A_w Wateractivity data A_w
0	-	72,8±0,66	0,95
4	14,2	68,8±0,8	0,94
8	15,3	63,2±0,54	0,91
12	15,5	59,9±0,28	0,89
16	16,1	57,4±0,77	0,87
20	15,4	55,9±0,45	0,86
24	16,7	54,8 ±0,86	0,85
28	17,9	53,6±0,44	0,84
32	17,8	52,6±0,58	0,84
36	18,9	51,8±0,36	0,83
40	18,7	51,1±0,51	0,82
44	19,1	50,8±0,27	0,82
48	19,0	49,5±0,88	0,81

Результаты исследований, приведѐнные в таблице 3, свидетельствуют о наиболее приемлемой продолжительности обезвоживания, равного полутора суткам. Именно за этот период сушки стабилизируются сенсорные характеристики вялено-провесного рыбного продукта, который по содержанию воды также выходит на заданные параметры.

На основании результатов проведенных экспериментов по установленным параметрам процесса обезвоживания с помощью УКСУ были изготовлены 3 небольшие партии вялено-провесного рыбного продукта. Изготовленные вялено-провесные филейчики имели привлекательный внешний вид в виде прямоугольных брусочков, примерно одинаковых размеров, в которых сочетались красное мясо сѐмги и белое мяса трески, приятный травянисто-цветочный аромат, упругая консистенция и аппетитный вкус. Содержание *NaCl* составило 3,2–4,1%, содержание воды – 48,3–51,85% [24].

Далее формованное ароматизированное филе сѐмги и филе трески с помощью слайсера Rosso 250 ES-10 нарезали на ломтики толщиной около 1 мм, укладывали на подложки и направляли на вакуумирование и последующее хранение при температуре от 0° С до 5° С для установления сроков годности его.

Отбор формованных образцов вялено-провесной проводили по ГОСТ 31339–2006 через 20 суток в течение восьмидесятисуточного периода хранения. Образцы трѐх небольших партий вялено-провесной рыбы подвергали исследованиям по органолептическим, химическим и микробиологическим показателям.

Образцы вялено-провесной рыбы оценивали по 20-балльной шкале с учѐтом коэффициентов значимости сенсорных показателей качества [21].

Результаты органолептической оценки образцов вялено-провесного формованного рыбного продукта в процессе 80-суточного хранения представлены на рисунке 8.

Из рисунка 8 следует, что образцы, имевшие более высокие показатели качества в самом начале хранения, в основном сохранили эти значения и по истечении 2-х месячного срока хранения (среднее значение – 17,5 баллов), а затем качественные значения существенно снизились до удовлетворительных.

Изменение химических показателей вялено-провесной рыбы в процессе хранения (рисунки 9–11) носят в целом однозначный характер.

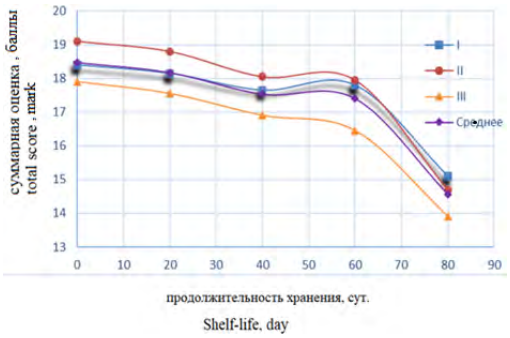


Рисунок 8. Изменение сенсорных показателей (суммарная оценка) рыбы вялено-провесной в процессе хранения по трём партиям рыбы

Figure 8. Change in sensory indicators (total score) of dried-sag fish during storage for three batches of fish

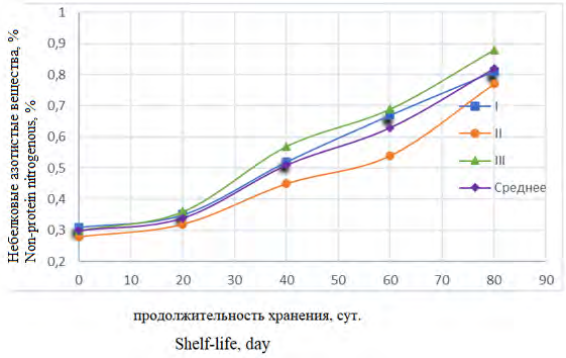


Рисунок 9. Изменение содержания небелковых азотистых веществ (НБА) в процессе хранения

Figure9. Changes in the content of non-protein nitrogenous substances during storage

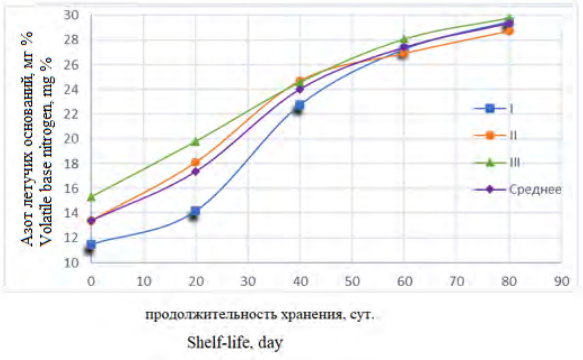


Рисунок 10. Изменение содержания азота летучих оснований (АЛО) в процессе хранения

Figure10. Changes in the content of volatile base nitrogen (NVB) during storage

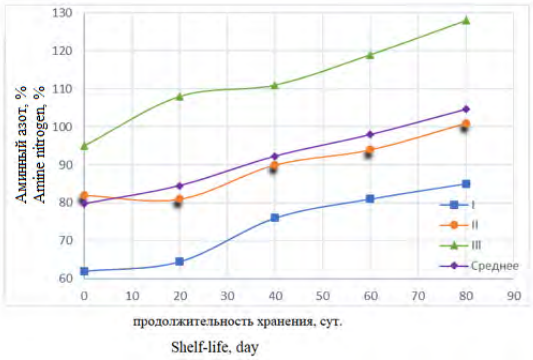


Рисунок 11. Изменение содержания аминного азота (АА) в процессе хранения

Figure 11. Changes in the content of amine nitrogen (AN) during storage

Можно отметить прежде всего то, что количество всех небелковых азотистых соединений нарастает с увеличением продолжительности хранения. Увеличение содержания таких соединений (рисунки 9–11), обусловлено преимущественно процессами протеолитических изменений белков мышечной ткани рыб – сёмги и трески.

Образцы рыбы исследовали по наличию бактерий группы кишечной палочки, патогенного стафилококка, сальмонеллы и общему количеству мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (МАФАнМ). Результаты микробиологических исследований по изменению количества МАФАнМ представлены на рисунке 12.

Анализ данных рисунка 12 свидетельствует о том, что вялено-провесная рыба выдержала двухмесячный срок хранения в соответствии с требованиями к безопасности рыбной продукции действующего технического регламента ТР ЕАЭС 040/2016 [24] по наличию МАФАнМ.

Микробиологическими исследованиями также было установлено, что бактерии группы кишечной полочки, патогенные стафилококки и сальмонеллы отсутствуют (по ЕАЭС 040/2016 не допускаются).

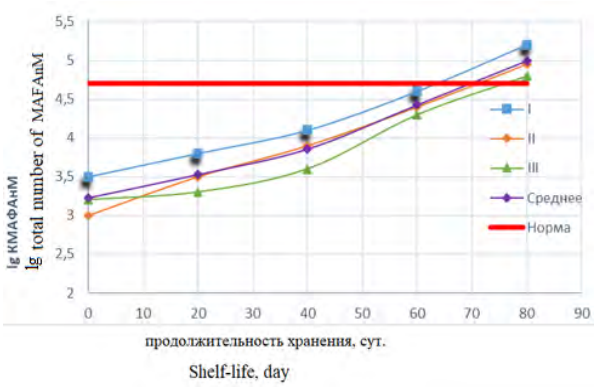


Рисунок 12. Изменение общего количества МАФАнМ (мезофильные аэробные и факультативно-анаэробные микроорганизмы) в процессе хранения: I, II, III – опытные образцы; жирная линия красным цветом – нормативное значение 5×10^4кл/г [23]

Figure 12. Change in the total number of MAFAnM (mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms) during storage: I, II, III-experimental samples; bold line in red-the standard value 5×10^4 kl/g [23]

На основании результатов проведѐнных органолептических, химических и микробиологических исследований установлена приемлемая продолжительность хранения (срок годности) при температуре 0 – минус 5 °С вялено-провесной вакуумированной рыбы, равная двум месяцам. По результатам проведѐнных экспериментов разработаны ТУ и ТИ на новый вид вялено-провесной формованной рыбы.

Заключение

1. Проведено исследование потребительских предпочтений вяленой и провесной рыбной продукции среди респондентов, регулярно посещающих крупные торговые площадки в городе Мурманске, и установлено, что более двух третей опрашиваемых предпочитают приобретать такие продукты высокого качества и негативно относятся к неоправданно завышенной цене на неѐ.

2. Аналитические и экспериментальные исследования позволили провести подбор в качестве основного рыбного сырья для изготовления вялено-провесной продукции сѐмгу и треску, а также выбрать в качестве наиболее приемлемых фитопродуктов для использования их экстрактов при посоле – цветы ромашки; золотой ус; цветки липы и цветы бессмертника песчаного.

3. Проведенными экспериментами по посолу филе атлантического лосося и филе трески в слабом солевым растворе с фитоэкстрактом, при соотношении рыбы, солевого раствора и водного экстракта фитопродуктов 1:1:0,01 установлена наиболее приемлемая продолжительность слабого законченного посола, не превышающая 48 час.

4. Исследованиями в процессе сушки продукта через каждые 4 часа по сенсорным характеристикам, содержанию и активности воды A_w, установлена наиболее приемлемая продолжительность обезвоживания, не превышающая 36 часов. Проведѐнными экспериментами показана возможность изготовления нового вялено-провесного формованного рыбного продукта с улучшенными свойствами, в котором гармонично сочетается слабосолѐное филе сѐмги и филе трески, обогащѐнных ценными растительными ингредиентами.

5. Результаты исследования органолептических, химических и микробиологических показателей вялено-провесной вакуумированной рыбы в процессе хранения при температуре от 0 до 5 °С позволили установить еѐ приемлемую продолжительность, равную двум месяцам.

Литература

1 Итоги деятельности Федерального агентства по рыболовству в 2019 году: материалы Коллегии // Федеральное агентство по рыболовству. URL: http://fish.gov.ru/files/documents/ob_agentstve/kollegiya/itogi_2020.pdf

2 Обзор рынка рыбы, рыбопродуктов и морепродуктов в России в 2016–2018 гг. // Грифон-Эксперт. URL: http://grifon-expert.ru/obzory/101-obzor-rynka-ryby-ryboproduktov-i-reproduktov-2016–2018-gg.html

3 Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации № 1364-р от 29.06.2016 г. URL: http://docs.cntd.ru/document/420363999

4 Атлантический лосось. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Атлантический_лосось

5 Нефедов В.А. Треска – источник полезных веществ при диетах. URL: https://okvitamin.org/v-produktakh/ryba-moreprodukty/treska-istochnik-poleznykh-veshchestv-pri-dietakh.html

6 Bruni L., Belghit I., Lock E.J., Secci G. et al. Total replacement of dietary fish meal with black soldier fly (Hermetia illucens) larvae does not impair physical, chemical or volatile composition of farmed Atlantic salmon (Salmo salar L.) //Journal of the Science of Food and Agriculture. 2020. V. 100. №. 3. P. 1038-1047. doi: 10.1002/jsfa.10108

7 ГОСТ 3948–2016. Филе рыбы мороженое. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2016. 15 с.

8 Треска атлантическая. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/

9 Треска калорийность. Химический состав и пищевая ценность. URL: https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/401.php

10 Ween O., Stangeland, J.K., Fylling T.S., Aas G.H. Nutritional and functional properties of fishmeal produced from fresh by-products of cod (Gadus morhua L.) and saithe (Pollachius virens) // Heliyon. 2017. V. 3. №. 7. P. e00343. doi: 10.1016/j.heliyon. 2017. e00343

11 ГОСТ 32006–2012. Филе трески без кожи подпрессованное мороженое. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с.

12 Укрепление здоровья. Эффективные упражнения и способы. URL: http: www.ukzdor.ru/romashka.html

13 Cvetanović A., Švarc-Gajić J., Zeković Z., Gašić U. et al. Subcritical water extraction as a cutting edge technology for the extraction of bioactive compounds from chamomile: Influence of pressure on chemical composition and bioactivity of extracts // Food chemistry. 2018. V. 266. P. 389-396. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.06.037

14 Антонова Л. Золотой ус. Исцеляющие рецепты. URL: http://www.universalinternetlibrary.ru/book/37478/ ogl.shtml#t6

15 Phan L.T.M. et al. Supercritical Fluid Extraction of Polyphenols from Vietnamese Callisia fragrans Leaves and Antioxidant Activity of the Extract // Journal of Chemistry. 2020. V. 2020. doi: 10.1155/2020/9548401

16 Энциклопедия медикаментов. Цветки липы: состав, лечебные свойства и противопоказания. URL: https://lekarstva.guru/l/tsvetki-lipy-sostav-lechebnye-svojstva-i-protivopokazaniya.html

17 Ziaja M., Pawłowska K.A., Józefczyk K., Pruś A. et al. UHPLC-DAD-MS/MS analysis of extracts from linden flowers (Tiliae flos): Differences in the chemical composition between five Tilia species growing in Europe // Industrial Crops and Products. 2020. V. 154. P. 112691. doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112691

18 Фармакопейная статья ФС-42 Цветки бессмертника песчаного. Министерство здравоохранения РФ. Государственный стандарт качества лечебного средства. URL: http://minzdrav.gov.ru

19 Народная медицина. URL: http://n-retsept.ru/bessmertnik.html

20 Pljevljakušić D., Bigović D., Janković T., Jelačić S. et al. Sandy everlasting (Helichrysum arenarium (L.) Moench): Botanical, chemical and biological properties // Frontiers in plant science. 2018. V. 9. P. 1123. doi: 10.3389/fpls.2018.01123

21 Благонравова М.В., Грицаенко Л.Д. Разработка рецептуры вяленой рыбы с растительными добавками // Вестник КамчатГТУ. 2016. № 37. С. 25–30. doi: 10.17217/2079–0333–2016–37–25–30

22 ГОСТ 7636–85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/12596/

23 Технический регламент Евразийского Экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции» (ТР ЕАЭС 040/2016). Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 18 октября 2016 г. № 162.

24 Лыжин Е.В., Гроховский В.А. К разработке технологии вялено-провесной формованной рыбной продукции с улучшенными свойствами // Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств: материалы междунар. науч.-практ. конф. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2018. С. 189–195.

References

1 Results of the activities of the Federal Agency for Fisheries in 2019: materials of the Collegium. Federal Agency for Fisheries. Available at: http://fish.gov.ru/files/documents/ob_agentstve/kollegiya/itogi_2020.pdf (in Russian).

2 Overview of the fish, fish products and seafood market in Russia in 2016–2018. Griffin-Expert. Available at: http://grifon-expert.ru/obzory/101 obzor-rynka-ryby-ryboproduktov-i-reproduktov 2016–2018 gg.html (in Russian).

3 Strategy for improving the quality of food products in the Russian Federation until 2030: Order of the Government of the Russian Federation No. 1364 r dated June 29, 2016. Available at: http://docs.cntd.ru/document/420363999 (in Russian).

4 Atlantic salmon. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Atlantic_salmon (in Russian).

5 Nefedov V.A. Cod is a source of nutrients for diets. Available at: https://okvitamin.org/v-produktakh/ryba-moreprodukty/treska-istochnik-poleznykh-veshchestv-pri-dietakh.html (in Russian).

6 Bruni L., Belghit I., Lock E.J., Secci G. et al. Total replacement of dietary fish meal with black soldier fly (Hermetia illucens) larvae does not impair physical, chemical or volatile composition of farmed Atlantic salmon (Salmo salar L.). Journal of the Science of Food and Agriculture. 2020. vol. 100. no. 3. pp. 1038-1047. doi: 10.1002/jsfa.10108

7 GOST 3948-2016. Fish fillet frozen. Technical conditions. Moscow, Standartinform, 2016. 15 p. (in Russian).

8 Atlantic cod. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/ (in Russian).

9 Cod calorie content. Chemical composition and nutritional value. Available at: https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/401.php (in Russian).

10 Ween O., Stangeland, J.K., Fylling T.S., Aas G.H. Nutritional and functional properties of fishmeal produced from fresh by-products of cod (Gadus morhua L.) and saithe (Pollachius virens). Heliyon. 2017. vol. 3. no. 7. pp. e00343. doi: 10.1016/j.heliyon. 2017. e00343

11 GOST 32006–2012. Skinless cod fillet, pressed ice cream. Technical conditions. Moscow, Standartinform, 2019. 8 p. (in Russian)

12 Health promotion. Effective exercises and methods. Available at: http: www.ukzdor.ru/romashka.html (in Russian).

13 Cvetanović A., Švarc-Gajić J., Zeković Z., Gašić U. et al. Subcritical water extraction as a cutting edge technology for the extraction of bioactive compounds from chamomile: Influence of pressure on chemical composition and bioactivity of extracts. Food chemistry. 2018. vol. 266. pp. 389-396. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.06.037

14 Antonova L. Golden mustache. Healing recipes. Available at: http://www.universalinternetlibrary.ru/book/37478/ogl.shtml#t6 (in Russian).

15 Phan L.T.M. et al. Supercritical Fluid Extraction of Polyphenols from Vietnamese Callisia fragrans Leaves and Antioxidant Activity of the Extract. Journal of Chemistry. 2020. vol. 2020. doi: 10.1155/2020/9548401

16 Encyclopedia of Medicines. Linden flowers: composition, medicinal properties and contraindications. Available at: https://lekarstva.guru/l/tsvetki-lipy-sostav-lechebnye-svojstva-i-protivopokazaniya.html (in Russian).

17 Ziaja M., Pawłowska K.A., Józefczyk K., Pruś A. et al. UHPLC-DAD-MS/MS analysis of extracts from linden flowers (Tiliae flos): Differences in the chemical composition between five Tilia species growing in Europe. Industrial Crops and Products. 2020. vol. 154. pp. 112691. doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112691

18 Pharmacopoeia monograph FS 42 Flowers of the sandy immortelle. Ministry of Health of the Russian Federation. State standard for the quality of a medicinal product. Available at: http://minzdrav.gov.ru (in Russian).

19 Traditional medicine. Available at: http://n-retsept.ru/bessmertnik.html (in Russian).

20 Pljevljakušić D., Bigović D., Janković T., Jelačić S. et al. Sandy everlasting (Helichrysum arenarium (L.) Moench): Botanical, chemical and biological properties. Frontiers in plant science. 2018. vol. 9. pp. 1123. doi: 10.3389/fpls.2018.01123

21 Blagonravova M.V., Gritsaenko L.D. Development of recipes for dried fish with herbal supplements. Vestnik KamchatGTU. 2016. no. 37. pp. 25–30. doi: 10.17217/2079-0333-2016-37-25-30 (in Russian).

22 GOST 7636–85. Fish, marine mammals, marine invertebrates and products of their processing. Analysis methods. Available at: https://internet-law.ru/gosts/gost/12596/ (in Russian).

23 Technical Regulations of the Eurasian Economic Union "On the safety of fish and fish products" (TR EAEU 040/2016). Decision of the Council of the Eurasian Economic Commission dated October 18, 2016 no. 162. (in Russian).

24 Lyzhin E.V., Grokhovsky V.A. Towards the development of technology for dried-slung molded fish products with improved properties. Modern ecological-biological and chemical research, technology and production technology: materials of the international scientific conference. scientific-practical conf. Murmansk: Publishing house of MSTU, 2018. pp. 189–195. (in Russian).

Сведения об авторах

Евгений В. Лыжин аспирант, кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, evlyzhin@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5869-2180
Владимир А. Гроховский д.т.н., профессор, кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, v.grokhosky@mail.ru
https://orcid.org/ 0000-0002-1892-0257
Михаил А. Ершов к.т.н., ст. науч. сотр., кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия,eshovma@mstu.edu.ru
https://orcid.org/0000-0002-5072-2322
Сергей Ю. Дубровин к.т.н., профессор, кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, dubrovinsyu@mstu.edu.ru
https://orcid.org/0000-0003-4049-2807
Светлана С. Дубровина аспирант, кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, ssdubrovina21@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-0515-1513

Information about authors

Evgenij V. Lyzhin graduate student, food production technology department, Murmansk State Technical University, str. Sportivnaya, 13, Murmansk, 183010, Russia, evlyzhin@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5869-2180
Vladimir A. Grohovskiy Dr. Sci. (Engin.), professor, food production technology department, Murmansk State Technical University, str. Sportivnaya, 13, Murmansk, 183010, Russia, v.grokhosky@mail.ru
https://orcid.org/ 0000-0002-1892-0257
Mikhail A. Ershov Cand. Sci. (Engin.), senior researcher, food production technology department, Murmansk State Technical University, str. Sportivnaya, 13, Murmansk, 183010, Russia, eshovma@mstu.edu.ru
https://orcid.org/0000-0002-5072-2322
Sergey Yu. Dubrovin Cand. Sci. (Engin.), professor, food production technology department, Murmansk State Technical University, str. Sportivnaya, 13, Murmansk, 183010, Russia,dubrovinsyu@mstu.edu.ru
https://orcid.org/0000-0003-4049-2807
Svetlana S. Dubrovina graduate student, food production technology department, Murmansk State Technical University, str. Sportivnaya, 13, Murmansk, 183010, Russia,ssdubrovina21@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-0515-1513

Вклад авторов

Евгений В. Лыжин написал рукопись, корректировал еѐ до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Владимир А. Гроховский, **Сергей Ю. Дубровин** консультация в ходе исследования
Михаил А. Ершов, **Светлана С. Дубровина** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, выполнение расчѐтов

Contribution

Evgenij V. Lyzhin wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Vladimir A. Grohovskiy, **Sergey Yu. Dubrovin** consultation during the study
Mikhail A. Ershov, Svetlana S. Dubrovina review of the literature on an investigated problem, performed computations

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 26/01/2021	**После редакции** 16/02/2021	**Принята в печать** 01/03/2021
Received 26/01/2021	**Accepted in revised** 16/02/2021	**Accepted** 01/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-204-210 Оригинальная статья/Research article
УДК 640 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Биологически активные ингредиенты животного происхождения в технологии производства кисломолочных напитков

Людмила Э. Глаголева [1] tigd2013@mail.ru 0000-0002-3222-301X
Нататья П. Зацепилина [1] nataha.zatsepilina@ya.ru
Максим В. Копылов [1] kopylov-maks@ya.ru 0000-0003-2678-2613
Сергей О. Родионов [1] dlee1994@yandex.ru

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Ведущим направлением в области питания является создание ассортимента продуктов, способствующего улучшению здоровья при их ежедневном употреблении в составе рациона. Обоснована актуальность изучения коровьего молозива-колострума, представляющего собой иммуно-моделирующее животное сырье. Колострум является натуральным источником всех необходимых компонентов для создания иммунитета. Биологически активные вещества, содержащиеся в коровьем колоструме, способствуют: восстановлению иммунитета; восстановлению работы кишечника и желудка; укреплению нервной системы; обновлению клеток головного мозга; улучшению эмоционального тонуса и настроения; повышению жизнеспособности и работоспособности; замедлению процесса старения; защите от заболеваний кишечника и желудка, сердечно-сосудистой системы, дыхательных путей, диабета, аллергии, остеопороза и ряда других заболеваний. Колострум содержит минимум 37 иммунных факторов и 8 факторов роста, которые помогают организму победить заболевания и способствуют хорошему здоровью и долголетию. Изучены классы иммуноглобулинов, содержащиеся в колоструме, которые и представляют основную массу сывороточных белков. Колострум – ограниченный источник сырья, период его производства короткий, существует много возможностей для промышленного использования, но из-за небольшого количества сырья рынок остается неразвитым, за исключением пищевых добавок. С учетом обширных терапевтических и лечебных свойств колострума, его уникального состава и свойств, были исследованы его состав и физико-химические свойства, определены параметры фракционирования с применением различных систем. Для обработки экспериментальных исследований был применен программный комплекс STATISTICA 12. Для получения уравнения регрессии матричные данные были обработаны при помощи программного комплекса Microsoft Excel 2010. Анализ полученных данных, свидетельствует о возможности и перспективности использования колострома в технологии производства пищевых продуктов.

Ключевые слова: кисломолочные напитки, колострум, иммуноглобулины, композиционные основы, животное сырье

Optimization of the process of mixing liquid-phase heterogeneous products

Lyudmila E. Glagoleva [1] tigd2013@mail.ru 0000-0002-3222-301X
Natalia P. Zatsepilina [1] nataha.zatsepilina@ya.ru
Maxim V. Kopylov [1] kopylov-maks@ya.ru 0000-0003-2678-2613
Sergey O. Rodionov [1] dlee1994@yandex.ru

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The leading direction in the field of nutrition is the creation of a range of products that contribute to improving health when they are used daily in the diet. The urgency of studying bovine colostrum-colostrum, which is an immune-modeling animal raw material, has been substantiated. Colostrum is a natural source of all the ingredients needed to build immunity. Biologically active substances contained in cow colostrum contribute to: restoration of immunity; restoration of the intestines and stomach; strengthening the nervous system; renewal of brain cells; improving emotional tone and mood; increasing vitality and performance; slowing down the aging process; protection against diseases of the intestines and stomach, cardiovascular system, respiratory tract, diabetes, allergies, osteoporosis and a number of other diseases. Colostrum contains a minimum of 37 immune factors and 8 growth factors that help the body fight disease and promote good health and longevity. The classes of immunoglobulins contained in colostrum, which represent the bulk of whey proteins, have been studied. Colostrum is a limited source of raw materials, its production period is short, there are many opportunities for industrial use, but due to the small amount of raw materials, the market remains undeveloped, with the exception of food additives. Taking into account the extensive therapeutic and medicinal properties of colostrum, its unique composition and properties, its composition and physicochemical properties were investigated, the fractionation parameters were determined using various systems. To process the experimental studies, the STATISTICA 12 software package was used. To obtain the regression equation, the matrix data were processed using the Microsoft Excel 2010 software package. The analysis of the data obtained indicates the possibility and prospects of using colostroma in food production technology.

Keywords: fermented milk drinks, colostrum, immunoglobulins, composite bases, animal raw

Для цитирования
Глаголева Л.Э., Зацепилина Н.П., Копылов М.В., Родионов С.О. Биологически активные ингредиенты животного происхождения в технологии производства кисломолочных напитков // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 204–210. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-204-210

For citation
Glagoleva L.E., Zatsepilina N.P., Kopylov M.V., Rodionov S.O. Optimization of the process of mixing liquid-phase heterogeneous products . *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 204–210. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-204-210

© 2021, Глаголева Л.Э. и др. / Glagoleva L.E. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Проблемы оздоровления населения, проживающих в экологически неблагоприятных регионах или работающего во вредных для здоровья производства, является одной из актуальных задач, стоящих перед пищевой промышленностью. Ведущим направлением в области питания является создание ассортимента продуктов, способствующего улучшению здоровья при их ежедневном употреблении в составе рациона.

Цель работы – изучение возможности использования колострума в технологии производства кисломолочных напитков функционального назначения.

Материалы и методы

Колострум – это секрет, выделяемый молочными железами женских особей млекопитающих в первые часы или сутки после родов, до появления материнского молока [1, 2].

Биологическое действие колострума – выраженное иммунопротекторное (особенно в отношении защиты от инфекции слизистых желудочно-кишечного тракта и дыхательной системы), иммунорегулирующее при аутоиммунных заболеваниях и аллергических состояниях, защищающее и восстанавливающее слизистую желудочно-кишечного тракта, питательное, регенерационное, омолаживающее [3].

Колострум является натуральным источником всех необходимых компонентов для создания иммунитета. Биологически активные вещества, содержащиеся в коровьем колострум, способствуют: восстановлению иммунитета; восстановлению работы кишечника и желудка; укреплению нервной системы; обновлению клеток головного мозга; улучшению эмоционального тонуса и настроения; повышению жизнеспособности и работоспособности; замедлению процесса старения; защите от заболеваний кишечника и желудка, сердечно-сосудистой системы, дыхательных путей, диабета, аллергии, остеопороза и ряда других заболеваний. Колострум содержит минимум 37 иммунных факторов и 8 факторов роста, которые помогают организму победить заболевания и способствуют хорошему здоровью и долголетию [3, 5].

Белковый компонент колострума представлен в основном сывороточными белками – альбуминами и глобулинами. Казеин появляется лишь с 3–4 дня лактации, количество его постепенно нарастает, но не преобладает. Отношение суммы сывороточных белков к казеину в молоке составляет 80:20. Сывороточная фракция содержит иммунокомпетентные белки – иммуноглобулины всех классов, лизоцим, лактоферрин и др. В колострум больше незаменимых аминокислот, и, кроме того, альбумины колострума мелко дисперсны, поэтому эта фракция белка легче переваривается, не требует большого количества пищеварительных соков и не вызывает напряжения в работе пищеварительного тракта.

Установлено также, что частицы казеина колострума в процессе свертывания в желудке образуют нежные, мелкие, легко перевариваемые хлопья. Аминокислотный состав колострума представлен уникальным составом в виде триптофана, метионина, гистидина, лейцина и цистина, обеспечивающим интенсивные процессы роста и развития новорожденного. Исследования последних лет позволили выявить в колострум аминокислоту таурин, которой придается большое значение как фактору модулятора роста, определяющему структурную и функциональную целостность клеточных мембран. Помимо таурина к модуляторам роста относят этаноламин, фосфоэтаноламин, а также гормоноподобные белки, которые играют значительную роль в обеспечении роста нервных клеток, а также эпидермального покрова [4].

В колострум содержится большой комплекс иммунологически активных веществ и клеточных компонентов, обеспечивающих необходимый уровень защиты от инфекционных агентов. Прежде всего, это IgA, IgG, IgM (таблица 1).

Таблица 1.

Содержание иммуноглобулинов в молоке и колострум

Table 1.

The content of immunoglobulins in milk and colostrum

Группа иммуноглобулинов Immunoglobulin group	Молекулярная масса, Д Molecular weight, D	Массовая доля, % | Mass fraction, %	
		В молоке In milk	В колострум In colostrum
IgG1	146–162	0,03–0,06	1,5–18,0
IgG2	146–154	0,006–0,012	0,1–0,3
IgG (общее количество) | IgG (total)		0,015–0,08	2,0–20,0
IgA	385–430	0,005–0,01	0,1–0,6
IgM	900	0,004–0,01	0,3–0,9

Жировой компонент колострума характеризуется высокой степенью дисперсности, низким содержанием насыщенных жирных кислот, высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот. Содержание жира нестабильно, оно увеличивается на протяжении лактационного периода, а также возрастает в течение дня и кормления. В колострume отмечено высокое содержание линолевой и олеиновой кислот, высокая концентрация фосфатидов [4, 9–14].

Содержание углеводов в колострume представлено в основном молочным сахаром – β-лактозой (90%), количество которой по мере созревания молока увеличивается. Большая часть лактозы подвергается расщеплению в тонкой кишке. Однако небольшое количество лактозы в нерасщепленном виде попадает в толстую кишку, где под действием бифидумбактерий ферментируется в молочную кислоту [15].

В колострume содержатся витамины: B_2, B_6, B_{12}, A, C, E. Минералы: железо, кальций, фосфор, калий, натрий, хлорид, цинк, магний, марганец, свинец. Иммуноглобулины, а также лактоферрин и другой белок – лизоцим, относящийся к ферментам молока, обладают антибактериальными свойствами, IgG составляет 70–80% от их общего количества [6, 16].

Бактерицидное действие лактоферрина заключается в конкурирующем связывании железа, необходимого для роста микроорганизмов [8, 17].

В довольно высоких концентрациях в колострume содержится лизоцим. Попадая в пищеварительный тракт новорожденного, он оказывает мощное нормализующее влияние на состав микробной флоры полости рта и кишечника. Лизоцим колострума в 100 раз активнее лизоцима коровьего молока. Он не только подавляет рост патогенной флоры, но и способствует росту бифидофлоры в кишечнике [5, 6, 18].

К наиболее важным ферментам, содержащимся в колострume, относится пепсиноген, трипсин, амилаза, липаза.

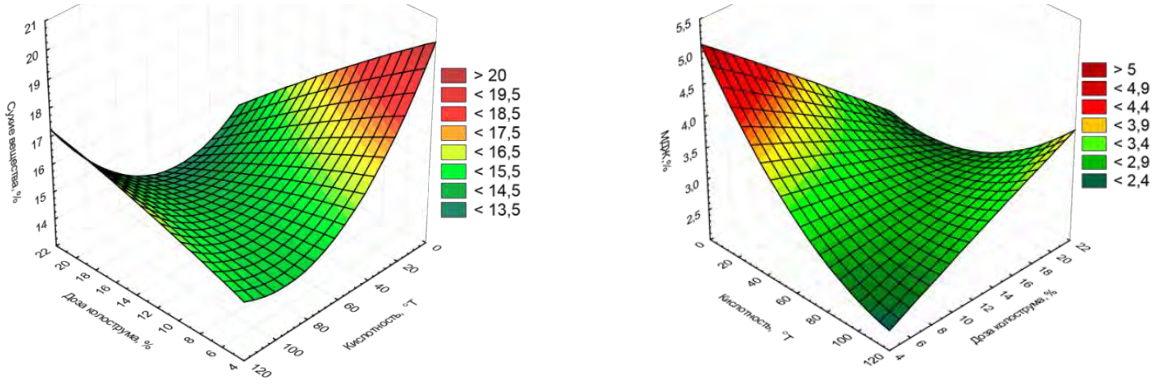
Колострум содержит цитокины это – промежуточные связующие вещества клеток, регулирующие равновесие всасываемой жидкости и стимулирующие работу клеток, обеспечивают межклеточное взаимодействие в иммунной системе, в их состав входит интерферон. Они укрепляют иммунную систему, стимулируют производство иммуноглобулинов, обладают противовоспалительным
и противоопухолевым действиями [8, 19, 20].

Все вышесказанное определило возможность использования колострума в технологии производства пищевых продуктов для различных групп населения для повышения защитных систем организма.

В ходе выполнения исследований были составлены композиционные основы с добавлением колострума, количество которого варьировали в интервале 5–20%, с учетом органолептических, физико-химических, показателей и интенсивности кислотообразования.

В качестве закваски использовали закваску из термофильного молочнокислого стрептококка и болгарской палочки $СТБ_{п.}$ Полученные результаты представлены в виде зависимости на рисунке 1.

Для обработки экспериментальных исследований был применен программный комплекс STATISTICA 12.



(а) (б)

Рисунок 1. Зависимости физико-химических показателей композиционных основ с использованием закваски из термофильного молочнокислого стрептококка и болгарской палочки $СТБ_{п}$: а – зависимость сухих веществ и кислотности от дозы внесения колострума; б – зависимость МДЖ и кислотности от дозы внесения колострума при времени ферментации 3,5 ч

Figure 1. Dependences of physicochemical parameters of composite bases using a starter culture from thermophilic lactic acid streptococcus and Bulgarian bacillus STB_p: a – dependence of dry matter and acidity on the dose of colostrum; b – dependence of MFF and acidity on the dose of colostrum addition at a fermentation time of 3.5 h

Таблица 2.

Органолептическая оценка образцов

Table 2.

Organoleptic evaluation of samples

Доза колострума, % Colostrum dose, %	Органолептическая оценка образцов Organoleptic evaluation of samples
5	Внешний вид и консистенция: однородная, в меру вязкая; вкус и запах: кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов; цвет: молочно-белый, равномерный по всей массе. Appearance and consistency: homogeneous, moderately viscous; taste and smell: sour milk, without foreign tastes and odors; color: milky white, uniform throughout the mass.
10	Внешний вид и консистенция: однородная, в меру вязкая; вкус и запах: кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов; цвет: молочно-белый, равномерный по всей массе. Appearance and consistency: homogeneous, moderately viscous; taste and smell: sour milk, without foreign tastes and odors; color: milky white, uniform throughout the mass.
15	Внешний вид и консистенция: однородная, вязкая; вкус и запах: кисломолочный, с легким солоноватым привкусом молозива; цвет: молочно-белый, равномерный по всей массе. Appearance and consistency: homogeneous, viscous; taste and smell: fermented milk, with a slight salty taste of colostrum; color: milky white, uniform throughout the mass.
20	Внешний вид и консистенция: однородная, в меру вязкая; вкус и запах: кисломолочный, солоноватый; цвет: слегка желтоватый, равномерный по всей массе. Appearance and consistency: homogeneous, moderately viscous; taste and smell: sour milk, salty; color: slightly yellowish, uniform throughout the mass.

Результаты

Для получения уравнения регрессии матричные данные были обработаны при помощи программного комплекса Microsoft Excel 2010.

Уравнения регрессии в физических переменных имеет вид:

$$СВ, \% = 21,3234 - 0,2765x_1 - 0,1295x_2 -$$
$$-0,0018x_1^2 + 0,0037x_1x_2 + 0,0006x_2^2$$
$$МДЖ, \% = 5,6595 - 0,0484x_3 - 0,1337x_1 +$$
$$+0,0001x_3^2 + 0,0019x_3x_1 - 0,0004x_1^2$$

где x_1 – доза колострума, %, x_2 – кислотность, °Т, x_3 – кислотность, °Т.

Процесс кислотообразования композиционных основ с использованием закваски из термофильного молочнокислого стрептококка и болгарской палочки представлен на рисунке 2.

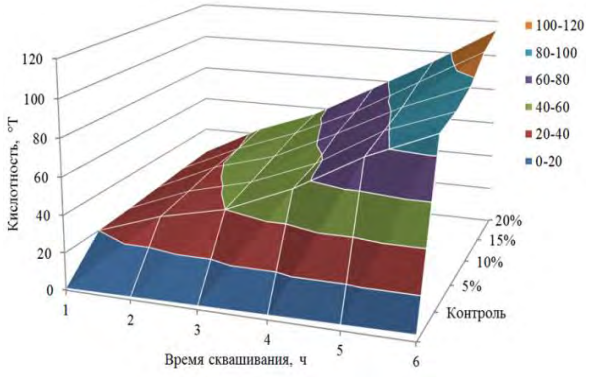


Рисунок 2. Процесс кислотообразования композиционных основ с использованием закваски из термофильного молочнокислого стрептококка и болгарской палочки $СТБ_п$

Figure 2. The process of acid formation of composite bases using a starter culture from thermophilic lactic acid streptococcus and Bulgarian bacillus STB_p

Обсуждение

Анализ полученных данных показывает, что нарастание кислотности в композиционной основе с добавлением колострума происходит интенсивнее и опережает контроль на 0,5 часа, с учетом органолептических показателей определено количество вносимого биологически активного животного сырья – 10% от массы нормализованной смеси.

В результате проведенных исследований разработана технологическая схема производства кисломолочного напитка «Иммулин», которая отличается от традиционной схемы производства тем, что колострум перед внесением в систему пастеризуется отдельно при температуре 70 ± 2°С в течение 10 мин, а затем в асептических условиях вносится в нормализованную смесь. Внесение колострума и пастеризация его вместе с нормализованной смесью не представляет возможности, так как при производстве кисломолочных напитков используют жесткие режимы пастеризации.

В ходе проведения работы исследован аминокислотный состав разработанного продукта (рисунок 3).

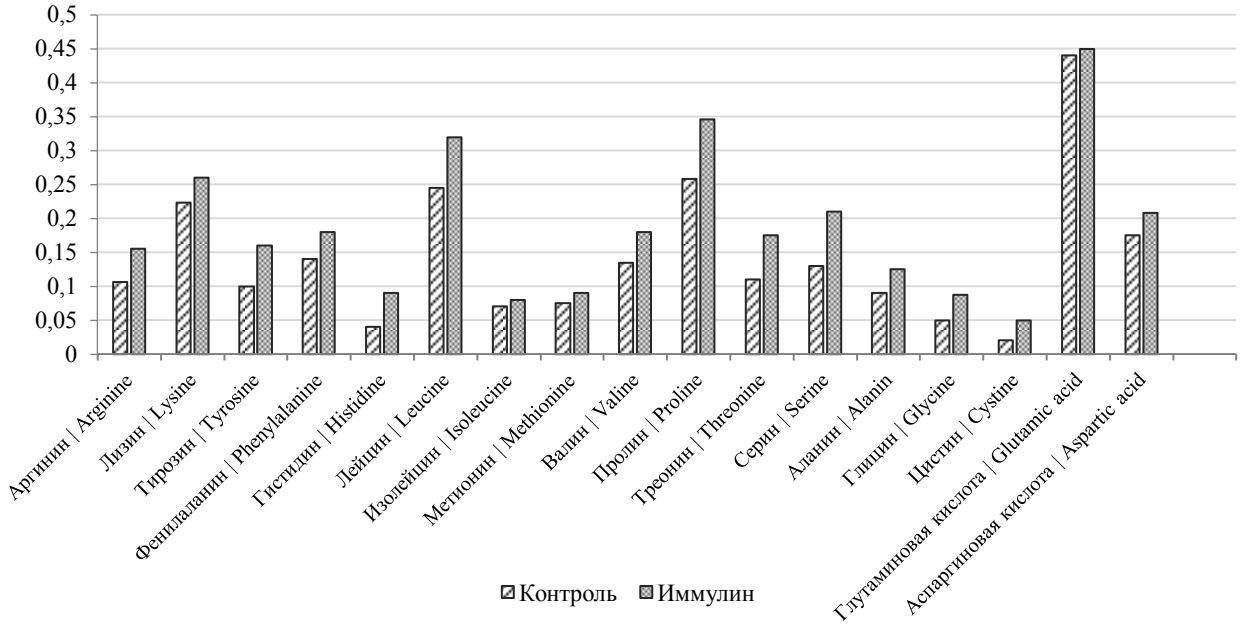


Рисунок 3. Сравнительная характеристика аминокислотного состава контроля и «Иммулина»

Figure 3. Comparative characteristics of the amino acid composition of the control and "Immulin"

Заключение

Анализ полученных данных, свидетельствует о возможности и перспективности использования колострома в технологии производства пищевых продуктов.

Литература

1 Лозовская Д.С., Филатова О.Ю., Дымар О.В. Динамика реологических и физико-химических показателей колострума крупного рогатого скота в течение начального периода лактации // ББК 4 С 56. 2018. С. 49.

2 Лозовская Д.С., Дымар О.В. Изучение особенностей процесса гомогенизации молозива. 2019.

3 Фомкина И.Н. Разработка технологии производства продуктов с использованиием молочной сыворотки // ББК 4 С 56. 2018. С. 121.

4 Hurley W.L., Theil P.K. Perspectives on immunoglobulins in colostrum and milk // Nutrients. 2011. V. 3. №. 4. P. 442-474. doi: 10.3390/nu3040442

5 McGrath B.A., Fox P.F., McSweeney P.L., Kelly A.L. Composition and properties of bovine colostrum: a review // Dairy Science & Technology. 2016. V. 96. №. 2. P. 133-158. doi: 10.1007/s13594-015-0258-x

6 Bartier A.L., Windeyer M.C., Doepel L. Evaluation of on-farm tools for colostrum quality measurement // Journal of Dairy Science. 2015. V. 98. №. 3. P. 1878-1884. doi: 10.3168/jds.2014-8415

7 Родионова Н.С., Глаголева Л.Э., Ольховская Ж.В. Влияние ферментативно-полисахаридных комплексов на фракционирование иммуносодержащих биосистем // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. С. 316.

8 Родионова Н.С., Глаголева Л.Э., Ольховская Ж.В. Изучение функционально-технологических свойств белоксодержащих фракций колострума // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 4. С. 67–69.

9 Godhia M.L., Patel N. Colostrum–its Composition, Benefits as a Nutraceutical–A Review // Current Research in Nutrition and Food Science Journal. 2013. V. 1. №. 1. P. 37-47. doi: 10.12944/CRNFSJ.1.1.04

10 Quesnel H., Farmer C., Theil P.K. Colostrum and milk production // The gestating and lactating sow. 2015. V. 173. P. 192.

11 Quesnel H. Colostrum production by sows: variability of colostrum yield and immunoglobulin G concentrations // Animal. 2011. V. 5. №. 10. P. 1546-1553. doi: 10.1017/S175173111100070X

12 Quigley J.D., Lago A., Chapman C., Erickson P. et al. Evaluation of the Brix refractometer to estimate immunoglobulin G concentration in bovine colostrum // Journal of dairy science. 2013.V. 96. №. 2. P. 1148-1155. doi.org/10.3168/jds.2012-5823

13 Morrill K.M. et al. Nationwide evaluation of quality and composition of colostrum on dairy farms in the United States // Journal of dairy science. 2012. V. 95. №. 7. P. 3997-4005. doi: 10.3168/jds.2011-5174

14 Devillers N., Le Dividich J., Prunier A. Influence of colostrum intake on piglet survival and immunity // Animal. 2011. V. 5. №. 10. P. 1605-1612. doi: 10.1017/S175173111100067X

15 Knapen M.H.J., Braam L.A., Teunissen K.J., Zwijsen R.M. et al. Yogurt drink fortified with menaquinone-7 improves vitamin K status in a healthy population // Journal of nutritional science. 2015. V. 4. doi: 10.1017/jns.2015.25

16 Donahue M., Godden S.M., Bey R., Wells S. et al. Heat treatment of colostrum on commercial dairy farms decreases colostrum microbial counts while maintaining colostrum immunoglobulin G concentrations // Journal of dairy science. 2012. V. 95. №. 5. P. 2697-2702. doi: 10.3168/jds.2011-5220

17 Drikic M. et al. Determining the IgG concentrations in bovine colostrum and calf sera with a novel enzymatic assay // Journal of animal science and biotechnology. 2018. V. 9. №. 1. P. 1-9. doi: 10.1186/s40104-018-0287-4

18 Smilowitz J.T., Lemay D.G., Kalanetra K.M., Chin E.L. et al. Tolerability and safety of the intake of bovine milk oligosaccharides extracted from cheese whey in healthy human adults // Journal of nutritional science. 2017. V. 6. doi: 10.1017/jns.2017.2

19 Pirker A., Stockenhuber A., Remely M., Harrant A. et al. Effects of antibiotic therapy on the gastrointestinal microbiota and the influence of Lactobacillus casei // Food and agricultural immunology. 2013. V. 24. №. 3. P. 315-330. doi: 10.1080/09540105.2012.689816

20 Quintana A.V., Olalla-Herrera M., Ruiz-López M.D., Moreno-Montoro M. et al. Study of the effect of different fermenting microorganisms on the Se, Cu, Cr, and Mn contents in fermented goat and cow milks // Food chemistry. 2015. V. 188. P. 234-239. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.05.008

References

1 Lozovskaya D.S., Filatova O.Yu., Dymar O.V. Dynamics of rheological and physicochemical indicators of cattle colostrum during the initial period of lactation. LBC 4 S 56. 2018. (in Russian).

2 Lozovskaya D.S., Dymar O.V. Study of the features of the colostrum homogenization process. 2019. (in Russian).

3 Fomkina I.N. Development of technology for the production of products using milk whey. BBK 4 C 56. 2018. p. 121. (in Russian).

4 Hurley W.L., Theil P.K. Perspectives on immunoglobulins in colostrum and milk. Nutrients. 2011. vol. 3. no. 4. pp. 442-474. doi: 10.3390/nu3040442

5 McGrath B.A., Fox P.F., McSweeney P.L., Kelly A.L. Composition and properties of bovine colostrum: a review. Dairy Science & Technology. 2016. vol. 96. no. 2. pp. 133-158. doi: 10.1007/s13594-015-0258-x

6 Bartier A.L., Windeyer M.C., Doepel L. Evaluation of on-farm tools for colostrum quality measurement. Journal of Dairy Science. 2015. vol. 98. no. 3. pp. 1878-1884. doi: 10.3168/jds.2014-8415

7 Rodionova N.S., Glagoleva L.E., Olkhovskaya Zh.V. Influence of enzymatic-polysaccharide complexes on fractionation of immunocontaining biosystems. Modern problems of science and education. 2014. no. 1. pp. 316. (in Russian).

8 Rodionova N.S., Glagoleva L.E., Olkhovskaya Zh.V. Study of functional and technological properties of protein-containing fractions of colostrum. Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2014. no. 4. pp. 67–69. (in Russian).

9 Godhia M.L., Patel N. Colostrum–its Composition, Benefits as a Nutraceutical–A Review. Current Research in Nutrition and Food Science Journal. 2013. vol. 1. no. 1. pp. 37-47. doi: 10.12944/CRNFSJ.1.1.04

10 Quesnel H., Farmer C., Theil P.K. Colostrum and milk production. The gestating and lactating sow. 2015. vol. 173. pp. 192.

11 Quesnel H. Colostrum production by sows: variability of colostrum yield and immunoglobulin G concentrations. Animal. 2011. vol. 5. no. 10. pp. 1546-1553. doi: 10.1017/S175173111100070X

12 Quigley J.D., Lago A., Chapman C., Erickson P. et al. Evaluation of the Brix refractometer to estimate immunoglobulin G concentration in bovine colostrum. Journal of dairy science. 2013. vol. 96. no. 2. pp. 1148-1155. doi.org/10.3168/jds.2012-5823

13 Morrill K.M. et al. Nationwide evaluation of quality and composition of colostrum on dairy farms in the United States. Journal of dairy science. 2012. vol. 95. no. 7. pp. 3997-4005. doi: 10.3168/jds.2011-5174

14 Devillers N., Le Dividich J., Prunier A. Influence of colostrum intake on piglet survival and immunity. Animal. 2011. vol. 5. no. 10. pp. 1605-1612. doi: 10.1017/S175173111100067X

15 Knapen M.H.J., Braam L.A., Teunissen K.J., Zwijsen R.M. et al. Yogurt drink fortified with menaquinone-7 improves vitamin K status in a healthy population. Journal of nutritional science. 2015. vol. 4. doi: 10.1017/jns.2015.25

16 Donahue M., Godden S.M., Bey R., Wells S. et al. Heat treatment of colostrum on commercial dairy farms decreases colostrum microbial counts while maintaining colostrum immunoglobulin G concentrations. Journal of dairy science. 2012. vol. 95. no. 5. pp. 2697-2702. doi: 10.3168/jds.2011-5220

17 Drikic M. et al. Determining the IgG concentrations in bovine colostrum and calf sera with a novel enzymatic assay. Journal of animal science and biotechnology. 2018. vol. 9. no. 1. pp. 1-9. doi: 10.1186/s40104-018-0287-4

18 Smilowitz J.T., Lemay D.G., Kalanetra K.M., Chin E.L. et al. Tolerability and safety of the intake of bovine milk oligosaccharides extracted from cheese whey in healthy human adults. Journal of nutritional science. 2017. vol. 6. doi: 10.1017/jns.2017.2

19 Pirker A., Stockenhuber A., Remely M., Harrant A. et al. Effects of antibiotic therapy on the gastrointestinal microbiota and the influence of Lactobacillus casei. Food and agricultural immunology. 2013. vol. 24. no. 3. pp. 315-330. doi: 10.1080/09540105.2012.689816

20 Quintana A.V., Olalla-Herrera M., Ruiz-López M.D., Moreno-Montoro M. et al. Study of the effect of different fermenting microorganisms on the Se, Cu, Cr, and Mn contents in fermented goat and cow milks. Food chemistry. 2015. vol. 188. pp. 234-239. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.05.008

Сведения об авторах

Людмила Э. Глаголева д.т.н., профессор, кафедра туризма и гостиничного дела, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tigd2013@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3222-301X

Нататья П. Зацепилина к.т.н., доцент, кафедра туризма и гостиничного дела, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nataha.zatsepilina@ya.ru

Максим В. Копылов к.т.н., доцент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kopylov-maks@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-2678-2613

Сергей О. Родионов аспирант, кафедра туризма и гостиничного дела, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, dlee1994@yandex.ru

Information about authors

Lyudmila E. Glagoleva Dr. Sci. (Engin.), professor, department of tourism and hotel business, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, tigd2013@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3222-301X

Natalia P. Zatsepilina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, department of tourism and hotel business, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nataha.zatsepilina@ya.ru

Maxim V. Kopylov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fat technology, processes and devices of chemical and food industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kopylov-maks@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-2678-2613

Sergey O. Rodionov postgraduate student, department of tourism and hotel business, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, dlee1994@yandex.ru

Вклад авторов

Людмила Э. Глаголева консультация в ходе исследования
Нататья П. Зацепилина предложила методику проведения эксперимента и организовала производственные испытания
Максим В. Копылов обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент, выполнил расчѐты
Сергей О. Родионов написал рукопись, корректировал еѐ до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Lyudmila E. Glagoleva consultation during the study
Natalia P. Zatsepilina proposed a scheme of the experiment and organized production trials
Maxim V. Kopylov review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Sergey O. Rodionov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 28/01/2021	**После редакции** 08/02/2021	**Принята в печать** 02/03/2021

Received 28/01/2021	**Accepted in revised** 08/02/2021	**Accepted** 02/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-211-218 Оригинальная статья/Research article
УДК 661.722 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Оптимизация процесса осахаривания разваренной массы в производстве этанола

Татьяна С. Ковалева [1] tanyakova2501@gmail.com 0000-0002-3531-3811
Алексей Н. Яковлев [1] vip.alex2702@mail.ru 0000-0002-3246-6628
Светлана Ф. Яковлева [1] svetlana.yakovleva.68@mail.ru 0000-0003-3686-9966
Татьяна Н. Тертычная [2] tertychnaya777@ya.ru 0000-0001-8185-3424
Александр С. Муравьев [1] hntrun@mail.ru 0000-0002-5989-0752

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия

Аннотация. Стадия осахаривания в производстве этанола является одной из основных. От правильности проведения данного процесса зависит полнота выбраживания декстринов и крахмала, учитываемая в бродильном отделении, а, следовательно, количество производственных потерь, качество и выход конечного продукта. Оптимизацию процесса осахаривания разваренной массы проводили методом полного факторного эксперимента с применением центрального композиционного ротатабельного униформпланирования эксперимента. В качестве управляемых факторов были выбраны: дозировка ферментного препарата Биозим 800Л; температура; pH и продолжительность гидролиза. Наибольшее влияние на процесс осахаривания оказывает дозировка ферментного препарата Биозим 800Л и продолжительность процесса. Значимость коэффициентов регрессии определяли с помощью критерия Стьюдента, адекватность уравнения регрессии – с помощью критерия Фишера при уровне значимости 5%, сходимость параллельных определений – с помощью критерия Кохнера. Установлено, что применение ферментного препарата Биозим 800Л на 40,5% по сравнению с контролем увеличивает накопление глюкозы. Для определения оптимального режима осахаривания был использован метод неопределенных множителей Лагранжа. Установлено, что максимальное накопление глюкозы в сусле составляет 12 г/100 мл достигается при следующих режимах: дозировка ферментного препарата Биозим 800Л 4,8 ед ГлС/г крахмала; температура 60,2 С; pH 4,55 ед; продолжительность осахаривания 2,05 ч.

Ключевые слова: осахаривание, ферменты, оптимизация, этанол, Биозим

Optimization of the process of saccharification in ethanol production

Tatyana S. Kovaleva [1] tanyakova2501@gmail.com 0000-0002-3531-3811
Aleksey N. Yakovlev [1] vip.alex2702@mail.ru 0000-0002-3246-6628
Svetlana F. Yakovleva [1] svetlana.yakovleva.68@mail.ru 0000-0003-3686-9966
Tatiana N. Tertychnaya [2] tertychnaya777@ya.ru 0000-0001-8185-3424
Aleksandr S. Muravev [1] hntrun@mail.ru 0000-0002-5989-0752

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
2 Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia

Abstract. The saccharification stage in ethanol production is one of the main ones. Completeness of dextrins and starch ejection considered in the fermentation compartment and, consequently, quantity of production losses, quality and yield of the final product depends on the correctness of this process. Optimization of the process of saccharification of digested mass was carried out by the method of complete factor experiment with the use of the central composite rotatable uniform planning experiment. The following factors were selected as controllable: dosage of the enzyme preparation Biozim 800L; temperature; pH and duration of hydrolysis. The dosage of the enzyme preparation Biozim 800L and the duration of the process have the greatest influence on the process of saccharification. The significance of the regression coefficients was determined by Student's test, the adequacy of the regression equation - by Fisher's test at a significance level of 5%, the convergence of parallel determinations - by Kochner's test. It was found that the use of the enzyme preparation Biozim 800L increased the accumulation of glucose by 40.5% compared with the control. To determine the optimal mode of saccharification the Lagrange multiplier method was used. It was found that the maximum accumulation of glucose in the wort of 12 g/100 ml was achieved at the following regimes: the dosage of the enzyme preparation Biozim 800L 4.8 units GlS/g starch; temperature 60.2 C; pH 4.55 units; duration of saccharification 2.05 h.

Keywords: saccharification, enzymes, optimization, ethanol, Biozim

Для цитирования

Ковалева Т.С., Яковлев А.Н., Яковлева С.Ф., Тертычная Т.Н. Муравьев А.С. Оптимизация процесса осахаривания разваренной массы в производстве этанола // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 211–218. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-211-218

For citation

Kovaleva T.S., Yakovlev A.N., Yakovleva S.F., Tertychnaya T.N., Muravev A.S. Optimization of the process of saccharification in ethanol production. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 211–218. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-211-218

© 2021, Ковалева Т.С. и др. / Kovaleva T.S. et al.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Стадия осахаривания в производстве этанола является одной из основных. От правильности проведения данного процесса зависит полнота выбраживания декстринов и крахмала, учитываемая в бродильном отделении, а, следовательно, количество производственных потерь, качество и выход конечного продукта.

Осахаривание основано на гидролизе крахмала разваренной массы под действием ферментов осахаривающих материалов [1–5].

Крахмалосодержащие сырье необходимо осахаривать, т. к. основные производственные расы спиртовых дрожжей не синтезируют амилолитических ферментов и не способны использовать непосредственно крахмал, а усваивают только моно- и дисахариды. Основной целью осахаривания является получение сусла с высоким содержанием сбраживаемых углеводов [6–8].

Материалы и методы

Разваренную ячменную массу осахаривали ферментным препаратом глюкоамилазы Биозим 800Л из расчета 6,0 ед. ГлС на г крахмала. В контрольном образце использовали разваренную массу, полученную с использованием только ферментного препарата Альфаферм 3500Л с дозировкой 1,0 ед. АС на г крахмала, в опытном образце использовали разваренную массу, полученную с использованием Альфаферм 3500 Л – 0,6 ед. АС/г крахмала, ВискоСтар 150Л – 0,025 ед β – ГкС/г крахмала, Пролайв BS Ликвид – 0,25 ед. ПС/г крахмала. При температурах 50–65 ℃ и pH 4,0–5,5 в течение 120 мин проводили осахаривание. Внесением в разваренную массу серной кислоты регулировали ее pH.

При разработке технологического режима осахаривания важным моментом является определение рациональной температуры, pH, дозировки глюкоамилазы и продолжительности осахаривания, так как от этих факторов зависят технологические и технико-экономические показатели данного процесса [9–20].

Оптимизацию процесса осахаривания разваренной массы проводили методом полного факторного эксперимента 2^4 с применением центрального композиционного ротатабельного униформпланирования эксперимента.

В качестве управляемых факторов были выбраны: X_1 – дозировка ферментного препарата Биозим 800Л; X_2 – температура, ℃; X_3 – pH; X_4 – продолжительность гидролиза, ч.

Интервал варьирования факторов выбран с таким расчетом, чтобы изменение фактора на один уровень давало изменение контролируемого параметра на величину, большую ошибки измерения. Пределы изменения исследуемых факторов приведены в таблице 1.

Критерием оценки влияния различных факторов на процесс осахаривани разваренной массыя выбрана массовая доля глюкозы (Y) в фильтрате сусла после осахаривания. Программа исследования была заложена в матрицу планирования эксперимента (таблица 2).

Таблица 1.

Изменение исследуемых факторов

Table 1.

Varying of factors

Условия планирования Conditions	Пределы изменения исследуемых факторов Limits of factors			
	X_1, ед. ГлС/г крахмала	X_2, ℃	X_3, ед.	X4, ч
Основной уровень Basic level	4,5	60,0	4,5	1,5
Верхний уровень Upper level	0,5	5,0	0,5	0,5
Нижний уровень Lower level	5,0	65	5,0	2,0
Верхняя звездная точка Upper stellar point	4,0	55	4,0	1,0
Нижняя звездная точка Lower stellar point	5,5	70	5,5	2,5
Основной уровень Basic level	3,5	50	3,5	0,5

Таблица 2.

Матрица планирования и результаты эксперимента

Table 2.

Planning matrix and experimental results

№ опыта Exp number	Кодированные значения факторов Factor Coded Values				Y, %
	X_1, ед. ГлС/г крахмала	X_2, °С	X_3, ед.	X_4, ч	
1	–	–	–	–	6,6
2	–	+	–	–	6,4
3	+	–	–	–	8,5
4	+	+	–	–	8,4
5	–	–	+	–	7,1
6	–	+	+	–	6,8
7	+	–	+	–	8,4
8	+	+	+	–	9,3
9	–	–	–	+	8,1
10	–	+	–	+	8,0
11	+	–	–	+	10,5
12	+	+	–	+	9,7
13	–	–	+	+	8,8
14	–	+	+	+	9,9
15	+	–	+	+	9,8
16	+	+	+	+	10,5
17	–2,0	0	0	0	8,7
18	+2,0	0	0	0	11,3
19	0	–2,0	0	0	9,4
20	0	+2,0	0	0	9,6
21	0	0	–2,0	0	9,2
22	0	0	+2,0	0	10,0
23	0	0	0	–2,0	8,8
24	0	0	0	+2,0	11,0
25	0	0	0	0	9,6
26	0	0	0	0	9,4
27	0	0	0	0	9,5
28	0	0	0	0	9,3
29	0	0	0	0	9,3
30	0	0	0	0	9,6
31	0	0	0	0	9,6
32	0	0	0	0	9,4

Результаты и обсуждение

В результате статистической обработки экспериментальных данных в программе STATISTICA 6.0, получено следующее уравнение регрессии, адекватно описывающее изменение массовой доли глюкозы в сусле под влиянием исследуемых факторов:

$$\begin{aligned} Y = {} & 9.4 + 0.75X_1 + 0.12X_2 + 0.25X_3 + \\ & + 0.86X_4 - 0.18X_2^2 - 0.14X_3^2 - \\ & - 0.15X_1X_4 + 0.12X_2X_3 + \\ & + 0.13X_1X_2X_3 - 0.12X_1X_3X_4 \end{aligned} \quad (1)$$

Анализ уравнения регрессии позволяет выделить факторы, влияющие в большей степени на рассматриваемый процесс. Знаки «+» перед линейными членами уравнения свидетельствуют о том, что при увеличении исследуемых факторов повышаются выходные параметры. Наибольшее влияние на процесс осахаривания оказывает дозировка ферментного препарата Биозим 800Л и продолжительность процесса. Значимость коэффициентов регрессии определяли с помощью критерия Стьюдента, адекватность уравнения регрессии – с помощью критерия Фишера при уровне значимости 5%, сходимость параллельных определений – с помощью критерия Кохнера. Таким образом, получены данные о влиянии различных факторов на накопление глюкозы и построена математическая модель процесса, позволяющая рассчитать их массовую долю в сусле в выбранных интервалах варьирования. На рисунках 1–6 показаны кривые равных значений массовой доли глюкозы в сусле и поверхности уровней отклика для межфакторного взаимодействия. Для построения поверхностей отклика уравнение регрессии приводилось к двум факторам, путем последовательного приравнивания к нулевому уровню двух других факторов. Полученные поверхности имеют форму «выпуклости». Кривые поверхностей отклика несут смысл номограмм и представляют практический интерес. Зная величину параметров и используя полученные коэффициенты, можно рассчитать количество глюкозы в сусле до окончания процесса осахаривания.

Оптимизация процесса осахаривания ячменного замеса заключается в подборе таких условий (дозировка глюкоамилазы, температура, pH и продолжительности процесса), при которых количество глюкозы в сусле будет максимальной.

Задачу оптимизации решали в три этапа.

Первый этап. Для поиска оптимальных параметров X_1, X_2, X_3и X_4 задачу оптимизации сформулировали так: необходимо найти значения переменных X_1, X_2, X_3и X_4, обеспечивающие условный экстремум (максимум) функции отклика $y_1 = f1(X_1, X_2, X_3, X_4)$.

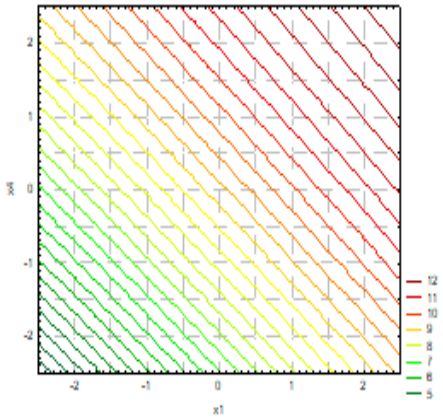


Рисунок 1. Кривые уравнений равных значений поверхностей отклика: X_1 – дозировка ферментного препарата Биозим 800Л, ед. ГлС / г крахмала, X_4 – продолжительность осахаривания, ч, Y – глюкоза г/100 см^3

Figure 1. Response surfaces: X_1 – dosage of enzyme preparation Biozim 800L, units GlS/g starch, X_4 – duration of saccharification, h, Y – glucose g/100 cm^3

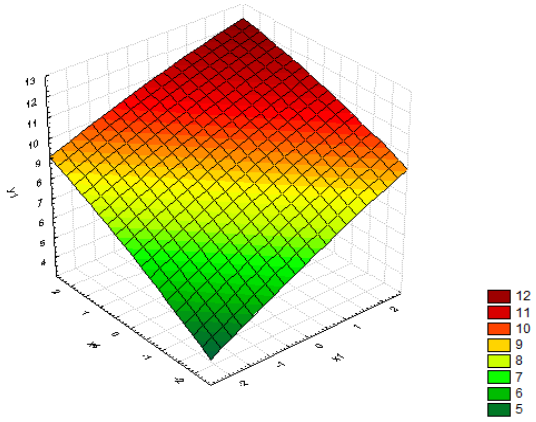


Рисунок 2. Поверхность уровней отклика для межфакторного взаимодействия

Figure 2. Response Surface for interfactor interaction

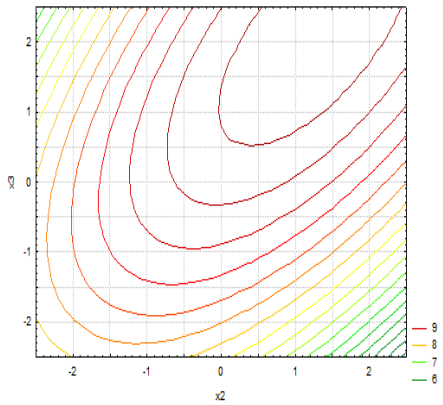


Рисунок 3. Кривые уравнений равных значений поверхностей отклика: X_2 – температура, °С, X_3 – pH, ед., Y – глюкоза, г/100 см^3

Figure 3. Response surfaces: X_2 – temperature, °С, X_3 – pH, Y – glucose, g/100 cm^3

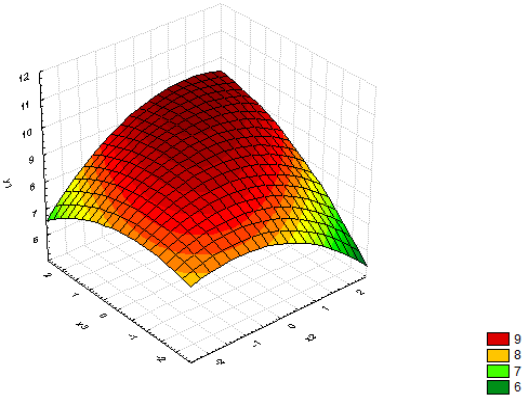


Рисунок 4. Поверхность уровней отклика для межфакторного взаимодействия

Figure 4. Response Surface for interfactor interaction

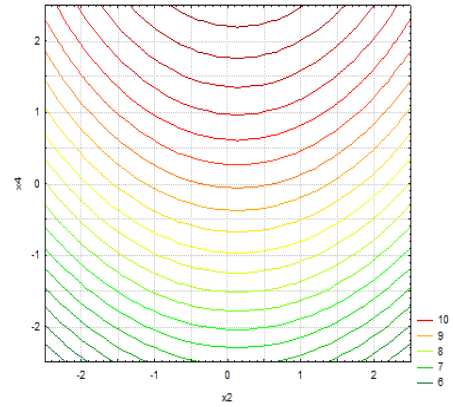


Рисунок 5. Кривые уравнений равных значений поверхностей отклика: X_2 – температура, °С, X_4 – продолжительность осахаривания, ч; Y – глюкоза, г/100 см^3

Figure 5. Response surfaces: X_2 – temperature, °С, X_4 – duration of saccharification, h; Y – glucose, g/100 cm^3

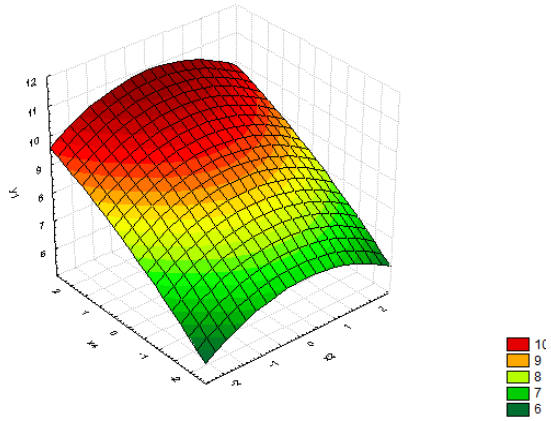


Рисунок 6. Поверхность уровней отклика для межфакторного взаимодействия

Figure 6. Response Surface for interfactor interaction

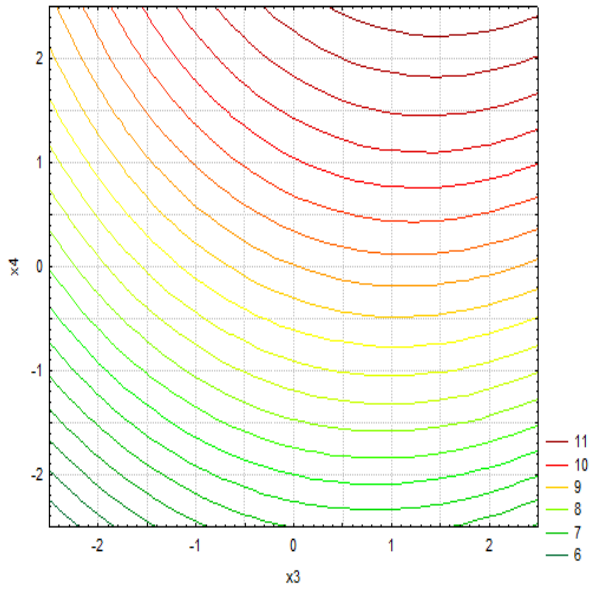


Рисунок 7. Кривые уравнений равных значений поверхностей отклика X_3 – pH, ед., X_4 – продолжительность осахаривания, ч, Y – глюкоза, г/100 см^3

Figure 7. Response surfaces: X_3 – pH; X_4 – duration of saccharification, h; Y – glucose, g/100 cm^3

Значения независимых переменных X_1, X_2, X_3 и X_4 при этом не должны выходить за область эксперимента, границы которой определяются значениями факторов в звездных точках.

Указанное ограничение аналитически может быть записано в виде выражения:

$$\varphi(X_1, X_2, X_3, X_4) = \\ = X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + X_4^2 = \rho^2, \quad (2)$$

что в факторном пространстве (для случая двух независимых переменных) представляет собой сферу с центром в центре эксперимента и радиусом ρ.

Таким образом, постановка задачи оптимизации аналитически записывается как

$$\begin{cases} Y = 9,4 + 0,75X_1 + 0.12X_2 + \\ + 0.25X_3 + 0.86X_4 - 0.18X_2^2 - \\ - 0.14X_3^2 - 0.15X_1X_4 + 0.12X_2X_3 + \\ + 0.13X_1X_2X_3 - 0.12X_1X_3X_4 \to max \\ X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + X_4^2 = \rho^2 \end{cases} \quad (3)$$

Поставленную задачу решали, используя метод неопределенных множителей Лангранжа. Для этого составили функцию вида

$$F(X_1, X_2, X_3, X_4, \lambda) = Y(X_1, X_2, X_3, X_4) + \\ + \lambda\varphi(X_1, X_2, X_3, X_4), \quad (4)$$

где λ – неопределенный множитель Лангранжа.

С учетом уравнений (1) и (2) получили целевую функцию:

$$F(X_1^2, X_2^2, X_3^2, X_4^2, \lambda) = 9,4 + 0,75X_1 + \\ + 0.12X_2 + 0.25X_3 + 0.86X_4 - 0.18X_2^2 - \\ - 0.14X_3^2 - 0.15X_1X_4 + 0.12X_2X_3 + \\ + 0.13X_1X_2X_3 - 0.12X_1X_3X_4 + \\ + \lambda^2\left(X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + X_4^2 - \rho^2\right) \quad (5)$$

Составили систему уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{dF(X_1, X_2, X_3, X_4, \lambda)}{dX_1} = 0,75 - 0,15X_4 + \\ + 0,13X_2X_3 - 0,12X_3X_4 + 2\lambda X_1 = 0 \\ \dfrac{dF(X_1, X_2, X_3, X_4, \lambda)}{dX_2} = 0,12 - 0,18X_2 + \\ + 0,12X_3 + 0,13X_1X_3 + 2\lambda X_2 = 0 \\ \dfrac{dF(X_1, X_2, X_3, X_4, \lambda)}{dX_3} = 0,25 - 0,14X_3 + \\ + 0,12X_2 + 0,13X_1X_2 + 2\lambda X_3 = 0 \\ \dfrac{dF(X_1, X_2, X_3, X_4, \lambda)}{dX_4} = 0,86 - 0,15X_1 - \\ - 0,12X_1X_3 + 2\lambda X_4 = 0 \\ \dfrac{dF(X_1, X_2, X_3, X_4, \lambda)}{d\lambda} = X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + \\ + X_3^2 + \rho^2 = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Для решения уравнения (6) с последующим вычислением значения функции отклика (1) пользовались интегрированным пакетом MAPLE. Расчет проводили при изменении радиуса сферы в диапазоне от – 2 до 2 с интервалом 0,1. Выбор диапазона $1.4 \le \rho \ge 2.0$ обусловлен тем, что $Y \to max$ при $X_1^2, X_2^2, X_3^2, X_4^2 \to max$

Результаты оптимизации по глюкозе получены в программе MAPLE и представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Параметры оптимизации

Table 3.

Optimization parameters

шаг step	ρ1	X1	X2	X3	X4	λ1	y1
1	1,4	-0,944	-0,133	-0,181	-1,003	0,479	7,748
2	1,5	-1,082	-0,217	-0,164	-1,147	0,454	7,477
3	1,6	-1,223	-0,263	-0,130	-1,291	0,429	7,129
4	1,7	-1,255	-0,274	-0,118	-1,326	0,390	7,058
5	1,8	0,854	0,137	0,212	0,895	-0,101	11,882
6	1,9	0,870	0,145	0,222	0,925	-0,206	11,982
7	2,0	-0,135	0,121	0,135	-0,221	0,257	8,552

При выборе оптимальных параметров для накопления глюкозы в сусле в процессе осахаривания, необходимо исходить из максимально допустимых значений. К таким значениям относятся: X_1 = 0,870, X_2 = 0,145, X_3 = 0,222,

X_4 = 0,925 или, переходя от кодированных значений к натуральным, получим: дозировка ферментного препарата Биозим 800Л – X_1 = 4,8 ед ГлС/г крахмала; температура – X_2 = 60,2 ℃; pH – X_3 = 4,55 ед; продолжительность осахаривания – X_4 = 2,05 ч.

Показатели ячменного сусла, полученного в оптимальных условиях осахаривания разваренной массы, представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Показатели ячменного сусла

Table 4.

Barley wort indicators

Показатели | Indicators	Контроль	Опыт
Массовая доля сухих веществ, % Mass fraction of dry substances, %	16,5	17,0
Содержание редуцирующих в-в, г/100 см^3 Content of reducing substances, g/100cm^3	13,9	14,5
Содержание глюкозы, г/100 см^3 Glucose content, g/100 cm^3	8,5	12,0
Содержание аминного азота, мг/100 см^3 Amine nitrogen content, mg/100cm^3	29,5	48,0
Доброкачественность по РВ, % Quality, %	84,3	86,5
Кислотность, град | Acidity, deg	0,30	0,30
Вязкость, Па×с | Viscosity, Pa×s	1,8	1,3

Как видно из таблицы, опытный вариант сусла по всем показателям лучше, чем контрольный. Основной показатель – содержание глюкозы в сусле на 40,5% выше по сравнению с контролем.

Заключение

Установлено, что применение ферментного препарата Биозим 800Л на 40,5% по сравнению с контролем увеличивает накопление глюкозы.

Получено уравнение регрессии 2-го порядка, адекватно описывающее процесс осахаривания сусла, подтверждающее выбранные оптимальные условия.

Для определения оптимального режима осахаривания был использован метод неопределенных множителей Лагранжа. Установлено, что максимальное накопление глюкозы в сусле составляет 12 г/100 см^3 и достигается при следующих режимах: дозировка ферментного препарата Биозим 800Л 4,8 ед ГлС/г крахмала; температура 60,2 ℃; pH 4,55 ед; продолжительность осахаривания 2,05 ч.

Литература

1 Ковалева Т.С., Агафонов Г.В., Яковлев А.Н., Яковлева С.Ф. Влияние протеазы и фитазы на физиологическое состояние спиртовых дрожжей при культивировании // Вестник ВГУИТ. 2019. № 4. Т 81. С. 98–102. doi: 10.20914/2310-1202-2019-4-98-102

2 Байбакова О.В. Исследование одновременного процесса осахаривания-сбраживания для получения биоэтанола на примере мискантуса и плодовых оболочек овса // Фундаментальные исследования. 2016. №. 6-1. С. 14.

3 Яковлев А.Н., Агафонов Г.В., Яковлева С.Ф., Алексеева Н.И. и др. Влияние мультиэнзимной композиции на процесс брожения ржаного сусла // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2013. № 3. С 26–28.

4 Пат. № 2653432, RU, C12P 7/06. Способ получения этилового спирта / Агафонов Г.В., Яковлев А.Н., Яковлева С.Ф., Ковалева Т.С. № 2017114134; Заявл. 24.04.2017; Опубл. 08.05.2018, Бюл. № 13.

5 Хоконова М.Б., Цагоева О.К. Исследование процесса осахаривания с применением грибной культуры и солода // Современная биотехнология: актуальные вопросы, инновации и достижения. 2020. С. 174-176.

6 Хоконова М.Б., Цагоева О.К. Теоретические основы механико-ферментативной обработки крахмалистого сырья // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие». 2019. С. 178-181.

7 Хоконова М.Б. Технология переработки крахмалистого сырья с получением белково-углеводных продуктов // Научное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса регионов РФ. 2018. С. 681-684.

8 Сергеенко Л.А. Осахаривание крахмал-и целлюлозосодержащего сырья комплексом термостабильных ферментных препаратов // Технология органических веществ. 2020. С. 26-29.

9 Qin L. et al. Process analysis and optimization of simultaneous saccharification and co-fermentation of ethylenediamine-pretreated corn stover for ethanol production // Biotechnology for biofuels. 2018. V. 11. №. 1. P. 1-10. doi: 10.1186/s13068-018-1118-8

10 Scarpa J.C.P. et al. Saccharification of pretreated sugarcane bagasse using enzymes solution from Pycnoporus sanguineus MCA 16 and cellulosic ethanol production // Industrial Crops and Products. 2019. V. 141. P. 111795. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.111795

11 Hoşgün E.Z. et al. Ethanol production from hazelnut shells through enzymatic saccharification and fermentation by low-temperature alkali pretreatment // Fuel. 2017. V. 196. P. 280-287. doi: 10.1016/j.fuel.2017.01.114

12 Qiu J. et al. Pretreating wheat straw by phosphoric acid plus hydrogen peroxide for enzymatic saccharification and ethanol production at high solid loading // Bioresource technology. 2017. V. 238. P. 174-181. doi: 10.1016/j.biortech.2017.04.040

13 Bader A.N. et al. Efficient saccharification of microalgal biomass by Trichoderma harzianum enzymes for the production of ethanol // Algal Research. 2020. V. 48. P. 101926. doi: 10.1016/j.algal.2020.101926

14 Sharma V., Nargotra P., Bajaj B.K. Ultrasound and surfactant assisted ionic liquid pretreatment of sugarcane bagasse for enhancing saccharification using enzymes from an ionic liquid tolerant Aspergillus assiutensis VS34 // Bioresource technology. 2019. V. 285. P. 121319. doi: 10.1016/j.biortech.2019.121319

15 Geddes C.C., Nieves I.U., Ingram L.O. Advances in ethanol production // Current opinion in biotechnology. 2011. V. 22. №. 3. P. 312-319. doi: 10.1016/j.copbio.2011.04.012

16 Liu C.G. et al. Cellulosic ethanol production: progress, challenges and strategies for solutions // Biotechnology advances. 2019. V. 37. №. 3. P. 491-504. doi: 10.1016/j.biotechadv.2019.03.002

17 Gupta A., Verma J.P. Sustainable bio-ethanol production from agro-residues: a review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. V. 41. P. 550-567. doi: 10.1016/j.rser.2014.08.032

18 Dias M.O.S., Junqueira T.L., Jesus C.D., Rossell C.E. et al. Improving second generation ethanol production through optimization of first generation production process from sugarcane // Energy. 2012. V. 43. №. 1. P. 246-252. doi: 10.1016/j.energy.2012.04.034

19 Gao D. M., Kobayashi T., Adachi S. Production of rare sugars from common sugars in subcritical aqueous ethanol // Food chemistry. 2015. V. 175. P. 465-470. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.11.144

20 Moodley P., Kana E.B.G. Comparative study of three optimized acid-based pretreatments for sugar recovery from sugarcane leaf waste: a sustainable feedstock for biohydrogen production // Engineering science and technology, an international journal. 2018. V. 21. №. 1. P. 107-116. doi: 10.1016/j.jestch.2017.11.010

References

1 Kovaleva T.S., Agafonov G.V., Yakovlev A.N., Yakovleva S.F. The effect of protease and phytase on the physiological state of alcoholic yeast during cultivation. Proceedings of VSUET. 2019. no. 4. vol. 81. pp. 98–102. doi: 10.20914/2310-1202-2019-4-98-102 (in Russian).

2 Baybakova O.V. Investigation of the simultaneous process of saccharification-fermentation to obtain bioethanol on the example of miscanthus and oat fruit shells. Fundamental Research. 2016. no. 6-1. pp. 14. (in Russian).

3 Yakovlev A.N., Agafonov G.V., Yakovleva S.F., Alekseeva N.I. et al. Influence of multi-enzyme composition on the fermentation process of rye wort. Production of alcohol and alcoholic beverages. 2013. no. 3. pp. 26–28. (in Russian).

4 Agafonov G.V., Yakovlev A.N., Yakovleva S.F., Kovaleva T.S. Method of obtaining ethyl alcohol. Patent RF. no. 2653432, 2018.

5 Khokonova M.B., Tsagoeva O.K. Investigation of the saccharification process using mushroom culture and malt. Modern biotechnology: topical issues, innovations and achievements. 2020. pp. 174-176. (in Russian).

6 Khokonova M.B., Tsagoeva O.K. Theoretical foundations of mechanic-enzymatic processing of starchy raw materials. Collection of selected articles based on the materials of scientific conferences of the State Research Institute of National Development. 2019. pp. 178-181. (in Russian).

7 Khokonova M.B. Technology of processing starchy raw materials with obtaining protein-carbohydrate products. Scientific support of innovative development of the agro-industrial complex of the regions of the Russian Federation. 2018. pp. 681-684. (in Russian).

8 Sergeenko L.A. Saccharification of starch and cellulose-containing raw materials with a complex of thermostable enzyme preparations. Technology of organic substances. 2020. pp. 26-29. (in Russian).

9 Qin L. et al. Process analysis and optimization of simultaneous saccharification and co-fermentation of ethylenediamine-pretreated corn stover for ethanol production. Biotechnology for biofuels. 2018. vol. 11. no. 1. pp. 1-10. doi: 10.1186/s13068-018-1118-8

10 Scarpa J.C.P. et al. Saccharification of pretreated sugarcane bagasse using enzymes solution from Pycnoporus sanguineus MCA 16 and cellulosic ethanol production. Industrial Crops and Products. 2019. vol. 141. pp. 111795. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.111795

11 Hoşgün E.Z. et al. Ethanol production from hazelnut shells through enzymatic saccharification and fermentation by low-temperature alkali pretreatment. Fuel. 2017. vol. 196. pp. 280-287. doi: 10.1016/j.fuel.2017.01.114

12 Qiu J. et al. Pretreating wheat straw by phosphoric acid plus hydrogen peroxide for enzymatic saccharification and ethanol production at high solid loading. Bioresource technology. 2017. vol. 238. pp. 174-181. doi: 10.1016/j.biortech.2017.04.040

13 Bader A.N. et al. Efficient saccharification of microalgal biomass by Trichoderma harzianum enzymes for the production of ethanol. Algal Research. 2020. vol. 48. pp. 101926. doi: 10.1016/j.algal.2020.101926

14 Sharma V., Nargotra P., Bajaj B.K. Ultrasound and surfactant assisted ionic liquid pretreatment of sugarcane bagasse for enhancing saccharification using enzymes from an ionic liquid tolerant Aspergillus assiutensis VS34. Bioresource technology. 2019. vol. 285. pp. 121319. doi: 10.1016/j.biortech.2019.121319

15 Geddes C.C., Nieves I.U., Ingram L.O. Advances in ethanol production. Current opinion in biotechnology. 2011. vol. 22. no. 3. pp. 312-319. doi: 10.1016/j.copbio.2011.04.012

16 Liu C.G. et al. Cellulosic ethanol production: progress, challenges and strategies for solutions. Biotechnology advances. 2019. vol. 37. no. 3. pp. 491-504. doi: 10.1016/j.biotechadv.2019.03.002

17 Gupta A., Verma J.P. Sustainable bio-ethanol production from agro-residues: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. vol. 41. pp. 550-567. doi: 10.1016/j.rser.2014.08.032

18 Dias M.O.S., Junqueira T.L., Jesus C.D., Rossell C.E. et al. Improving second generation ethanol production through optimization of first generation production process from sugarcane. Energy. 2012. vol. 43. no. 1. pp. 246-252. doi: 10.1016/j.energy.2012.04.034

19 Gao D. M., Kobayashi T., Adachi S. Production of rare sugars from common sugars in subcritical aqueous ethanol. Food chemistry. 2015. vol. 175. pp. 465-470. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.11.144

20 Moodley P., Kana E.B.G. Comparative study of three optimized acid-based pretreatments for sugar recovery from sugarcane leaf waste: a sustainable feedstock for biohydrogen production. Engineering science and technology, an international journal. 2018. vol. 21. no. 1. pp. 107-116. doi: 10.1016/j.jestch.2017.11.010

Сведения об авторах

Татьяна С. Ковалева к.т.н., кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tanyakova2501@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-3531-3811

Алексей Н. Яковлев к.т.н., кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vip.alex2702@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3246-6628

Светлана Ф. Яковлева к.т.н., кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, svetlana.yakovleva.68@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3686-9966

Татьяна Н. Тертычная д.с-х.н., кафедра технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, tertychnaya777@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-8185-3424

Александр С. Муравьев к.т.н., отдел СМ, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hntrun@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5989-0752

Information about authors

Tatyana S. Kovaleva Cand. Sci. (Engin.), biochemical department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, tanyakova2501@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-3531-3811

Aleksey N. Yakovlev Cand. Sci. (Engin.), fermentation and sugar production technologies department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vip.alex2702@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3246-6628

Svetlana F. Yakovleva Cand. Sci. (Engin.), biochemical department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, svetlana.yakovleva.68@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3686-9966

Tatiana N. Tertychnaya Dr. Sci. (Agric.), technology for storage and processing of agricultural products department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia, tertychnaya777@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-8185-3424

Aleksandr S. Muravev Cand. Sci. (Engin.), SM department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hntrun@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5989-0752

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 15/01/2021	**После редакции** 10/02/2021	**Принята в печать** 01/03/2021

Received 15/01/2021	**Accepted in revised** 10/02/2021	**Accepted** 01/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-219-232 Оригинальная статья/Research article
УДК 579.86:615.276:615.277.3 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Разработка пробиотического консорциума для людей с онкологическими заболеваниями

Анна Д. Веснина [1] koledockop1@mail.ru 0000–0002–4552–7418
Александр Ю. Просеков [1] aprosekov@rambler.ru 0000–0002–5630–3196
Оксана В. Козлова [1] ms.okvk@mail.ru 0000–0002–2960–0216
Марина Г. Курбанова [1] kurbanova-mg@mail.ru 0000–0003–0563–1007
Евгения А. Козленко [1] evgenia_09.01@mail.ru 0000–0002–6708–5964
Юлия В. Голубцова [1] op.kemsu@mail.ru 0000–0002–2958–4172

1 Кемеровский государственный университет, ул. Красная,6. Кемерово, 650000, Россия

Аннотация. По данным Всемирной организации здравоохранения онкологические заболевания являются распространенной причиной смертности населения, в результате чего актуальна разработка мероприятий, направленных на профилактику канцерогенеза. Данное исследование посвящено получению пробиотического консорциума, состоящего из бактерий, выделенных из желудочно-кишечного тракта здорового человека, с дальнейшей перспективой его применения в противораковой терапии в виде биологически активной добавки (БАД) в специализированных продуктах питания. Объектом исследования являлись бактерии, выделенные из фекалий здорового человека, и консорциумы на их основе. Идентификация бактерий и исследование антимикробной, антиоксидантной активности, противоопухолевых свойств, устойчивости к антибиотикам, кислой среде и желчи бактерий и консорциумов на их основе проводилось по общепринятым методикам. Результатами исследования является формирование консорциумов из выделенных и идентифицированных бактерий: №1 – *B. bifidum*, *B. breve, L. plantarum, L. acidophilus*, №2 – *B. bifidum, B. breve, L. plantarum, L. fermentum*, №3 – *B. breve, L. fermentum, S. salivarius*, №4 – *B. breve, L. fermentum, S. thermophiles,* проявляющих пробиотические свойства. Антимикробную активность к наибольшему количеству тест-культур проявлял консорциум №2; умеренную устойчивость к наибольшему числу антибиотиков – №1 и №2; наибольшую антиоксидантную активность – №1, наиболее выраженными противораковыми свойствами по отношению к HepG2, ЛБР2, MDA-MB-231, U87 и Panc-1 – №4, а к MCF-7 – №3; наибольшую устойчивость к средам с низкой кислотностью и желчью – №2. По результатам исследования видно, что выделенные штаммы, как и консорциумы на их основе, обладали антимикробной, антиоксидантной активностью, проявляли противоопухолевое действие, устойчивость к действию антибиотиков, желчи и кислой среды, благодаря чему, их можно использовать в качестве пробиотических средств в виде БАД и специализированных молочнокислых продуктов для профилактики канцерогенеза.

Ключевые слова: пробиотические свойства, канцерогенез, микробиота кишечника, идентификация микроорганизмов, молочнокислые бактерии, противораковые свойства

Development of a probiotic consortium for people with cancer

Anna D. Vesnina [1] koledockop1@mail.ru 0000–0002–4552–7418
Alexander Yu. Prosekov [1] aprosekov@rambler.ru 0000–0002–5630–3196
Oksana V. Kozlova [1] ms.okvk@mail.ru 0000–0002–2960–0216
Marina G. Kurbanova [1] kurbanova-mg@mail.ru 0000–0003–0563–1007
Evgeniya A. Kozlenko [1] evgenia_09.01@mail.ru 0000–0002–6708–5964
Yulia V. Golubtsova [1] op.kemsu@mail.ru 0000–0002–2958–4172

1 Kemerovo State University, st. Red, 6. Kemerovo, 650000, Russia

Abstract. According to the World Health Organization, oncological diseases are a common cause of mortality in the population, as a result of which the development of measures aimed at the prevention of carcinogenesis is urgent. This study is devoted to obtaining a probiotic consortium consisting of bacteria isolated from the gastrointestinal tract of a healthy person, with the further prospect of its use in anticancer therapy in the form of a biologically active additive (BAA) in specialized food products. The object of the study was bacteria isolated from the feces of a healthy person, and consortia based on them. The identification of bacteria and the study of antimicrobial, antioxidant activity, antitumor properties, resistance to antibiotics, acidic medium and bile of bacteria and consortia based on them were carried out according to generally accepted methods. The results of the study are the formation of consortia of isolated and identified bacteria: № 1 – *B. bifidum*, *B. breve*, *L. plantarum*, *L. acidophilus*, № 2 – *B. bifidum*, *B. breve*, *L. plantarum*, *L. fermentum*, № 3 – *B. breve*, *L. fermentum*, *S. salivarius*, № 4 – *B. breve*, *L. fermentum*, *S. thermophiles* exhibiting probiotic properties. Consortium № 2 showed antimicrobial activity to the largest number of test cultures; moderate resistance to the largest number of antibiotics – № 1 and № 2; the highest antioxidant activity – № 1, the most pronounced anti-cancer properties in relation to HepG2, LBR2, MDA-MB-231, U87 and Panc-1 – № 4, and to MCF-7 – № 3; the greatest resistance to environments with low acidity and bile – № 2. According to the results of the study, it can be said that the isolated strains, like the consortia based on them, had antimicrobial, antioxidant activity, showed an antitumor effect, resistance to antibiotics, bile and an acidic environment, so that they can be used as probiotic agents in the form of dietary supplements and specialized lactic acid products for the prevention of carcinogenesis.

Keywords: probiotic properties, carcinogenesis, intestinal microbiota, identification of microorganisms, lactic acid bacteria, anti-cancer properties

Для цитирования
Веснина А.Д., Просеков А.Ю., Козлова О.В., Курбанова М.Г., Козленко Е.А., Голубцова Ю.В. Разработка пробиотического консорциума для людей с онкологическими заболеваниями // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 219–232. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-219-232

For citation
Vesnina A.D., Prosekov A.Yu., Kozlova O.V., Kurbanova M.G., Kozlenko E.A., Golubtsova Yu.V. Development of a probiotic consortium for people with cancer. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 219–232. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-219-232

© 2021, Веснина А.Д. и др. / Vesnina A.D. et al.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Микрофлора желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) влияет на здоровое состояние организма, регулируя его метаболическую, защитную, координирующую и эпигенетическую функции [1]. Она участвует в развитии канцерогенеза – существует взаимосвязь между канцерогенезом, его лечением и микробиотой, которая прослеживается в следующих аспектах [2]:

1. Наличие и развитие опухоли негативно сказывается на функционирование микробиоты, через токсины, вырабатываемые раковыми клетками [3], приводящими к дисбактериозу.
2. У онкобольных после лечения иммунная система ослаблена, происходит накопление метаболитов раковых клеток, наблюдается прирост патогенных бактерий в организме, что вызывает дисбактериоз, еще больше нарушающий функционирование иммунной системы [4].
3. Нарушение нормальной работы микрофлоры, из-за негативных факторов окружающей среды, приводит к развитию дисбактериоза, вследствие которого уменьшается разнообразие микробиоты, иммунная система кишечника подвергается атаке патогенных, условно-патогенных бактерий, способствующих развитию воспалений, ряда патологических процессов: снижению общего иммунитета, изменению гомеостаза, возникновению воспаления и канцерогенеза [5, 6].

Для нормализации работы микрофлоры ЖКТ необходим прием пробиотических препаратов [1]. Пробиотики – это живые непатогенные микроорганизмы, употребление которых способствует поддержанию нормальной работоспособности микрофлоры кишечника и всего организма в целом [7].

В основном к пробиотикам относят молочнокислые бактерии рода *Lactobacillus, Bifidobacterium, Lactococus, Streptococcus, Enterococcus* и микроорганизмы, не относящиеся к молочнокислым бактериям, рода *Bacillus, Saccharomyces*, и *Escherichia coli*. Для того, чтобы микроорганизмы можно было отнести к пробиотикам, они должны соответствовать ряду критериев, представленных в работе P. Markowiak [8]:

– критерию безопасности, то есть иметь человеческое или животное происхождение, быть идентифицированными, обладать устойчивостью к действию антибиотиков и т. п.;

– критерию функциональности, то есть должны быть конкурентоспособными по отношению к микробиоте ЖКТ, устойчивыми к действию желчи, ферментам, низкому уровню pH в желудке, обладать антагонистической активностью по отношению к патогенным и условно-патогенным штаммам;

– критерию технологической полезности, то есть накапливать большое количество биомассы, сохранять жизнеспособность и функциональность при хранении (при замораживании и сублимационном высушивании) и т. п.

В рамках данной работы, микроорганизмы должны обладать противораковой и антиоксидантной активностью. Роль пробиотиков в онкологии представлена на рисунке 1 [2, 4].

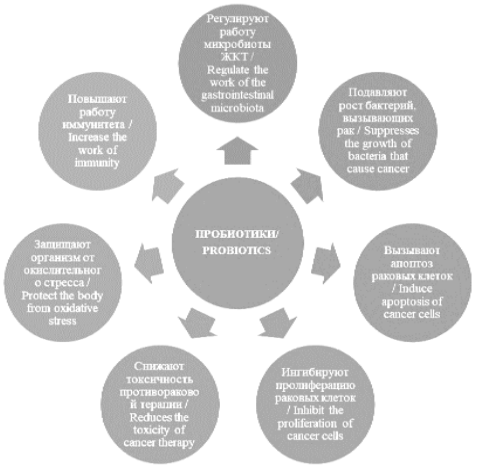


Рисунок 1. Пробиотики и профилактика рака
Figure 1. Probiotics and cancer prevention

Цель работы – создание пробиотического консорциума, состоящего из бактерии, выделенные из ЖКТ здорового человека, использование которого в качестве компонента функциональных, специализированных продуктов питания или в качестве БАД к диетическим рекомендациям станет частью противоопухолевой терапии.

Материалы и методы

Работа осуществлялась на базе Лаборатории биотестирования природных нутрицевтиков НИУ ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (Россия). Объектом исследования являлись штаммы бактерий, выделенные из ЖКТ здорового человека, и разработанные на их основе консорциумы.

Для выделения молочнокислых бактерий из ЖКТ использовали фекалии здорового человека, из которых готовили суспензию и серию разведений. Разведения рассаживали на питательные среды: Рогоза (HiMedia Laboratories, Индия), Лактобакагар (ФБУН ГНЦ ПМБ, Россия), MRS (ФБУН ГНЦ ПМБ, Россия), Бифидум (ФБУН ГНЦ ПМБ, Россия), Блаурокка (ФБУН ГНЦ ПМБ, Россия), M17 (HiMedia Laboratories, Индия), Bifidobacterium Agar (HiMedia Laboratories, Индия) [9, 10]. Культивирование осуществляли в анаэробных условиях в CO2-инкубаторе

ИЛМ-170–01-«Ламинар-С» (LAMSYSTEMS, Россия) при температуре 37 ºС в течение 24–48 часов.

Предварительная идентификация выделенных колоний молочнокислых бактерий (колонии заранее пересаживали на агаризованную среду MRS [11]) осуществлялась с помощью определения культуральных и морфологических свойств штаммов, при использовании микроскопа Микмед-5 (ЛОМО, Россия), набора окраски по Граму (Лаб-Биомед, Россия), общепринятых стандартов (ГОСТ 10444.11–89 [12, 13] и Определителя Берджи (Берге) [14]. Принадлежность штаммов к виду определяли с помощью микробиологического анализатора VITEK 2 Compact (BioMerieux, Франция).

Антимикробную активность определяли методом диффузии в лунках агара, методика прописана в исследовании A. Davoodabadi и его коллег [15]. Использовали следующие тест-культуры: *Escherichia coli* B-6954, *Bacillus fastidiosus* B-5651, *Pseudomonas fluorescens* B-3502, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027, *Leuconostoc mesenteroides* B-8404, *Candida albicans* ATCC 885–653, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923), предоставленные ФГБУ «Кемеровская МВЛ», Россия. При зоне ингибирования диаметром менее 11 мм штамм не проявлял активность, при зоне в 11–16 мм штамм проявлял слабую активность, а при зоне в 17–22 мм – среднюю активность, зона более 23 мм – высокую активность [16].

Антибиотикорезестентность определяли с помощью диско-диффузионного метода, описанного в работе Y. Yang и его коллег [17]. В методе использовали диски, пропитанные бензилпенициллином (10 мкг), стрептомицином (10 мкг), тетрациклином (30 мкг), ампициллином (10 мкг), канамицином (30 мкг), хлорамфениколом (30 мкг), гентамицином (10 мкг) (HiMedia Laboratories, Индия). При зоне ингибирования диаметром менее 15 мм штамм являлся устойчивым, при зоне в 16–20 мм штамм обладал умеренной устойчивостью, а при зоне более 21 мм штамм проявлял чувствительность по отношению к антибиотику [18].

Антиоксидантную активность определяли с помощью анализа по спектрофотометрическому определению DPPH, описанному в работе Pyrzynska K. и Pękal A [19]. Методика определения представлена в работе Н.С. Карамовой и Р.Э. Хабибуллина [20, 21].

Противоопухолевые свойства анализировали *in vitro* с помощью раковых клеток: HepG2, ЛБР2, MDA-MB-231, MCF-7, U87, Panc-1 (Cancer Center Karolinska, Швеция), методика анализа представлена в работе Бабич О.О. [22].

Устойчивость к неблагоприятным условиям ЖКТ, а именно кислотостойкость и устойчивость к желчи были определены по методикам, описанным в работе A. Sharma и ее коллег [23].

Определение биосовместимости реализовывали по капельной методике, описанной в работе Волковой Г.С. и ее коллег [24].

Для того, чтобы получить максимальное накопление биомассы при культивировании консорциумов, подбирали оптимальные питательные среды. Рассматривали прирост биомассы путем культивирования на среде Рогоза, MRS, Лактобакагаре при 37°С в течение 24 ч, измерение количества клеток проводили каждые 2 ч. Количественный учет выросших микроорганизмов проводили, используя метод разведений, представленный в работе А.И. Нетрусова и его коллег [25].

Для консорциумов изучение антимикробной активности, антибиотикорезистентности, антиоксидантной активности, противоопухолевых свойств и устойчивости к кислой среде и желчи проводили по вышеописанным методикам.

Хранение пробиотических консорциумов осуществлялось путем высушивания с помощью сублимационной сушилки «ИНЕЙ-6» (ИБП-РАН, Россия). Методика описана в работе В.А. Несчисляева и И.В. Фадеева [26].

Результаты

1.1 Идентификация колоний, выделенных из биоматериала

Результаты определения культуральных и морфологических свойств (таблица 1), выросших в анаэробных условиях колоний, выделенных из биоматериала здорового человека свидетельствовали о том, что колонии № 1 и № 2 относились к роду *Bifidobacterium*, так как имели характерные культуральные и морфологические признаки, присущие данному роду и росли на среде Блаурокка и Бифидум-среде. Колонии № 3, № 4, № 5 относились к роду *Lactobacillus* и росли на селективных средах (Рогоза, Лактобакагар, Bifidobacterium Agar). Колонии № 6, № 7, № 8 относились к роду *Streptococcus* и росли на селективной среде M17.

Результаты видовой идентификации выделенных колоний анализатором VITEK 2 Compact свидетельствовали о том, что колония:

№ 1 – *Bifidobacterium bifidum*,
№ 2 – *Bifidobacterium breve*,
№ 3 – *Lactobacillus plantarum*,
№ 4 – *Lactobacillus acidophilus*,
№ 5 – *Lactobacillus fermentum*,
№ 6 – *Streptococcus salivarius*,
№ 7 – *Streptococcus agalactiae*,
№ 8 – *Streptococcus thermophilus*.

Таблица 1.

Культуральные и морфологические свойства колоний бактерий, выросших на среде MRS

Table 1.

Cultural and morphological properties of bacterial colonies grown on MRS medium

Признаки | Signs	Колонии | Colonies			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Культуральные признаки | Cultural traits				
Форма колонии | Colony form	круглая | round	точка с хвостиком | tail point	круглая | round	
Размер колонии | Colony size	мелкие | small			
Цвет колонии | Colony color	белый | white			
Рельеф колонии | Colony relief	плоский | flat	куполообразный | dome-shaped	выпуклый | convex	
Блеск колонии | Colony glitter	блестящая | shiny			
Прозрачность колонии Colony transparency	непрозрачная | opaque			
Характер краев колонии Edges of the colony	ровные | flat	шероховатые | rough	волнистые wavy	ровные flat
Морфологические признаки | Morphological signs				
Форма | Form	палочки V-образной формы V-shaped sticks	палочки Y-образной формы Y-shaped sticks	длинные палочки ong sticks	
Подвижность | Mobility	неподвижные | motionless			
Споры | spore	отсутствуют | absent			
Окраска по Граму | Gram stain	Грам+ | Gram +			

Результаты литературного обзора, проведенного авторами, показали, что штамм *Streptococcus agalactiae* являлся патогенном, стимулирующим развитие ряда инфекционных заболеваний (менингита, пневмонии и т. п.) [27, 28], следовательно, штамм *Streptococcus agalactiae* в качестве пробиотика использоваться не может, вследствие исключен из дальнейшего исследования.

1.2 Результаты проверки пробиотических свойств выделенных штаммов

1.2.1 Исследование антимикробной активности выделенных штаммов

Полученные в ходе анализа результаты показали (таблица 2), что все исследуемые микроорганизмы, выделенные из ЖКТ человека, проявляли высокую антимикробную активность по отношению к используемым в опыте тест-культурам. К штамму *Escherichia coli* B-6954 наибольшую активность проявлял *Bifidobacterium bifidum*, к *Bacillus fastidiosus* B-5651 – *Lactobacillus plantarum*, к штамму *Pseudomonas fluorescens* B-3502 – *Lactobacillus fermentum*, к штамму *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027 – *Streptococcus thermophilus*, к штамму *Leuconostoc mesenteroides* B-8404 – *Streptococcus thermophiles*, к штамму *Candida albicans* ATCC 885–653 и *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 – *Streptococcus salivarius*.Исследование устойчивости выделенных штаммов к действию антибиотиков.

Таблица 2.

Антимикробная активность выделенных чистых культур из ЖКТ человека

Table 2.

Antimicrobial activity of isolated pure cultures from the human gastrointestinal tract

Тест-культуры Test cultures	*Bifidobacterium bifidum*	*Bifidobacterium breve*	*Lactobacillus plantarum*	*Lactobacillus acidophilus*	*Lactobacillus fermentum*	*Streptococcus salivarius*	*Streptococcus thermophilus*
	Диаметр зон подавления роста тест-культур, мм Diameter of zones of suppression of growth of test cultures, mm						
Escherichia coli B-6954	37,0±1,0	28,4±1,5	27,3±1,3	26,7±1,1	29,0±1,9	34,0±1,6	33,9±1,4
Bacillus fastidiosus B-5651	29,1±1,3	29,8±1,9	34,1±1,6	32,0±1,3	31,8±1,6	27,7±1,6	27,7±1,5
Pseudomonas fluorescens B-3502	33,0±1,5	34,2±1,1	32,8±1,5	31,7±1,2	33,4±1,5	29,6±1,4	25,3±1,3
Pseudomonas aeruginosa ATCC 9027	29,3±1,2	35,8±1,2	28,6±1,2	27,2±1,4	29,6±1,3	35,6±1,6	36,4±1,5
Leuconostoc mesenteroides B-8404	31,2±1,3	27,1±1,9	27,6±1,3	28,7±1,6	30,1±1,2	33,2±1,7	35,7±1,8
Candida albicans ATCC 885–653	33,5±1,6	30,0±1,6	29,0±1,4	30,0±1,8	35,2±1,5	36,4±1,5	34,2±1,7
Staphylococcus aureus ATCC 25923	37,2±1,2	32,2±1,8	33,9±1,7	31,8±1,5	30,6±1,2	37,9±1,1	32,2±1,6

Полученные в ходе исследования результаты (таблица 3) свидетельствовали о том, что выделенные из ЖКТ штаммы имели различную устойчивость к действию антибиотиков. Так, штаммы *Bifidobacterium breve* и *Lactobacillus plantarum* обладали устойчивостью к действию бензилпенициллина, *Lactobacillus plantarum, Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus fermentum* – к действию стрептомицина. Штаммами с умеренной устойчивостью относились: *Streptococcus salivarius* – к действию бензилпенициллина; *Lactobacillus plantarum, Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus fermentum* – к действию тетрациклина и гентамицина; *Lactobacillus plantarum, Lactobacillus acidophilus* – к действию канамицина; *Lactobacillus fermentum* – к действию хлорамфеникола.

Таблица 3.

Антибиотикорезистентность выделенных чистых культур из ЖКТ

Table 3.

Antibiotic resistance of isolated pure cultures from the gastrointestinal tract

Антибиотик Antibiotic	*Bifidobacterium bifidum*	*Bifidobacterium breve*	*Lactobacillus plantarum*	*Lactobacillus acidophilus*	*Lactobacillus fermentum*	*Streptococcus salivarius*	*Streptococcus thermophilus*
	Диаметр зон ингибирования роста, мм | Diameter of growth inhibition zones, mm						
Бензилпенициллин Benzylpenicillin	36,4±1,2	3,3±0,5	14,3±0,9	29,2±1,5	33,1±1,5	18,7±0,8	34,6±1,3
Стрептомицин Streptomycin	33,3±1,7	28,1±1,3	7,5±0,5	7,7±0,6	10,8±1,0	35,1±1,9	33,1±1,5
Тетрациклин Tetracycline	27,5±1,3	32,1±1,3	18,3±1,8	19,2±1,1	20,2±1,3	23,1±1,2	34,3±1,7
Ампициллин Ampicillin	28,3 ±1,1	32,3±1,2	32,0±1,2	35,3±1,8	29,8±1,6	24,2±1,6	37,3±1,4
Канамицин Kanamycin	25,1±1,9	27,9±1,8	15,2±1,6	15,2±0,7	23,9±1,6	31,1±152	32,3±1,9
Хлорамфеникол Chloropamfenikol	22,8±1,3	29,1±1,2	31,2±1,9	36,1±1,2	19,9±1,8	27,3±1,6	30,9±1,9
Гентамицин Gentamicin	35,5±1,6	33,4±1,6	19,2±1,1	18,3±1,8	17,9±1,9	32,4±1,6	30,1±1,2

1.2.2 Исследование антиоксидантной активности выделенных штаммов

Результаты исследования антиоксидантной активности свидетельствовали о том, что все исследуемые микроорганизмы проявляли способность нейтрализовать свободные радикалы (таблица 4). Антиоксидантная активность зависела от фазы роста штаммов, так восстановление реагента DPPH более интенсивно при 2 ч культивирования, чем при 7 ч и 25 ч, то есть с увеличением продолжительности роста – снижалась антиоксидантная активность.

Таблица 4.

Оптическая плотность исследуемых супернатантов, полученных при культивировании штаммов

Table 4.

Optical density of the studied supernatants obtained by cultivating the strains

Образцы | Samples	Оптическая плотность (при длине волны 517 нм) Optical density (at a wavelength of 517 nm)			
	2 ч | 2 h	4 ч | 4 h	7 ч | 7 h	25 ч | 25 h
DPPH	1,78±0,09	1,78±0,09	1,78±0,09	1,78±0,09
Bifidobacterium bifidum	1,05±0,06	1,07±0,06	1,10±0,07	1,13±0,08
Bifidobacterium breve	1,05±0,07	1,08±0,06	1,11±0,07	1,13±0,08
Lactobacillus plantarum	1,07±0,07	1,09±0,09	1,13±0,08	1,17±0,09
Lactobacillus acidophilus	1,08±0,08	1,09±0,08	1,11±0,07	1,17±0,09
Lactobacillus fermentum	1,09±0,07	1,08±0,06	1,14±0,09	1,18±0,07
Streptococcus salivarius	1,10±0,06	1,12±0,07	1,16±0,08	1,19±0,05
Streptococcus thermophilus	1,10±0,05	1,14±0,07	1,18±0,08	1,21±0,09

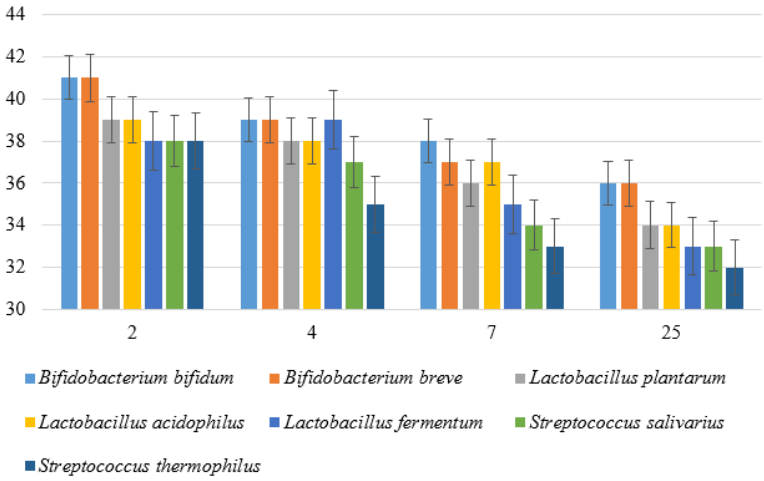


Рисунок 2. Антиоксидантная активность супернатанта штаммов, выделенных из ЖКТ человека

Figure 2. Antioxidant activity of the supernatant of strains isolated from the human gastrointestinal tract

1.2.3 Исследования противоопухолевых свойств штаммов, выделенных из ЖКТ

Результаты исследования показали (таблица 5), что все исследуемые штаммы проявляли противоопухолевое действие по отношению к различным типам раковых клеток. Наибольшей активностью обладали штаммы *Bifidobacterium breve, Lactobacillus plantarum* и *Lactobacillus acidophilus*.

Таблица 5.

Противоопухолевое действие исследуемых штаммов различной концентрации на жизнеспособность ряда раковых клеток

Table 5.

Antitumor effect of the studied strains of various concentrations on a number of cancer cells

Концентрация микроорганизмов, КОЕ/мл | Concentration microorganisms, CFU/ml	Клеточная линия | Cell line					
	HepG2	ЛБР2	MDA-MB-231	MCF-7	U87	Panc-1
	Количество жизнеспособных клеток, % | The number of viable cells, %					
Bifidobacterium bifidum						
10^5	98,3±0,9	87,2±1,6	79,1±1,1	92,2±1,2	90,3±1,5	80,3±1,3
10^7	58,1±0,8	43,5±1,7	39,2±1,3	50,3±1,8	52,8±1,6	38,9±1,1
Bifidobacterium breve						
10^5	63,2±0,5	63,9±0,9	55,2±0,2	65,2±0,4	71,2±1,1	58,2±1,6
10^7	32,6±0,7	33,2±0,2	29,1±0,5	34,2±0,6	39,2±1,2	30,2±1,1
Lactobacillus plantarum						
10^5	56,2±0,9	52,1±0,7	60,9±1,5	61,1±0,8	58,3±0,7	65,1±1,2
10^7	31,3±0,5	26,5±1,2	32,1±1,9	28,4±0,8	28,8±1,1	32,1±0,6
Lactobacillus acidophilus						
10^5	60,9±0,8	76,1±0,9	71,2±0,9	74,1±1,0	61,1±0,7	59,1±0,4
10^7	16,1±0,3	33,2±0,4	19,1±0,5	22,0±0,9	19,9±1,1	23,2±0,5
Lactobacillus fermentum						
10^5	87,1±1,2	99,1±1,2	68,2±0,8	78,1±1,2	87,2±1,6	91,9±1,4
10^7	36,3±0,6	50,9±0,9	33,4±1,1	35,4±0,9	45,3±0,7	49,3±0,5
Streptococcus salivarius						
10^5	81,1±1,3	92,9±1,4	75,2±1,1	83,9±1,0	77,2±1,3	73,2±1,2
10^7	42,1±0,7	50,1±0,8	38,5±0,5	45,0±0,2	36,1±0,4	40,0±0,2
Streptococcus thermophilus						
10^5	87,9±0,9	90,3±0,2	95,5±0,3	93,1±1,2	65,9±1,5	79,2±0,8
10^7	45,5±0,2	47,9±1,3	57,0±0,2	65,2±0,9	48,2±1,2	43,5±0,5

1.2.4 Исследования устойчивости выделенных штаммов к неблагоприятным условиям ЖКТ

Результаты исследования (таблица 6) свидетельствовали о том, что штаммы исследуемых культур не теряли свою жизнеспособность при воздействии сред с низкими значениями pH и желчи различной концентрации в течение 2 ч.

Таблица 6.

Устойчивость исследуемых штаммов к различным значениям pH желчи различной концентрации

Table 6.

Resistance of the studied strains to different pH values of bile of different concentrations

Образцы | Samples	Выживаемость клеток (%) при различном pH | Cell survival (%) at different pH											
	30 мин | 30 mins			60 мин | 60 mins			90 мин | 90 mins			120 мин | 120 mins		
	pH2	pH3	pH4	pH2	pH3	pH4	pH2	pH3	pH4	pH2	pH3	pH4
Bifidobacterium bifidum	60,2 ±0,2	72,3 ±0,1	83,2 ±0,5	52,3 ±0,4	65,4 ±0,3	75,3 ±0,5	48,8 ±0,3	62,1 ±0,6	70,8 ±0,2	43,2 ±0,7	59,3 ±0,7	62,4 ±0,9
Bifidobacterium breve	71,2 ±0,8	86,4 ±0,3	98,2 ±0,2	65,0 ±0,9	81,6 ±0,2	90,9 ±0,4	60,8 ±0,1	74,9 ±0,3	85,8 ±0,3	55,1 ±1,1	64,9 ±0,2	79,8 ±0,5
Lactobacillus plantarum	72,0 ±0,2	85,3 ±0,7	96,1 ±0,3	66,3 ±0,2	79,5 ±0,6	89,9 ±0,1	64,3 ±0,6	75,9 ±0,1	85,1 ±0,6	60,3 ±0,8	73,9 ±0,3	80,8 ±0,6
Lactobacillus acidophilus	73,1 ±1,2	87,6 ±0,3	97,1 ±0,9	70,3 ±0,8	82,1 ±0,3	94,1 ±0,9	67,2 ±0,1	79,3 ±0,5	89,3 ±0,4	60,1 ±1,1	74,1 ±0,9	81,3 ±1,2
Lactobacillus fermentum	70,2 ±0,8	80,4 ±0,5	92,2 ±0,2	65,3 ±0,5	69,1 ±0,8	75,9 ±0,4	89,9 ±0,2	63,9 ±0,9	85,8 ±0,3	55,1 ±1,1	64,9 ±0,2	79,8 ±0,5
Streptococcus salivarius	70,2 ±0,5	81,1 ±0,2	91,2 ±0,5	64,9 ±0,5	79,2 ±0,6	85,9 ±0,2	60,2 ±0,9	70,1 ±0,6	80,1 ±0,2	59,3 ±0,5	66,7 ±0,6	75,9 ±0,2
Streptococcus thermophilus	75,1 ±1,6	88,2 ±0,8	93,9 ±0,2	72,1 ±0,2	85,3 ±0,6	89,9 ±0,2	68,1 ±0,6	70,9 ±0,1	82,4 ±0,9	65,3 ±0,9	70,1 ±0,5	75,9 ±1,3
Выживаемость клеток (%) при различной концентрации желчи | Cell survival (%) in the assimilation of bile												
Образцы | Samples	0,3%	0,5%	1,0%	0,3%	0,5%	1,0%	0,3%	0,5%	1,0%	0,3%	0,5%	1,0%
Bifidobacterium bifidum	70,2 ±0,3	80,3 ±0,2	93,2 ±0,5	68,1 ±0,6	78,6 ±0,4	90,1 ±0,1	65,6 ±0,2	72,1 ±0,3	84,9 ±0,6	61,2 ±0,6	68,9 ±0,1	70,1 ±0,1
Bifidobacterium breve	70,6 ±0,1	82,1 ±0,3	91,9 ±0,2	68,9 ±0,2	79,2 ±0,6	89,5 ±0,6	64,9 ±0,3	75,6 ±0,4	85,7 ±0,4	60,1 ±0,1	71,1 ±0,2	80,9 ±0,3
Lactobacillus plantarum	73,4 ±0,6	87,1 ±0,2	97,2 ±0,1	70,1 ±0,3	84,1 ±0,2	95,3 ±0,2	67,9 ±0,1	80,2 ±0,6	90,5 ±0,3	63,2 ±0,1	78,3 ±0,1	86,9 ±0,1
Lactobacillus acidophilus	70,6 ±0,6	85,2 ±0,1	93,1 ±0,2	68,9 ±0,1	80,1 ±0,1	90,2 ±0,1	62,1 ±0,3	78,1 ±0,1	89,1 ±0,3	60,1 ±0,1	74,3 ±0,2	84,9 ±1,0
Lactobacillus fermentum	73,5 ±0,2	85,9 ±0,1	98,1 ±1,1	71,0 ±0,1	83,5 ±0,1	94,9 ±0,1	69,1 ±0,2	80,4 ±0,2	90,1 ±0,1	66,0 ±0,6	77,9 ±0,2	87,2 ±0,5
Streptococcus salivarius	70,0 ±0,2	80,0 ±0,6	90,6 ±0,4	65,9 ±0,2	75,6 ±0,4	87,1 ±0,3	62,6 ±0,2	70,1 ±0,1	82,1 ±0,1	60,1 ±0,1	67,2 ±0,1	77,2 ±0,1
Streptococcus thermophilus	70,6 ±0,2	82,6 ±0,2	93,0 ±0,6	69,1 ±0,5	80,1 ±0,1	89,9 ±0,9	65,9 ±0,1	68,1 ±0,1	78,9 ±0,9	63,4 ±0,5	67,1 ±0,2	74,9 ±0,2
Bifidobacterium bifidum	70,2 ±0,3	80,3 ±0,2	93,2 ±0,5	68,1 ±0,6	78,6 ±0,4	90,1 ±0,1	65,6 ±0,2	72,1 ±0,3	84,9 ±0,6	61,2 ±0,6	68,9 ±0,1	70,1 ±0,1

1.3 Результаты разработки консорциумов и изучения их пробиотических свойств

1.3.1 Анализ биосовместимости исследуемых штаммов

Результаты исследования показали (таблица 7), что анализируемые микроорганизмы проявляли необходимые свойства для того, чтобы их можно было использовать в качестве пробиотиков. К тому же, наличие биосовместимости различных штаммов позволяло создавать на их основе пробиотические консорциумы, использование которых актуально для профилактики возникновения канцерогенеза.

Таблица 7.

Биосовместимость исследуемых штаммов, выделенных из ЖКТ человека

Table 7.

Biocompatibility of the studied strains isolated from the human gastrointestinal tract

Штамм | Strain	*B.bifidum*	*B.breve*	*L. plantarum*	*L. acidophilus*	*L. fermentum*	*S. salivarius*	*S.thermophilus*
B. bifidum		+	+	+	+	±	±
B. breve	+		+	+	+	+	+
L. plantarum	+	+		+	+	±	±
L.acidophilus	+	+	+		±	-	-
L. fermentum	+	+	+	±		+	+
S. salivarius	±	+	±	-	+		+
S. thermophilus	±	+	±	-	+	+	

«+» – биосовместимы, «–» – бионесовместимы, «±» – слабый антагонизм, «-+» – сильный антагонизм |
«+» – biocompatible, «-» – bio-incompatible, «±» – weak antagonism, «±» – strong antagonism

1.3.2 Разработка консорциума из выделенных штаммов

На основании данных о биосовместимости были выбраны консорциумы следующего состава:

- № 1: *Bifidobacterium bifidum* + *Bifidobacterium breve* + *Lactobacillus plantarum* + *Lactobacillus acidophilus* (1:1:1:1);
- № 2: *Bifidobacterium bifidum* + *Bifidobacterium breve* + *Lactobacillus plantarum* + *Lactobacillus fermentum* (1:1:1:1);
- № 3: *Bifidobacterium breve* + *Lactobacillus fermentum* + *Streptococcus salivarius* (1:1:1);
- № 4: *Bifidobacterium breve* + *Lactobacillus fermentum* + *Streptococcus thermophiles* (1:1:1).

Осуществлялся подбор питательной среды для максимального накопления биомассы и дальнейшего хранения консорциумов путем исследования прироста биомасс (рисунок 2). Результаты свидетельствовали о том, что наибольший прирост клеточной биомассы консорциумов № 1 и № 2 наблюдался на питательной среде Рогоза, а № 3 и № 4 на среде MRS, в результате данные среды целесообразно использовать и для дальнейшего хранения смеси штаммов.

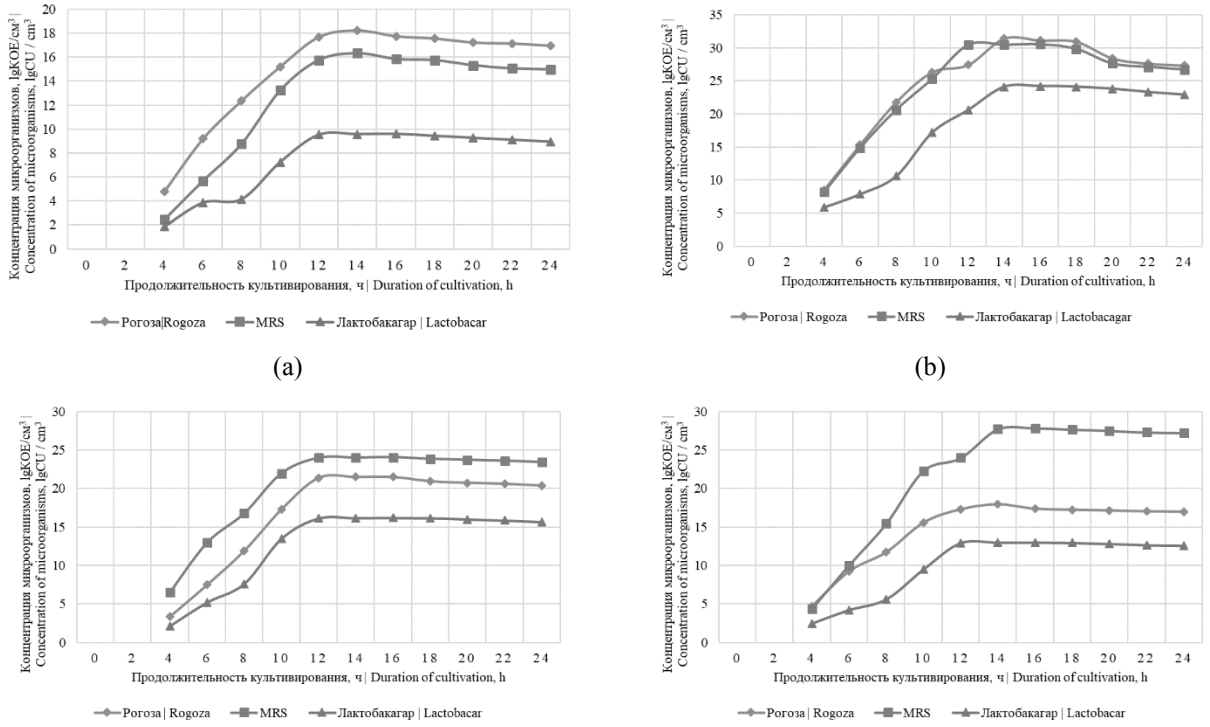


Рисунок 2. Прирост биомассы консорциумов при культивировании на различных питательных средах: (a) культивирование консорциума № 1; (b) культивирование консорциума № 2; (c) культивирование консорциума № 3; (d) культивирование консорциума № 4

Figure 2. Increase in the biomass of consortia when cultivated on various nutrient media: (a) cultivation of consortium № 1; (b) cultivation of consortium № 2; (c) cultivation of consortium № 3; (d) cultivation of consortium № 4

Для того чтобы оценить пригодность выбранных консорциумов в качестве пробиотиков необходимо определить наличие антимикробной активности, устойчивости к действию антибиотиков, антиоксидантной активности, противоопухолевых свойств и устойчивости к действию желчи и кислот.

1.3.3 Определение пробиотических свойств консорциумов

1.3.3.1 Антимикробная активность консорциумов

Результаты исследования показали (таблица 8), что все исследуемые консорциумы проявляли высокую антимикробную активность по отношению к патогенным и условно-патогенным тест-культурам. Так, наибольшую активность к штаммам *Escherichia coli* B-6954, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027, *Candida albicans* ATCC 885–653 проявлял консорциум № 2, к штаммам *Bacillus fastidiosus* B-5651 и *Leuconostoc mesenteroides* B-8404 консорциум № 1, к штамму *Pseudomonas fluorescens* B-3502 консорциум № 3, к штамму *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 консорциум № 4.

Таблица 8.
Антимикробная активность консорциумов
Table 8.
Antimicrobial activity of consortia

Тест-культуры Test cultures	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
	Диаметр зон подавления роста тест-культур, мм Diameter of zones of suppression of growth of test cultures, mm			
Escherichia coli B-6954	38,2 ±1,2	38,7 ±1,9	24,4 ±1,1	26,8 ±1,3
Bacillus fastidiosus B-5651	33,1 ±1,3	32,5 ±1,2	30,1 ±1,1	31,4 ±1,2
Pseudomonas fluorescens B-3502	30,6 ±1,1	30,1 ±1,4	33,8 ±1,1	32,9 ±1,6
Pseudomonas aeruginosa ATCC 9027	28,1 ±1,3	32,4 ±1,1	27,5 ±1,4	27,9 ±1,3
Leuconostoc mesenteroides B-8404	35,3 ±1,2	34,8 ±1,1	35,2 ±1,8	30,7 ±1,2
Candida albicans ATCC 885–653	31,4 ±1,4	32,0 ±1,1	28,7 ±1,1	30,0 ±1,5
Staphylococcus aureus ATCC 25923	34,5 ±1,2	31,2 ±1,6	35,1 ±1,1	37,1 ±1,3

1.3.3.2 Антибиотикорезестентность консорциумов

Результаты анализа свидетельствовали о том (таблица 9), что консорциумы имели различную устойчивость к действию антибиотиков. Консорциум № 1 и № 2 чувствительны к действию ампициллина, но умерено устойчивы к действию всех других антибиотиков. Консорциум № 3 обладал умеренной устойчивостью к действию бензилпенициллина и тетрациклина, а консорциум № 4 только умеренную устойчивость к действию тетрациклина.

Таблица 9.
Антибиотикорезистентность консорциумов
Table 9.
Antibiotic resistance of consortia

Антибиотик Antibiotic	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
	Диаметр зон ингибирования роста, мм | Diameter of growth inhibition zones, mm			
Бензилпенициллин Benzylpenicillin	18,9 ±1,8	19,3 ±1,6	20,8 ±1,7	23,2 ±1,5
Стрептомицин Streptomycin	20,8 ±1,1	20,1 ±1,7	27,1 ±0,5	25,7 ±0,7
Тетрациклин Tetracycline	20,4 ±1,9	20,3 ±1,5	20,9 ±0,8	20,9 ±0,1
Ампициллин Ampicillin	32,1 ±1,4	32,1 ±1,1	32,0 ±1,4	33,3 ±1,2
Канамицин Kanamycin	20,9 ±0,1	20,3 ±1,5	24,1 ±1,8	27,1 ±1,1
Хлорамфеникол Chloropamfenikol	20,8 ±1,4	20,9 ±0,2	21,2 ±1,6	22,3 ±1,4
Гентамицин Gentamicin	20,1 ±1,7	20,0 ±1,4	21,1 ±0,9	23,1 ±1,1

1.3.3.3 Антиоксидантная активность консорциумов

Результаты свидетельствовали о том (таблица 10, рисунок 3), что все исследуемые консорциумы обладали антиоксидантной активностью.

Таблица 10.
Оптическая плотность исследуемых супернатантов
Table 10.
Optical density of the studied supernatants

Образцы| Samples	Оптическая плотность (при длине волны 517 нм) | Optical density (at a wavelength of 517 nm)			
	2 ч| 2 h	4 ч| 4 h	7 ч| 7 h	25 ч| 25 h
DPPH	1,78± 0,09	1,78± 0,09	1,78± 0,09	1,78± 0,09
№ 1	1,13± 0,09	1,26± 0,10	1,40± 0,10	1,57± 0,29
№ 2	1,12 ±0,08	1,25± 0,08	1,38± 0,53	1,54± 0,21
№ 3	1,23± 0,12	1,31± 0,192	1,52± 0,39	1,72± 0,21
№ 4	1,25± 0,10	1,33± 0,12	1,55± 0,42	1,73± 0,19

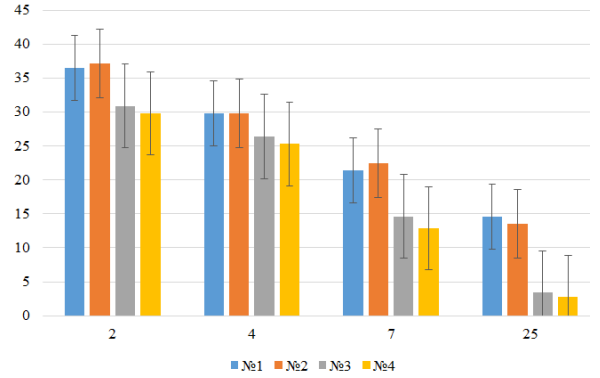


Рисунок 3. Антиоксидантная активность супернатанта консорциумов
Figure 3. Antioxidant activity of consortium supernatant

Результаты также показали, что с увеличением продолжительности роста – снижалась антиоксидантная активность. Наибольшей антиоксидантной активностью обладал консорциум № 1.

1.3.3.4 Противоопухолевые свойства консорциумов

По результатам исследования видно (таблица 11), что все исследуемые консорциумы проявляли противоопухолевое действие по отношению к раковым клеткам (HepG2, ЛБР2, MDA-MB-231, MCF-7, U87, Panc-1). Наибольшей активностью обладал консорциум № 4.

1.3.3.5 Устойчивость консорциумов к кислотам и желчи

Результаты свидетельствовали о том (таблица 12), что исследуемые консорциумы не теряли свою жизнеспособность при низких значениях pH и при воздействии желчи различной концентрации в течение 2 ч. Наибольшую устойчивость за рассматриваемый промежуток времени проявлял консорциум № 2

Таблица 11.

Противоопухолевое действие исследуемых консорциумов различной концентрации на жизнеспособность ряда раковых клеток

Table 11.

Antitumor effect of the studied consortia of various concentrations on a number of cancer cells

Концентрация микроорганизмов, КОЕ/мл | Concentration microorganisms, CFU/ml	Клеточная линия | Cell line					
	HepG2	ЛБР2	MDA-MB-231	MCF-7	U87	Panc-1
	Количество жизнеспособных клеток, % | The number of viable cells, %					
№ 1						
10^5	64,3±1,4	79,4±1,8	73,5±1,7	77,2±2,1	63,4±1,4	61,4±1,8
10^7	16,5±1,0	34,7±1,5	19,4±1,1	22,3±1,6	20,8±1,2	25,3±1,3
№ 2						
10^5	89,3±1,4	85,2±1,5	75,3±2,2	80,1±2,4	91,5±1,7	96,2±1,6
10^7	35,9±2,7	54,6±1,7	34,1±1,5	36,2±1,6	49,2±0,9	51,2±2,1
№ 3						
10^5	64,5±1,1	85,4±1,1	70,2±1,2	71,3±2,3	60,1±1,5	62,5±1,2
10^7	14,3±1,7	37,2±1,6	25,2±2,1	21,5±1,7	21,3±1,4	23,2±1,1
№ 4						
10^5	60,5±2,4	69,9±2,8	70,4±1,8	74,4±2,7	62,1±1,1	59,9±1,8
10^7	12,5±2,6	27,5±1,9	15,9±1,7	25,7±1,1	20,1±1,3	23,1±0,9

Таблица 12.

Устойчивость исследуемых консорциумов к pH и желчи

Table 12.

Resistance of the studied consortia to pH and bile

Образцы Samples	Выживаемость клеток (%) при различном pH | Cell survival (%) at different pH											
	30 мин | 30 mins			60 мин			30 мин | 30 mins			120 мин | 120 mins		
	pH2	pH3	pH4	pH2	pH3	pH4	pH2	pH3	pH4	pH2	pH3	pH4
№ 1	72,8 ±1,2	86,7 ±0,2	95,1 ±0,7	67,8 ±0,6	82,2 ±0,3	88,6 ±0,9	64,5 ±0,3	73,6 ±0,5	80,9 ±0,2	62,7 ±0,5	72,4 ±0,4	76,9 ±1,6
№ 2	68,2 ±0,8	82,1 ±0,1	92,8 ±0,2	62,5 ±0,5	76,4 ±0,3	85,2± 0,5	58,8 ±0,1	72,5 ±0,2	82,2 ±0,5	52,9 ±0,1	66,4 ±0,5	74,4 ±0,4
№ 3	70,6 ±0,2	79,3 ±0,5	95,6 ±0,2	64,1 ±0,7	75,5 ±0,2	83,4 ±0,3	75,8 ±0,3	74,9 ±0,1	83,4 ±0,3	65,1 ±0,1	64,9 ±0,3	73,2 ±0,9
№ 4	72,2 ±1,1	85,1 ±0,3	94,6 ±0,9	67,4 ±0,8	78,7 ±0,1	85,6 ±0,8	72,3 ±0,2	65,9 ±0,9	84,6 ±0,2	58,5 ±0,3	66,7 ±0,7	72,1 ±1,1
Выживаемость клеток (%) при различной концентрации желчи | Cell survival (%) in the assimilation of bile												
Образцы Samples	0,3%	0,5%	1,0%	0,3%	0,5%	1,0%	0,3%	0,5%	1,0%	0,3%	0,5%	1,0%
№ 1	70,4 ±0,1	81,4 ±0,5	94,3 ±0,4	69,2 ±0,1	78,9 ±0,2	93,2 ±0,4	66,1 ±0,3	75,1 ±0,8	89,1 ±0,1	61,3 ±0,4	71,0 ±0,9	83,1 ±0,9
№ 2	74,7 ±0,6	86,7 ±0,2	98,1 ±1,1	73,2 ±0,7	83,6 ±0,5	94,2 ±0,6	69,9 ±0,4	79,9 ±0,1	90,2 ±0,2	66,2 ±0,3	75,3 ±0,1	86,9 ±0,4
№ 3	72,8 ±0,3	83,2 ±0,4	94,2 ±0,4	69,3 ±0,5	80,1 ±0,1	90,8 ±0,6	65,4 ±0,5	77,1 ±0,6	87,3 ±0,1	62,5 ±0,5	71,2 ±0,4	82,3 ±0,5
№ 4	72,2 ±0,1	86,3 ±0,2	95,1 ±0,3	69,1 ±0,3	81,3 ±0,5	91,3 ±0,1	66,7 ±0,4	78,2 ±0,3	89,4 ±0,2	63,1 ±0,4	72,3 ±0,6	85,1 ±0,3
№ 1	70,4 ±0,1	81,4 ±0,5	94,3 ±0,4	69,2 ±0,1	78,9 ±0,2	93,2 ±0,4	66,1 ±0,3	75,1 ±0,8	89,1 ±0,1	61,3 ±0,4	71,0 ±0,9	83,1 ±0,9

Хранение консорциумов осуществлялось с помощью сублимационного высушивания по методике, описанной в материалах и методах.

Обсуждение

В ходе данной работы составлены консорциумы из штаммов, выделенных из ЖКТ здорового человека. Выделенные микроорганизмы были идентифицированы как *Bifidobacterium bifidum, Bifidobacterium breve, Lactobacillus plantarum, Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus fermentum, Streptococcus salivarius, Streptococcus thermophilus*. Данные штаммы, как и консорциумы на их основе, обладали антимикробной, антиоксидантной активностью, проявляли противоопухолевое действие, устойчивость к действию антибиотиков и негативным условиям ЖКТ (к желчи и кислой среде).

По результатам литературного обзора установлено, что в основном учеными разрабатываются пробиотические консорциумы, в состав которых входят штаммы рода *Lactobacillus* [15, 16]. Авторами данной работы разработаны консорциумы, помимо *Lactobacillus*, включающие в себя штаммы рода *Bifidobacterium* и *Streptococcus*: №1 – *B. bifidum*, *B. breve, L. plantarum, L. acidophilus*, №2 – *B. bifidum, B. breve, L. plantarum, L. fermentum*, №3 – *B. breve, L. fermentum, S. salivarius*, №4 – *B. breve, L. fermentum, S. thermophiles.* Такие консорциумы проявляли более активные пробиотические свойства. Антимикробную активность к наибольшему количеству патогенных и условно-патогенных тест-культур проявлял консорциум № 2. Умеренную устойчивость к наибольшему числу антибиотиков проявляли консорциумы № 1 и № 2. Наибольшей антиоксидантной активностью обладал консорциум № 1. Наиболее выраженными противораковыми свойствами в концентрации 10^7 по отношению к клеткам HepG2, ЛБР2, MDA-MB-231, U87 и Panc-1 обладал консорциум № 4, а к MCF-7 – № 3. Наибольшую устойчивость к средам с низкой кислотностью и желчи проявлял консорциум № 2. Благодаря наличию таких свойств штаммы и консорциумы на их основе можно использовать в качестве пробиотиков для профилактики онкологических заболеваний.

Недостатком данной работы является отсутствие исследований качественного и количественного состава микробных метаболитов, а также клинических испытаний для подтверждения эффективности разработанных пробиотиков. Авторы данной работы планируют в дальнейшем устранить обозначенные ограничения, а также разработать рецептуру и технологическую схему функционального продукта питания на основе разработанных консорциумов.

Заключение

По данным ВОЗ онкологические заболевания занимают лидирующие позиции по смертности населения, в результате чего актуальна разработка профилактических мероприятий, антиканцерогенной направленности [29]. Систематическое употребление пробиотических средств, в виде биологически активных добавок и / или пробиотических, синбиотических продуктов питания – может является важной составляющей противораковой терапии, так как пробиотики участвуют в нормализации работы микрофлоры ЖКТ, функционирование которой напрямую влияет на состояние здоровья человека, на возникновение воспалительных, канцерогенных и прочих процессов.

В данной работе представлен алгоритм разработки индивидуального пробиотического консорциума, который включал в себя выделение и идентификацию микроорганизмов ЖКТ, проверку их пробиотических свойств, подбор соотношений штаммов консорциумов, проверку их активности. Данный алгоритм может в дальнейшем использоваться в качестве начального этапа для создания индивидуальных молочнокислых продуктов питания, имеющих противораковые свойства.

Благодарности

Авторы выражают благодарность ФГБУ «Кемеровская МВЛ» за предоставление патогенных и условно-патогенных штаммов. Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ при государственной поддержке ведущих научных школ (НШ-2694.2020.4).

Литература

1 Корниенко Е.А. Микробиота кишечника как ключевой фактор формирования иммунитета и толерантности. Возможности пробиотиков // Медицинский совет. 2020. № 10. С. 92–100. doi: 10.21518/2079–701X-2020–10–92–100

2 Badgeley A., Anwar H., Modi K., Murphy P., Lakshmikuttyamma A. Effect of probiotics and gut microbiota on anti-cancer drugs: Mechanistic perspectives // Reviews on Cancer. 2021. V. 1875. № 1. doi: 10.1016/j.bbcan.2020.188494

3 Morkūnas E., Skiecevičienė J., Kupčinskas J. The impact of modulating the gastrointestinal microbiota in cancer patients // Best Practice & Research Clinical Gastroenterology. 2020. V. 48–49. P. 101700. doi: 10.1016/j.bpg.2020.101700

4 Gori S., Inno A., Belluomini L., Bocus P. et al. Gut microbiota and cancer: How gut microbiota modulates activity, efficacy and toxicity of antitumoral therapy // Critical Reviews in Oncology/Hematology. 2019. V. 143. P. 139–147. doi: 10.1016/j.critrevonc.2019.09.003

5 Малихова О.А., Карасев И.А., Давыдкина Т.С., Верещак В.В. и др. Кишечный микробиом и колоректальный рак. Обзор литературы // Поволжский онкологический вестник. 2019. Т. 10. № 4 (41). С. 45–51.

6 Мулендеев С.В., Соловьёв И.А., Шостка К.Г., Арутюнян К.В. и др. Роль дисбиоза кишечника в этиологии и профиликтике колоректального рака // Профилактическая и клиническая медицина. 2017. № 4 (65). С. 55–60.

7 Mego M., Holec V., Drgona L., Hainova K. et al . Probiotic bacteria in cancer patients un-dergoing chemotherapy and radiation therapy // Complementary Therapies in Medicine. 2013. V. 21. I. 6. P. 712–723. doi: 10.1016/j.ctim.2013.08.018

8 Markowiak P., Śliżewska K. Effects of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics on Human Health // Nutrients. 2017. № 9 (9). P. 1021. doi: 10.3390/nu9091021

9 Домотенко Л.В., Шепелин А.П. Бифидум-среда для выделения и культивирования бифидобактерий // Инфекция и иммунитет. 2014. № 4(3). С. 279–283. doi: 10.15789/2220–7619–2014–3–279–283

10 Домотенко Л.В., Шепелин А.П., Детушев К.В. Сравнительные испытания лактобакагара и MRS агара // Курский научно-практический вестник человек и его здоровье. 2014. № 4. С. 5–10.

11 de Man J.C., Rogosa M., Sharpe M.E. A medium for the cultivation of lactobacilli // J Appl Bacteriol. 1960. № 23. P. 130–135.

12 ГОСТ 10444.11–89 Продукты пищевые. Методы определения молочнокислых микроорганизмов. Продукты пищевые, консервы. Методы микробиологического анализа. М.: Стандартинформ, 2010.

13 ГОСТ Р 56139–2014 Продукты пищевые специализированные и функциональные. Методы определения и подсчета пробиотических микроорганизмов (с Изменением № 1). М.: Стандартинформ, 2015. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200115455

14 Bergey's manual of systematic bacteriology. Second edition. Volume three. The Firmicutes – Springer Science+Business Media. 2009. P. 1422.

15 Davoodabadi A., Dallal M.M., Foroushani A.R., Douraghi M. Harati F.A. Antibacterial activity of Lactobacillus spp. isolated from the feces of healthy infants against enteropathogenic bacteria // Anaerobe. 2015. № 34. P. 53–58. doi: 10.1016/j.anaerobe.2015.04.014.

16 Jomehzadeh N., Javaherizadeh H., Amin M., Saki M. et al. Isolation and identification of potential probiotic Lactobacillus species from feces of infants in southwest Iran // International Journal of Infectious Diseases. 2020. V. 96. P. 524–530. doi: 10.1016/j.ijid.2020.05.034

17 Yang Y., Babich O., Sukhikh S, Zimina M. et al. Antibiotic activity and resistance of lactic acid bacteria and other antagonistic bacteriocin-producing microorganisms // Foods and Raw Materials. 2020. V. 8. № 2. P. 377–384. doi: 10.21603/2308–4057–2020–2–377–384

18 Hashemi S.M., Shahidi F., Mortazavi S.A., Milani E. et al. Potentially probiotic Lactobacillus strains from traditional Kurdish cheese // Probiotics Antimicrob Proteins. 2014. № 6. P. 22–31. doi: 10.1007/s12602–014–9155–5

19 Pyrzynska K., Pękal A. Application of free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) to estimate the antioxidant capacity of food samples (Review) // Anal. Methods. 2013. № 5. P. 4288–4295. doi: 10.1039/C3AY40367J

20 Карамовой Н.С., Хабибуллина Р.Э. Антирадикальные свойства Lactobacillus acidophilus n.v. Ep. 317/402 in vitro // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 23. С. 127–129. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp? id=20916564

21 Мальцева Е.М., Егорова Н.О., Егорова И.Н., Мухамадияров Р.А. Антиоксидантная и антирадикальная активность in vitro экстрактов травы Sanguisorba officinalis L., собранной в различные фазы развития // МвК. 2017. Т. 16. № 2. С. 32–37.

22 Бабич О.О., Асякина Л.К., Шишин М.В. Методика определения цитотоксических свойств микроорганизмов, выделенных из желудочно-кишечного тракта человека // Современная наука: тенденции развития. 2016. № 13. С. 146–150.

23 Sharma A., Lavania M., Singh R., Lal B. Identification and probiotic potential of lactic acid bacteria from camel milk // Saudi Journal of Biological Sciences. 2020. doi: 10.1016/j.sjbs.2020.11.062

24 Волкова Г.С., Куксова Е.В., Серба Е.М. Изучение биологических межштаммовых взаимодействий и ростовых свойств производственных штаммов молочнокислых бактерий // Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством. 2020. Т. 1. № 1(1). С. 104–109.

25 Нетрусов, А.И., Котова, И.Б. Микробиология. М.: ИЦ «Академия», 2012. 384 с.

26 Пат. № 2200566, RU, A61K 35/74. Способ получения лактобактерина. Несчисляев В.А., Фадеева И.В. № 2001121098/14; Заявл. 26.07.2001; Опубл. 20.03.2003, Бюл. № 8.

27 Paveenkittiporn W., Ungcharoen R., Kerdsin A. Streptococcus agalactiae infections and clinical relevance in adults, Thailand // Diagnostic Microbiology and Infectious Disease. 2020. V. 97. № 1. P. 115005. doi: 10.1016/j.diagmicrobio.2020.115005

28 Fujita H., Nakamura I., Tsukimori A., Sato A. et al. Severe infective endocarditis in a healthy adult due to Streptococcus agalactiae // International Journal of Infectious Diseases. 2015. V. 38. P. 43–45. doi: 10.1016/j.ijid.2015.07.009

29 Информация и статистика. URL: https://www.euro.who.int/ru/health-topics/noncommunicable-diseases/cancer/data-and-statistics

References

1 Kornienko E.A. Intestinal microbiota as a key factor in the formation of immunity and tolerance. Possibilities of probiotics. Medical Council. 2020. no. 10. pp. 92–100. doi: 10.21518/2079–701X 2020–10–92–100 (in Russian).

2 Badgeley A., Anwar H., Modi K., Murphy P., Lakshmikuttyamma A. Effect of probiotics and gut microbiota on anti-cancer drugs: Mechanistic perspectives. Reviews on Cancer. 2021. vol. 1875. no. 1. doi: 10.1016/j.bbcan.2020.188494

3 Morkūnas E., Skiecevičienė J., Kupčinskas J. The impact of modulating the gastrointestinal microbiota in cancer patients. Best Practice & Research Clinical Gastroenterology. 2020. vol. 48–49. pp. 101700. doi: 10.1016/j.bpg.2020.101700

4 Gori S., Inno A., Belluomini L., Bocus P. et al. Gut microbiota and cancer: How gut microbiota modulates activity, efficacy and toxicity of antitumoral therapy. Critical Reviews in Oncology/Hematology. 2019. vol. 143. pp. 139–147. doi: 10.1016/j.critrevonc.2019.09.003

5 Malikhova O.A., Karasev I.A., Davydkina T.S., Vereshchak V.V. et al. Gut microbiome and colorectal cancer. Literature review. Povolzhsky oncological bulletin. 2019. vol. 10. no. 4 (41). pp. 45-51. (in Russian).

6 Mulendeev S.V., Solovyov I.A., Shostka K.G., Arutyunyan K.V. et al. The role of intestinal dysbiosis in the etiology and prophylaxis of colorectal cancer. Preventive and clinical medicine. 2017. no. 4 (65). pp. 55-60. (in Russian).

7 Mego M., Holec V., Drgona L., Hainova K. et al . Probiotic bacteria in cancer patients un-dergoing chemotherapy and radiation therapy. Complementary Therapies in Medicine. 2013. vol. 21. no. 6. pp. 712–723. doi: 10.1016/j.ctim.2013.08.018

8 Markowiak P., Śliżewska K. Effects of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics on Human Health. Nutrients. 2017. no. 9 (9). pp. 1021. doi: 10.3390/nu9091021

9 Domotenko L.V., Shepelin A.P. Bifidum medium for isolation and cultivation of bifidobacteria. Infection and immunity. 2014. no. 4 (3). pp. 279-283. doi: 10.15789/2220–7619–2014–3–279–283 (in Russian).

10 Domotenko L.V., Shepelin A.P., Detushev K.V. Comparative tests of lactobacillus and MRS agar. Kursk scientific and practical bulletin man and his health. 2014. no. 4. pp. 5–10. (in Russian).

11 de Man J.C., Rogosa M., Sharpe M.E. A medium for the cultivation of lactobacilli. J Appl Bacteriol. 1960. no. 23. pp. 130–135.

12 GOST 10444.11–89 Food products. Methods for the determination of lactic acid microorganisms. Food products, canned food. Microbiological analysis methods. Moscow, Standartinform, 2010. (in Russian).

13 GOST R 56139–2014 Specialized and functional food products. Methods for determination and counting of probiotic microorganisms (with Amendment No. 1). Moscow, Standartinform, 2015. Available at: http://docs.cntd.ru/ document/1200115455 (in Russian).

14 Bergey's manual of systematic bacteriology. Second edition. Volume three. The Firmicutes – Springer Science+Business Media. 2009. pp. 1422.

15 Davoodabadi A., Dallal M.M., Foroushani A.R., Douraghi M. Harati F.A. Antibacterial activity of Lactobacillus spp. isolated from the feces of healthy infants against enteropathogenic bacteria. Anaerobe. 2015. no. 34. pp. 53–58. doi: 10.1016/j.anaerobe.2015.04.014.

16 Jomehzadeh N., Javaherizadeh H., Amin M., Saki M. et al. Isolation and identification of potential probiotic Lactobacillus species from feces of infants in southwest Iran. International Journal of Infectious Diseases. 2020. vol. 96. pp. 524–530. doi: 10.1016/j.ijid.2020.05.034

17 Yang Y., Babich O., Sukhikh S, Zimina M. et al. Antibiotic activity and resistance of lactic acid bacteria and other antagonistic bacteriocin-producing microorganisms. Foods and Raw Materials. 2020. vol. 8. no. 2. pp. 377–384. doi: 10.21603/2308–4057–2020–2–377–384

18 Hashemi S.M., Shahidi F., Mortazavi S.A., Milani E. et al. Potentially probiotic Lactobacillus strains from traditional Kurdish cheese. Probiotics Antimicrob Proteins. 2014. no. 6. pp. 22–31. doi: 10.1007/s12602–014–9155–5

19 Pyrzynska K., Pękal A. Application of free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) to estimate the antioxidant capacity of food samples (Review). Anal. Methods. 2013. no. 5. pp. 4288–4295. doi: 10.1039/C3AY40367J

20 Karamova N.S., Khabibullina R.E. Anti-radical properties of Lactobacillus acidophilus n.v. Ep. 317/402 in vitro // Bulletin of Kazan Technological University. 2013. no. 23. pp. 127–129. Available at: https://www.elibrary.ru/item.asp? id = 20916564 (in Russian).

21 Maltseva E.M., Egorova N.O., Egorova I.N., Mukhamadiyarov R.A. Antioxidant and antiradical activity in vitro of extracts of the herb Sanguisorba officinalis L. collected in different phases of development. MvK. 2017. vol. 16. no. 2. pp. 32–37. (in Russian).

22 Babich O.O., Asyakina L.K., Shishin M.V. Method for determining the cytotoxic properties of microorganisms isolated from the human gastrointestinal tract. Modern science: development trends. 2016. no. 13. pp. 146–150. (in Russian).

23 Sharma A., Lavania M., Singh R., Lal B. Identification and probiotic potential of lactic acid bacteria from camel milk. Saudi Journal of Biological Sciences. 2020. doi: 10.1016/j.sjbs.2020.11.062

24 Volkova G.S., Kuksova E.V., Serba E.M. Study of biological interactions between strains and growth properties of industrial strains of lactic acid bacteria. Actual problems of the dairy industry, intersectoral technologies and quality management systems. 2020. vol. 1. no. 1 (1). pp. 104-109. (in Russian).

25 Netrusov, A.I., Kotova, I.B. Microbiology. Moscow, ITs "Academy", 2012. 384 p. (in Russian).

26 Neschislyaev V.A., Fadeeva I.V. Method for producing lactobacterin. Patent RF, no. 2200566, 2003.

27 Paveenkittiporn W., Ungcharoen R., Kerdsin A. Streptococcus agalactiae infections and clinical relevance in adults, Thailand. Diagnostic Microbiology and Infectious Disease. 2020. vol. 97. no. 1. pp. 115005. doi: 10.1016/j.diagmicrobio.2020.115005

28 Fujita H., Nakamura I., Tsukimori A., Sato A. et al. Severe infective endocarditis in a healthy adult due to Streptococcus agalactiae. International Journal of Infectious Diseases. 2015. vol. 38. pp. 43–45. doi: 10.1016/j.ijid.2015.07.009

29 Information and statistics. Available at: https://www.euro.who.int/ru/health-topics/noncommunicable-diseases/ cancer/data-and-statistics (in Russian).

Сведения об авторах

Анна Д. Веснина аспирант, технологический институт пищевой промышленности, Кемеровский государственный университет , ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, koledockop1@mail.ru
https://orcid.org/0000–0002–4552–7418

Александр Ю. Просеков д.т.н., профессор, кафедра бионанотехнологии, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, aprosekov@rambler.ru
https://orcid.org/0000–0002–5630–3196

Оксана В. Козлова д.т.н., доцент, технологический институт пищевой промышленности, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, ms.okvk@mail.ru
https://orcid.org/0000–0002–2960–0216

Марина Г. Курбанова д.т.н, кафедра технологии продуктов питания животного происхождения, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, kurbanova-mg@mail.ru
https://orcid.org/0000–0003–0563–1007

Евгения А. Козленко аспирант, технологический институт пищевой промышленности, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, evgenia_09.01@mail.ru
https://orcid.org/0000–0002–6708–5964

Юлия В. Голубцова д.т.н., профессор, кафедра технологии и организации общественного питания, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, op.kemsu@mail.ru
https://orcid.org/0000–0002–2958–4172

Information about authors

Anna D. Vesnina graduate student, institute of food science and technology, Kemerovo State University, st. Krasnaya, 6, Kemerovo, 650000, Russia, koledockop1@mail.ru
https://orcid.org/0000–0002–4552–7418

Alexander Yu. Prosekov Dr. Sci. (Engin.), professor, bionanotechnology department, Kemerovo State University, st. Krasnaya, 6, Kemerovo, 650000, Russia, aprosekov@rambler.ru
https://orcid.org/0000–0002–5630–3196

Oksana V. Kozlova Dr. Sci. (Engin.), associate professor, technological institute of food industry, Kemerovo State University, st. Krasnaya, 6, Kemerovo, 650000, Russia, ms.okvk@mail.ru
https://orcid.org/0000–0002–2960–0216

Marina G. Kurbanova Dr. Sci. (Engin.), technology of food of animal origin department, Kemerovo State University, st. Krasnaya, 6, Kemerovo, 650000, Russia, kurbanova-mg@mail.ru
https://orcid.org/0000–0003–0563–1007

Evgeniya A. Kozlenko graduate student, institute of food science and technology, Kemerovo State University, st. Krasnaya, 6, Kemerovo, 650000, Russia, evgenia_09.01@mail.ru
https://orcid.org/0000–0002–6708–5964

Yulia V. Golubtsova Dr. Sci. (Engin.), professor, technology and organization of public catering department, Kemerovo State University, st. Krasnaya, 6, Kemerovo, 650000, Russia, op.kemsu@mail.ru
https://orcid.org/0000–0002–2958–4172

Вклад авторов

Анна Д. Веснина, **Марина Г. Курбанова** написание рукописи, ответственность за плагиат
Александр Ю. Просеков, **Юлия В. Голубцова** консультация в ходе исследования
Оксана В. Козлова предложила методику проведения эксперимента
Евгения А. Козленко обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Contribution

Anna D. Vesnina, Marina G. Kurbanova wrote the manuscript, responsible for plagiarism
Alexander Yu. Prosekov, **Yulia V. Golubtsova** consultation during the study
Oksana V. Kozlova proposed a scheme of the experiment and organized production trials
Evgeniya A. Kozlenko review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 21/01/2021	**После редакции** 17/02/2021	**Принята в печать** 02/03/2021

Received 21/01/2021	**Accepted in revised** 17/02/2021	**Accepted** 02/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-233-239 Оригинальная статья/Research article
УДК 640 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Исследование влияния яблочных выжимок и рисовой муки на качественные показатели хлеба пшеничного

Мария А. Заикина [1] zaikina.marija@ya.ru 0000-0002-6457-6442
Анна Е. Ковалева [1] a.e.kovaleva@ya.ru 0000-0001-7807-1755
Эльвира А. Пьяникова [1] alia1969@ya.ru 0000-0003-4424-7323
Елена В. Овчинникова [2] e.ov4innikova2011@ya.ru 0000-0001-6755-2764
Сергей Н. Кобченко [3] 46cxa@mail.ru 0000-0002-2218-4598
Елизавета Д. Ткачева [1] tckachewa.liza@yandex.ru 0000-0000-000-0000

1 Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия
2 Курский институт кооперации, ул. Радищева, 116, г. Курск, 305004, Россия
3 Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, ул. Карла Маркса, 70, г. Курск, 305021, Россия

Аннотация. Одним из перспективных направлений в хлебопечении в настоящее время является замена в рецептуре хлеба и хлебобулочных изделий пшеничной муки другими видами сырья. Проведено исследование влияния вторичного яблочного сырья (замороженных яблочных выжимок) на органолептические (форма, поверхность, цвет, пропеченнось, промес, пористость, вкус, запах) и физико-химические показатели качества разработанных образцов хлеба. Прототипом являлась унифицированная рецептура хлеба пшеничного. В данной рецептуре осуществлялась замена части пшеничной муки на рисовую: в образце хлеба №1 – 25% рисовой муки; в образце №2 – 12,5% рисовой муки. Также сахар, предусмотренный стандартной рецептурой, заменялся 10% замороженных яблочных выжимок. Количество других ингредиентов в рецептуре оставалось неизменным. Качественные показатели выпеченных образцов хлеба исследовали с использованием органолептического и физико-химического методов. Органолептическая оценка проводилась с использованием пятибалльной шкалы оценки качества хлеба. По результатам исследования органолептических показателей качества разработанных образцов хлеба установлено, что они превосходят контрольный образец. Лучшим при этом оказался образец со свежемороженными яблочными выжимками и рисовой мукой в количестве 12,5%. Образец хлеба со свежемороженными яблочными выжимками и 25% рисовой муки уступил ему лишь по пористости (наличие небольших пустот). По физико-химическим показателям все образцы хлеба пшеничного с добавлением яблочного сырья и рисовой муки, а также контрольный, отвечали требованиям нормативной документации. Экспериментально установлено, что яблочные выжимки влияют на увеличение содержания железа и фосфора в хлебе. Предварительное замачивание выжимок в эмульсии масло – вода приводило к улучшению реологических свойств теста и пористости готовых изделий.

Ключевые слова: пшеничный хлеб, рисовая мука, яблочные выжимки, органолептические показатели, физико-химические показатели.

Study of the influence of apple pomace and rice flour on the quality factors of wheat bread

Maria A. Zaikina [1] zaikina.marija@ya.ru 0000-0002-6457-6442
Anna E. Kovaleva [1] a.e.kovaleva@ya.ru 0000-0001-7807-1755
Elvira A. Pyanikova [1] alia1969@ya.ru 0000-0003-4424-7323
Elena V. Ovchinnikova [2] e.ov4innikova2011@ya.ru 0000-0001-6755-2764
Sergey N. Kobchenko [3] 46cxa@mail.ru 0000-0002-2218-4598
Elizabeth D. Tkacheva [1] tckachewa.liza@yandex.ru 0000-0000-000-0000

1 South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia
2 Kursk Institute of Cooperation, Radishcheva, 116, Kursk, 305004, Russia
3 Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov, 70 Karl Marx Street, Kursk, 305021, Russia

Abstract. One of the promising directions in baking at present is the replacement of wheat flour in the production of bread and bakery products with other types of raw materials. A study of the influence of secondary apple raw materials (frozen apple pomace) on the organoleptic (shape, surface, colour, bakedness, mix, porosity, taste, smell) and physicochemical indicators of the quality of the developed bread samples was carried out. The prototype was a unified wheat bread recipe. In this recipe, part of the wheat flour was replaced with rice: in bread sample No. 1 - 25% rice flour; in sample No. 2 - 12.5% rice flour. Also the sugar provided by the standard recipe was replaced by 10% of frozen apple pomace. The amount of other ingredients in the recipe remained unchanged. The quality indicators of baked bread samples were examined using organoleptic and physicochemical methods. Organoleptic assessment was carried out using a five-point scale for assessing the quality of bread. According to the results of the study of the organoleptic indicators of the quality of the developed samples of bread, it was found that they exceeded the control sample. In this case, the sample with fresh frozen apple pomace and rice flour in the amount of 12.5% turned out to be the best. A sample of bread with freshly frozen apple pomace and 25% rice flour was inferior to it only in porosity (the presence of small voids). In terms of physical and chemical indicators, all samples of wheat bread with the addition of apple raw materials and rice flour, as well as the control one, met the requirements of regulatory documents. It has been experimentally established that apple pomace affects the increase in the content of iron and phosphorus in bread. Pre-soaking the pomace in an oil-water emulsion improved the rheological properties of the dough and the porosity of the finished product.

Keywords: wheat bread, rice flour, apple pomace, organoleptic parameters, physical and chemical parameters

Для цитирования
Заикина М.А., Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А., Овчинникова Е.В., Кобченко С.Н., Ткачева Е.Д. Исследование влияния яблочных выжимок и рисовой муки на качественные показатели хлеба пшеничного // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 233–239. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-233-239

For citation
Zaikina M.A., Kovaleva A.E., Pyanikova E.A., Ovchinnikova E.V., Kobchenko S.N., Tkacheva E.D. Study of the influence of apple pomace and rice flour on the quality factors of wheat bread. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 233–239. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-233-239

© 2021, Заикина М.А. и др. / Zaikina M.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Хлеб является основным продуктом питания, который потребляется ежедневно, и его качество высоко ценится потребителями [1]. Хлеб может выступать в качестве источника энергии и носителя фолатов, меди [2], тиамина, цинка, железа, фитиновой кислоты, минералов [3].

В последнее время наметилась общая тенденция к повышению пищевой ценности хлебобулочных изделий с использованием клетчатки, т. к. данная продукция широко потребляется населением [4]. В настоящее время приоритетными направлениями развития пищевой и перерабатывающей промышленности являются: переход к ресурсосберегающим технологиям, обеспечивающим безотходное производство и переработка новых видов сырья, полученных с использованием различных технологий.

Также хлеб может быть хорошим источником фенольных антиоксидантов и волоконных полисахаридов в высоких концентрациях [5], которыми его обогащают яблочные выжимки.

Яблоко – важная питательная культура, которая в основном потребляется в виде свежих фруктов; однако небольшая часть яблок перерабатывается в приготовленные ломтики, соки и желе [6]. При этом образуется огромное количество вторичного сырьевого ресурса: при получении сока образуется 50–60% выжимок.

Яблочные выжимки являются хорошим источником легкоусвояемой клетчатки, пектина и фенольных соединений. Фенольные соединения яблочной выжимки включают гидроксикоричные кислоты, антоцианы, флавонолы и дигидрохальконы [7].

В яблочных выжимках среди минеральных веществ в наибольшем количестве содержатся кальций (24,2 мг), калий (49,1 мг), фосфор (21,2 мг) и магний (23,7 мг). В выжимках отмечено высокое содержание микроэлемента железа (в зависимости от помологического сорта яблок его значение варьируется от 2,2 до 6,8 мг), который относится к элементам кроветворного комплекса [8].

Между тем, яблочные выжимки служат богатым источником биологически активных веществ – витаминов С (22 мг), Р (64 мг), Е, β-каротина, тритерпеновых соединений, витаминов группы В, минеральных элементов (после отжатия сока в выжимках остается почти половина общего количества важнейших минеральных элементов), пищевых волокон, в том числе пектиновых веществ [9], которые содержатся в свежих выжимках (2,5 г) в водорастворимой (0,6 г) и водонерастворимой форме (1,9 г).

Пищевые волокна из разных источников используются для замены пшеничной муки при приготовлении хлебобулочных изделий. Другим заменителем пшеничной муки нами была выбрана рисовая мука. Как показывают исследования, применение рисовой муки в количестве 10%-50% способствует увеличению автолитической активности пшеничной муки. Более высокая автолитическая активность пшеничной муки свидетельствует о повышенной активности ферментов, в особенности α-амилазы. Это в дальнейшем отрицательно сказывается на качестве выпекаемого изделия.

При внесении в рецептуру теста более 20% рисовой муки наблюдается ухудшение эластичности теста, потемнение мякиша. На поверхности изделия появляются трещины и надрывы. Увеличение дозировки рисовой муки приводит к ухудшению реологических и биохимических показателей теста. Для получения хлеба удовлетворительного качества с дозировкой рисовой муки более 20% необходимо использовать специальные подкисляющие природные добавки [10].

Материалы и методы

Все исследуемые образцы хлеба готовились безопарным способом. Пробную лабораторную выпечку проводили согласно ГОСТ 27669–88.

Яблочное сырье в рецептуру вводится с целью замещения сахара, повышения кислотности хлеба и сокращения процесса брожения. Предварительно яблочные выжимки размораживали и замачивали в смеси растительного масла и теплой воды (температура воды 28–30 °С). Замачивание яблочных выжимок в эмульсии масло – вода позволяет интенсифицировать переход водонерастворимых пектинов в растворимые, что в последующем сказывается на реологических свойствах теста. При этом в готовом изделии улучшаются показатели пористости.

Смесь из яблочных выжимок, воды и масла перемешиванием довели до однородной консистенции. Затем она выстаивалась в течение 15–20 мин. Одновременно в тестомесильной машине замешивались остальные ингредиенты (мука, соль, дрожжи). После этого смесь с выжимками добавлялась в тесто.

После замешивания тесто подвергалось брожению в течение 5–7 мин. При этом температура теста поднималась до 30 °С. Затем производилась обминка, после чего процесс брожения продолжался еще 5–7 мин.

После этого тесто разливали по формам и для расстойки помещали на 20 мин в специальную камеру. Процесс расстойки осуществлялся при температуре 34–35 °С. В результате этого происходило увеличение теста в объеме. Выпекание хлеба осуществляли при температуре 195–205 °С. Длительность выпечки составляла 20 мин. Выпеченный хлеб постепенно охлаждали при комнатной температуре. После охлаждения проводили анализ органолептических и физико-химических показателей качества хлеба.

Определялось содержание минерального вещества – фосфора. При определении фосфора в хлебе использовали методы сухой и мокрой минерализации [11].

Метод измерения содержание железа в пищевых продуктах основан на измерении интенсивности окраски раствора комплексного соединения двухвалентного железа с ортофенантролином [12, 13].

Результаты и обсуждение

Для проведения эксперимента была взята рецептура, рассчитанная на основе унифицированной на хлеб пшеничный. Контрольным образцом служил хлеб из пшеничной муки, приготовленный по унифицированной рецептуре. Рецептуры хлеба представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Рецептура хлеба

Table 1.

Bread recipe

Сырьевой состав Raw material composition	Образец | Sample		
	Контроль Control	№ 1	№ 2
Мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта, г High-grade baking wheat flour, g	160	120	140
Мука рисовая, г | Rice flour, g	–	40	20
Дрожжи прессованные, г | Pressedyeast, g	5,5	5,5	5,5
Вода питьевая, мл | Drinking water, ml	110	110	110
Масло растительное, мл | Vegetable oil, ml	10	10	10
Яблочные выжимки, г | Apple pomace, g	–	30	30
Соль поваренная, г | Table salt, g	2,5	2,5	2,5
Сахар-песок, г | Granulated sugar, g	2,5	-	-

Готовые образцы хлеба оценивались через 4 часа после выпечки. Для этого использовалась специально разработанная 5 – балльная шкала [14–20]. Используя балльную шкалу, каждый дегустатор заполнил карту. Полученные результаты были обработаны и на основе их составлен протокол испытаний. Средние значения органолептических показателей качества образцов хлеба приведены в таблице 2. Полученные образцы хлеба в разрезе представлены на рисунке 1.



Рисунок 1. Образцы хлеба в разрезе

Figure 1. Bread samples in the section

Таблица 2.

Средние значения органолептических показателей качества образцов хлеба

Table 2.

Average values of organoleptic indicators of the quality of bread samples

Показатель | Indeicator	Образец | Sample		
	Контроль | Control	Образец № 1 | Sample № 1	Образец № 2 | Sample № 2
	Баллы | Points		
Внешний вид | Appearance:			
Форма | Form	4.2	4.9	4.8
Поверхность | Surface	3.8	4.8	4.6
Цвет | Color	3.6	4.9	4.8
Состояние мякиша			
Bakedgoods	5.0	5.0	5.0
Промес | Promes	5.0	5.0	5.0
Пористость | Porosity	4.0	4.6	5.0
Вкус | Taste	5.0	5.0	5.0
Запах | Smell	4.6	4.2	4.9
Сумма баллов | Total points	35.2	37.5	39.1

В ходе проведения органолептической оценки качества контрольного образца хлеба и образцов с использованием рисовой муки было установлено, что все образцы достаточно высокого качества. Все хлебобулочные изделия имели правильную форму. У образцов № 1 и 2 верхняя корочка была выпуклая: при этом у образца № 2 она была более выпуклая.

Поверхность у образцов хлеба № 1 и 2 шероховатая, без трещин и подрывов, в отличие от контрольного, у которого были большие подрывы.

Цвет контрольного образца хлеба светло-коричневый, с незначительными подгорелостями; цвет мякиша белый. У образцов № 1 и № 2 цвет корки светло-коричневый; мякиш белого цвета с сероватым оттенком.

Мякиш у всех исследуемых образцов пропеченный, не влажный на ощупь, эластичный; после легкого надавливания пальцами мякиш принимал первоначальную форму.

Комочков и следов непромеса ни в одном образце не наблюдалось.

Пористость в образцах была развитая. Только в контрольном образце, в отличие от образцов № 1 и 2, были пустоты значительных размеров. В образце № 1 также наблюдались пустоты, но небольших размеров.

Вкус у образцов был приятный: у контрольного – свойственный пшеничному хлебу, у образцов № 1 и 2 – свойственный данному виду изделия, слегка сладковатый.

Запах у контрольного образца свойственный пшеничному хлебу, без посторонних запахов, у образцов № 1 и № 2 запах, свойственный внесенным вкусовым добавкам, без посторонних запахов.

Также было проведено исследование на установление срока годности разработанных образцов хлеба, которое показало, что по истечении 72 часов хлеб остается свежим.

В результате проведения физико-химических испытаний для выпеченных образцов хлеба с использованием вторичного яблочного сырья получили данные, представленные в таблице 3.

Таблица 3.

Результаты физико-химических испытаний разработанных хлебов

Table 3.

Results of physical and chemical tests for the developed loaves

Показатель Indeicator	Образец | Sample		
	Контроль Control	Контроль Control	Контроль Control
М.д. влаги, % Water, %	42.2	43.6	43.6
Кислотность, град, < Acidity, deg, <	3.2	3.4	3.4
Пористость, %> Porosity, %, >	69.25	73.30	73.30

По физико-химическим показателям образцы хлеба удовлетворяют требованиям нормативной документации. Разработанные образцы хлеба имели высокую пористость и оптимальную влажность. Эти показатели позволяют легче усваиваться хлебу.

В анализируемых образцах сырья и хлеба было исследовано содержание железа и фосфора и получены усредненные значения, результаты которых представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Содержание железа и фосфора в компонентах и образцах хлеба

Table 4.

The content of iron and phosphorus in the components and samples of bread

Образцы Samples	Содержание железа, мг/100г Iron content, mg/100g	Содержание фосфора, мг/100г Phosphorus content, mg/100g
Мука рисовая Rice flour	4.41	68.79
Мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта High-grade baking wheat flour	6.20	72.86
Яблочные выжимки Apple pomace	6.03	79.91
Контрольный образец хлеба Control sample of bread	3.36	47.82
Образец № 1 Sample №. 1	3.96	55.36
Образец № 2 Sample №.2	4.43	56.40

При анализе железа в сырье определили, что наибольшее его количество содержится в пшеничной муке, наименьшее – в рисовой. Яблочные выжимки по содержанию железа приближены к пшеничной муке. Наибольшее содержание фосфора наблюдается в яблочных выжимках, а наименьшее – в рисовой муке. Что же касается образцов хлеба с добавлением в яблочных выжимках, то в них также присутствуют железо и фосфор. Анализ образцов хлеба на содержание железа и фосфора показал, что наибольшее количество этих микроэлементов в образце № 2. Образец № 1 по содержанию фосфора и железа превосходил контрольный, но уступал образцу № 2.

Заключение

На основе проведенных исследований установили:

– замачивание яблочных выжимок в растительном масле перед приготовлением теста позволяет получить хлеб с развитой пористостью и хорошим объемом;

– применение рисовой муки в количестве 20%, способствует увеличению автолитической активности пшеничной муки;

– внесение в рецептуру растительного масла позволяет снизить потери влаги. Поэтому хлеб по истечении 72 часов остается свежим и не черствеет;

– замена части пшеничной муки рисовой и внесение размороженных яблочных выжимок позволяет получить хлеб высокого качества.

Литература

1 Motrena S.G., Carvalho M.J., Canada J., Alvarenga N.B. et al. Characterization of gluten-free bread prepared from maize, rice and tapioca flours using the hydrocolloid seaweed agar-agar // Recent Res. Sci. Technol. 2011. V. 3. P. 64–68.

2 Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А., Ткачева Е.Д., Рязанцева А.С. Оценка показателей качества хлеба пшеничного, обогащенного вторичным яблочным сырьем // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 3. С. 200–206. doi: 10.20914/2310–1202–2020–3–200–206

3 Helou C., Gadonna-Widehem P., Robert N., Branlard G. et al. The impact of raw materials and baking conditions on Maillard reaction products, thiamine, folate, phytic acid and minerals in white bread // Food & function. 2016. V. 7. №. 6. P. 2498-2507.

4 Kotsianis I.S., Giannou V., Tzia C. Production and packaging of bakery products using MAP technology // Trends Food Sci. Technol. 2002. V. 13. P. 319–324.

5 Sivam A.S., Sun-Waterhouse D., Quek S., Perera C.O. Properties of bread dough with added fiber polysaccharides and phenolic antioxidants: a review // Journal of food science. 2010. V. 75. №. 8. P. R163-R174. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01815.

6 Madbouly A.K., Elyousr K.A.M.A., Ismail I.M. Biocontrol of Monilinia fructigena, causal agent of brown rot of apple fruit, by using endophytic yeasts // Biological Control. 2020. V. 144. P. 104239. doi: 10.1016/j.biocontrol.2020.104239

7 García Y.D., Valles B.S., Lobo A.P. Phenolic and antioxidant composition of by-products from the cider industry: Apple pomace // Food Chemistry. 2009. V. 117. №. 4. P. 731-738. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.04.049

8 Перфилова О.В. Яблочные выжимки как источники биологически активных веществ в технологии продуктов питания // Новые технологии. 2017. № 4. С. 65–71.

9 Chaldaev P.A., Svechnikov A.Yu. The use of apple pomace for food production // Food industry. 2014. V. 4. P. 23–28.

10 Динь Тхи Хьен. Определение оптимальной рецептуры хлеба с рисовой мукой // Пищевая промышленность. 2010. № 6. С. 64–65.

11 Заикина М.А., Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А. Разработка рецептуры хлеба ржано-пшеничного с использованием яблочного йод пектинового экстракта // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 4. С. 202–206. doi: 10.20914/2310–1202–2020–4–202–206

12 Беляев А.Г., Быковская Е.И., Ткачева Е.Д. Изучения возможности использования продуктов лекарственных растений – кипрея узколистного и мяты перечной в технологии производства пряничных изделий // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК продукты здорового питания. 2020. Т. 3. С. 8–17.

13 Беляев А.Г., Боев С.Г., Бароян Н.С. Изучения возможности использования рябины обыкновенной и рябины черноплодной при изготовлении йогуртов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК продукты здорового питания. 2019. Т. 4. С. 16–22.

14 Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А. Оценка показателей качества хлеба пшеничного, обогащенного вторичным яблочным сырьем // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 1. С. 200–206. doi: 10.20914/2310-1202-2020-3-200-207

15 Bartkiene E., Bartkevics V., Pugajeva I., Krungleviciute V. et al. The contribution of P. acidilactici, L. plantarum, and L. curvatus starters and L-(+)-lactic acid to the acrylamide content and quality parameters of mixed rye-Wheat bread // LWT. 2017. V. 80. P. 43-50. doi: 10.1016/j.lwt.2017.02.005

16 Przygodzka M., Piskula M.K., Kukurová K., Ciesarová Z. et al. Factors influencing acrylamide formation in rye, wheat and spelt breads // Journal of Cereal Science. 2015. V. 65. P. 96-102. doi: 10.1016/j.jcs.2015.06.011

17 Mihhalevski A., Heinmaa I., Traksmaa R., Pehk T. et al. Structural changes of starch during baking and staling of rye bread // Journal of agricultural and food chemistry. 2012. V. 60. №. 34. P. 8492-8500. doi: 10.1021/jf3021877

18 Wang D., Yeats T.H., Uluisik S., Rose J.K. et al. Fruit softening: revisiting the role of pectin // Trends in plant science. 2018. V. 23. № 4. P. 302-310. doi: 10.1016/j.tplants.2018.01.006

19 Ciriminna R., Fidalgo A., Delisi R., Ilharco L.M. et al. Pectin production and global market // Agro Food Ind. Hi-Tech. 2016. V. 27. №. 5. P. 17-20.

20 Zhang W., Xu P., Zhang H. Pectin in cancer therapy: A review // Trends in Food Science & Technology. 2015. V. 44. №. 2. P. 258-271. doi: 10.1016/j.tifs.2015.04.001

References

1 Motrena S.G., Carvalho M.J., Canada J., Alvarenga N.B. et al. Characterization of gluten-free bread prepared from maize, rice and tapioca flours using the hydrocolloid seaweed agar-agar. Recent Res. Sci. Technol. 2011. vol. 3. pp. 64–68.

2 Kovaleva A.E., Pyanikova E.A., Tkacheva E.D., Ryazantseva A.S. Assessment of quality indicators of wheat bread, enriched with secondary apple raw materials. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 3. pp. 200–206. doi: 10.20914/2310–1202–2020–3–200–206 (in Russian).

3 Helou C., Gadonna-Widehem P., Robert N., Branlard G. et al. The impact of raw materials and baking conditions on Maillard reaction products, thiamine, folate, phytic acid and minerals in white bread. Food & function. 2016. vol. 7. no. 6. pp. 2498-2507.

4 Kotsianis I.S., Giannou V., Tzia C. Production and packaging of bakery products using MAP technology. Trends Food Sci. Technol. 2002. vol. 13. pp. 319–324.

5 Sivam A.S., Sun-Waterhouse D., Quek S., Perera C.O. Properties of bread dough with added fiber polysaccharides and phenolic antioxidants: a review. Journal of food science. 2010. vol. 75. no. 8. pp. R163-R174. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01815.x

6 Madbouly A.K., Elyousr K.A.M.A., Ismail I.M. Biocontrol of Monilinia fructigena, causal agent of brown rot of apple fruit, by using endophytic yeasts. Biological Control. 2020. vol. 144. pp. 104239. doi: 10.1016/j.biocontrol.2020.104239

7 García Y.D., Valles B.S., Lobo A.P. Phenolic and antioxidant composition of by-products from the cider industry: Apple pomace. Food Chemistry. 2009. vol. 117. no. 4. pp. 731-738. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.04.049

8 Perfilova O.V. Apple pomace as sources of biologically active substances in food technology. New technologies. 2017. no. 4. pp. 65–71. (in Russian).

9 Chaldaev P.A., Svechnikov A.Yu. The use of apple pomace for food production. Food industry. 2014. vol. 4. pp. 23–28.

10 Dinh Thi Hien. Determination of the optimal recipe for bread with rice flour. Food Industry. 2010. no. 6. pp. 64–65. (in Russian).

11 Zaikina M.A., Kovaleva A.E., Pyanikova E.A. Development of recipes for rye-wheat bread using apple iodine pectin extract. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 4. pp. 202–206. doi: 10.20914/2310–1202–2020–4–202–206 (in Russian).

12 Belyaev A.G., Bykovskaya E.I., Tkacheva E.D. Study of the possibility of using products of medicinal plants - fireweed and peppermint in the technology of production of gingerbread products. Technologies of food and processing industry of the agro-industrial complex healthy food products. 2020. vol. 3. pp. 8–17. (in Russian).

13 Belyaev A.G., Boev S.G., Baroyan N.S. Study of the possibility of using mountain ash and black chokeberry in the manufacture of yoghurts. Technologies for food and processing industries of the agro-industrial complex healthy food products. 2019. vol. 4. pp. 16–22. (in Russian).

14 Kovaleva A.E., Pyanikova E.A. Assessment of quality indicators of wheat bread, enriched with secondary apple raw materials. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 1. pp. 200–206.doi: 10.20914/2310-1202-2020-3-200-207 (in Russian).

15 Bartkiene E., Bartkevics V., Pugajeva I., Krungleviciute V. et al. The contribution of P. acidilactici, L. plantarum, and L. curvatus starters and L-(+)-lactic acid to the acrylamide content and quality parameters of mixed rye-Wheat bread. LWT. 2017. vol. 80. pp. 43-50. doi: 10.1016/j.lwt.2017.02.005

16 Przygodzka M., Piskula M.K., Kukurová K., Ciesarová Z. et al. Factors influencing acrylamide formation in rye, wheat and spelt breads. Journal of Cereal Science. 2015. vol. 65. pp. 96-102. doi: 10.1016/j.jcs.2015.06.011

17 Mihhalevski A., Heinmaa I., Traksmaa R., Pehk T. et al. Structural changes of starch during baking and staling of rye bread. Journal of agricultural and food chemistry. 2012. vol. 60. no. 34. pp. 8492-8500. doi: 10.1021/jf3021877

18 Wang D., Yeats T.H., Uluisik S., Rose J.K. et al. Fruit softening: revisiting the role of pectin. Trends in plant science. 2018. vol. 23. no. 4. pp. 302-310. doi: 10.1016/j.tplants.2018.01.006

19 Ciriminna R., Fidalgo A., Delisi R., Ilharco L.M. et al. Pectin production and global market. Agro Food Ind. Hi-Tech. 2016. vol. 27. no. 5. pp. 17-20.

20 Zhang W., Xu P., Zhang H. Pectin in cancer therapy: A review. Trends in Food Science & Technology. 2015. vol. 44. no. 2. pp. 258-271. doi: 10.1016/j.tifs.2015.04.001

Сведения об авторах

Мария А. Заикина к.т.н., доцент, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго - Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, zaikina.marija@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-6457-6442

Анна Е. Ковалева к.х.н., доцент, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров), Юго - Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, a.e.kovaleva@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-7807-1755

Эльвира А. Пьяникова к.т.н., доцент, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров), Юго - Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, alia1969@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-4424-7323

Елена В. Овчинникова к.э.н., доцент, кафедры товароведно-технологических дисциплин, Курский институт кооперации, ул. Радищева, 116, г. Курск, 305004, Россия, e.ov4innikova2011@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-6755-2764

Information about authors

Maria A. Zaikina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia, zaikina.marija@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-6457-6442

Anna E. Kovaleva Cand. Sci. (Chem.), associate professor, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia, a.e.kovaleva@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-7807-1755

Elvira A. Pyanikova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia, alia1969@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-4424-7323

Elena V. Ovchinnikova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, commodity and technological disciplines department, Kursk Institute of Cooperation, Radishcheva, 116, Kursk, 305004, Russia, e.ov4innikova2011@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-6755-2764

Сергей Н. Кобченко к.т.н., доцент, кафедра физико-математических дисциплин и информатики, Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, ул. Карла Маркса, 70, г. Курск, 305021, Россия, 46cxa@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-2218-4598
Елизавета Д. Ткачева студент, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго - Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, tckachewa.liza@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0000-000-0000

Вклад авторов

Мария А. Заикина предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания
Анна Е. Ковалева обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты
Эльвира А. Пьяникова написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Елена В. Овчинникова консультация в ходе исследования
Сергей Н. Кобченко консультация в ходе исследования
Елизавета Д. Ткачева обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Sergey N. Kobchenko Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, physical and mathematical disciplines and informatics department, Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanova, 70 Karl Marx Street, Kursk, 305021, Russia, 46cxa@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-2218-4598

Elizabeth D. Tkacheva student, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia, tckachewa.liza@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0000-000-0000

Contribution

Maria A. Zaikina proposed a scheme of the experiment and organized production trials
Anna E. Kovaleva review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Elvira A. Pyanikova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Elena V. Ovchinnikova consultation during the study
Sergey N. Kobchenko consultation during the study
Elizabeth D. Tkacheva review of the literature on an investigated problem

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 21/01/2021	**После редакции** 19/02/2021	**Принята в печать** 04/03/2021

Received 21/01/2021	**Accepted in revised** 19/02/2021	**Accepted** 04/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-240-247 Выберите тип статьи.
УДК 636.93 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Оптимизация процесса гранулирования комбикормов для пушных зверей

Евгения С. Шенцова [1] evgeniya-shencova@yandex.ru 0000-0002-4744-7112
Лариса И. Лыткина [1] larissaig2410@rambler.ru 0000-0001-7857-7756
Александр С. Муравьев [1] hntrun@mail.ru 0000-0002-5989-0752
Алиса А. Торшина [1] alisa-korotaeva@mail.ru 0000-0003-3150-8686

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. В последнее время продукция пушного звероводства становится все более востребованной. С увеличением поголовья пушных животных необходимо производство комбикормов, обеспечивающих высокое качество пушнины при минимальных затратах корма. Для пушных зверей разработаны рецепты комбикормов с содержанием жира 20 % и выше. Целесообразным является скармливание корма в виде гранул, выработанных по технологии, одним из этапов которой является процесс гранулирования комбикормов с повышенным содержанием жира при обоснованных параметрах работы пресса-гранулятора. Для определения оптимальных параметров гранулирования проведены исследования процесса с применением метода статистического планирования многофакторного эксперимента. В качестве факторов, влияющих на рассматриваемый процесс, были выбраны: количество введенного жира, расход пара, зазор между валком и матрицей пресса. Критерием оценки влияния выбранных параметров служили удельный расход энергии и крошимость, позволяющие адекватно оценить эффективность процесса. Полученные данные свидетельствовали, что процесс гранулирования комбикормов при оптимальных параметрах позволяет получать гранулы, качество которых отвечает требованиям стандарта. Все полученные данные лежали в пределах рассчитанных доверительных интервалов параметров оптимизации. Исследовали изменение показателей качества полученного гранулированного комбикорма при хранении. Изменения качества гранулированного комбикорма при хранении свидетельствовали, что значения общей кислотности и кислотного числа жира существенно выросли после двух месяцев хранения вследствие гидролиза жира в условиях свободного доступа кислорода. Значение перекисного числа жира, отражающего глубину окислительных изменений в комбикорме, после двух месяцев хранения резко возрастало. Содержание витаминов А и Е при хранении комбикормов в течение 45 дней в летний период составили соответственно 12,3 % и 10,5 % от исходных значений. Рекомендуемый срок хранения гранулированных комбикормов с повышенным содержанием жира в зимне-весенний период составляет 60 суток, в летний – 45 суток.

Ключевые слова: звероводство, гранулированные комбикорма, статистическое планирование, показатели качества, хранение комбикормов

Optimization of the process of compound feed pelleting for fur animals

Evgeniya S. Shentsova [1] evgeniya-shencova@yandex.ru 0000-0002-4744-7112
Larisa I. Lytkina [1] larissaig2410@rambler.ru 0000-0001-7857-7756
Alexander S. Muraviev [1] hntrun@mail.ru 0000-0002-5989-0752
Alisa A. Torshina [1] alisa-korotaeva@mail.ru 0000-0003-3150-8686

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Currently, fur farming products are becoming more and more in demand. With the increase in the number of fur-bearing animals, it is necessary to produce compound feeds that provide high quality furs with minimal feed costs. Compound feed recipes with a fat content of 20% and higher were developed for fur animals. Feeding fodder in the form of granules produced by the technology, one of the stages of which is the process of granulating compound fodders with a high fat content with reasonable operating parameters of the granulator press, is expedient. Process studies using the method of statistical planning of a multivariate experiment were carried out to determine the optimal granulation parameters. The following factors influencing the process under consideration were chosen: the amount of added fat, the steam consumption, the gap between the roll and the press die. Specific energy consumption and crumbling served as criteria for assessing the influence of the selected parameters, which make it possible to assess adequately the efficiency of the process. The data obtained showed that the process of pelleting compound feed at optimal parameters makes it possible to obtain pellets, the quality of which meets the requirements of the standard. All the data obtained were within the calculated confidence intervals of the optimization parameters. The change in the quality indicators of the obtained granulated compound feed during storage was also investigated in the work. Changes in the quality of granulated compound feed during storage testified that the values of total acidity and acid number of fat increased significantly after two months of storage due to hydrolysis of fat in conditions of free oxygen access. The value of the peroxide number of fat, which reflects the depth of oxidative changes in the compound feed, increased sharply after two months of storage. The content of vitamins A and E during the storage of compound feed for 45 days in summer was 12.3% and 10.5% of the initial values, respectively. The recommended shelf life of granulated feed with a high fat content in winter-spring period is 60 days, in summer - 45 days.

Keywords: fur farming, granulated feed, statistical planning, quality indicators, compound feed storage

Для цитирования
Шенцова Е.С., Лыткина Л.И., Муравьев А.С., Торшина А.А. Оптимизация процесса гранулирования комбикормов для пушных зверей // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 240–247. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-240-247

For citation
Shentsova E.S., Lytkina L.I., Muraviev A.S., Torshina A.A. Optimization of the process of compound feed pelleting for fur animals. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 240–247. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-240-247

© 2021, Шенцова Е.С. и др. / Shentsova E.S.et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Отраслевая целевая программа «Развитие клеточного пушного звероводства в Российской Федерации на 2013-2020 годы» предполагает решение задач по совершенствованию системы обеспечения животных кормами и развитию данной инфраструктуры преимущественно на основе использования отечественного сырья.

На протяжении многих лет в мире пушные звери культивируется как основной вид животных для производства меха и меховых изделий, поэтому продукция данной отрасли является востребованной, особенно в последнее время. Комбикормовая промышленность стремится к решению задач обеспечения животных питательными и биологически активными веществами, вырабатывая корма для норок, песцов, соболей и т.п. [].

Вместе с этим увеличение поголовья пушных зверей в зверохозяйствах вызывает необходимость в производстве кормов, которые могли бы обеспечить воспроизведение поголовья и высокое качество пушнины при минимальных затратах корма и ручного труда. Рецептура комбикормов для пушных животных, в основном, включает продукты животного происхождения, такие как отходы рыбной и мясной промышленности, маслопрессовых и маслоэкстракционных заводов [].

В настоящее время рецепты полнорационных комбикормов для пушных зверей включают зерновой компонент, рыбную муку, дрожжи кормовые, премиксы. При этом содержание жира может достигать 20 % и выше.

Производство комбикормов для норок может расширить перечень производимой продукции на многих комбикормовых предприятиях. Поэтому возникает необходимость в разработке технологии производства комбикормов для норок, одним из этапов которой является процесс гранулирования. Однако без достаточно обоснованных параметров работы пресса-гранулятора гранулирование комбикормов с повышенным содержанием жира не дает желаемых результатов.

Материалы и методы

С целью нахождения оптимальных параметров процесса гранулирования были проведены исследования на экспериментальной установке, имеющей пресс-гранулятор, с применением метода статистического планирования многофакторного эксперимента.

Известно, что эффективность работы пресса зависит от конструктивных, кинематических и технологических факторов []. На основании исследований были выбраны основные факторы, влияющие на рассматриваемый процесс: x_1 – количество введенного жира, %; x_2 – расход пара, кг/т; x_3 – зазор между валком и матрицей пресса, мм. Критерием оценки влияния выбранных параметров служили: y_1 – удельный расход энергии, кВтч/т, y_2 – крошимость, %, дающие возможность более полно оценить эффективность процесса.

Для статистической обработки данных исследования применяли центральное ротатабельное униформпланирование, которое позволяло в ходе 20 экспериментов в 3-х кратной повторности получить уравнения регрессии, адекватно описывающее рассматриваемый процесс [].

Математическая модель изучаемого процесса представляется в виде полинома второй степени:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{n} b_i x_i + \sum_{i=1}^{n} b_{ii} x_i^2 + \sum_{i \le j}^{n} b_{ij} x_i x_j \qquad (1)$$

где b_0 – свободный член уравнения, равный средней величине отклика при условии, что рассматриваемые факторы находятся на средних, «нулевых» уровнях; x – масштабированные значения факторов, которые определяют функцию отклика и поддаются варьированию; b_{ij} – коэффициенты двухфакторных взаимодействий, показывающие, насколько изменяется степень влияния одного фактора при изменении величины другого; b_{ii} – коэффициенты квадратичных эффектов, определяющие нелинейность выходного параметра от рассматриваемых факторов; i, j – индексы факторов; n – число факторов в матрице планирования.

Результаты

Для оценки адекватности математической модели был проведен дисперсионный анализ (ANOVA) эксперимента в программе Design Expert (Stat-Ease Inc.) и получены следующие уравнения регрессии:

$$y_1 = 6,32 - 0,48x_1 - 0,23x_2 - 0,69x_3 - 0,07x_1x_2 - 0,22x_1x_3 - \\ -0,17x_2x_3 + 0,16x_1^2 + 0,22x_2^2 - 0,03x_3^2 \qquad (2)$$

$$y_2 = 8,80 + 2,23x_1 - 0,73x_2 + 0,51x_3 + 0,17x_1x_2 - 0,15x_1x_3 - \\ -0,45x_2x_3 - 1,18x_1^2 + 0,94x_2^2 - 1,13x_3^2 \qquad (3)$$

Анализ уравнений (2) и (3) позволяет выделить факторы, наиболее влияющие на рассматриваемый процесс. На удельный расход энергии влияние оказывают количество введенного жира, % и зазор между валком и матрицей, мм; на крошимость – количество введенного жира, %.

Оценка степени влияния входных параметров x_i на выходные y_i приведена на рисунке 1.

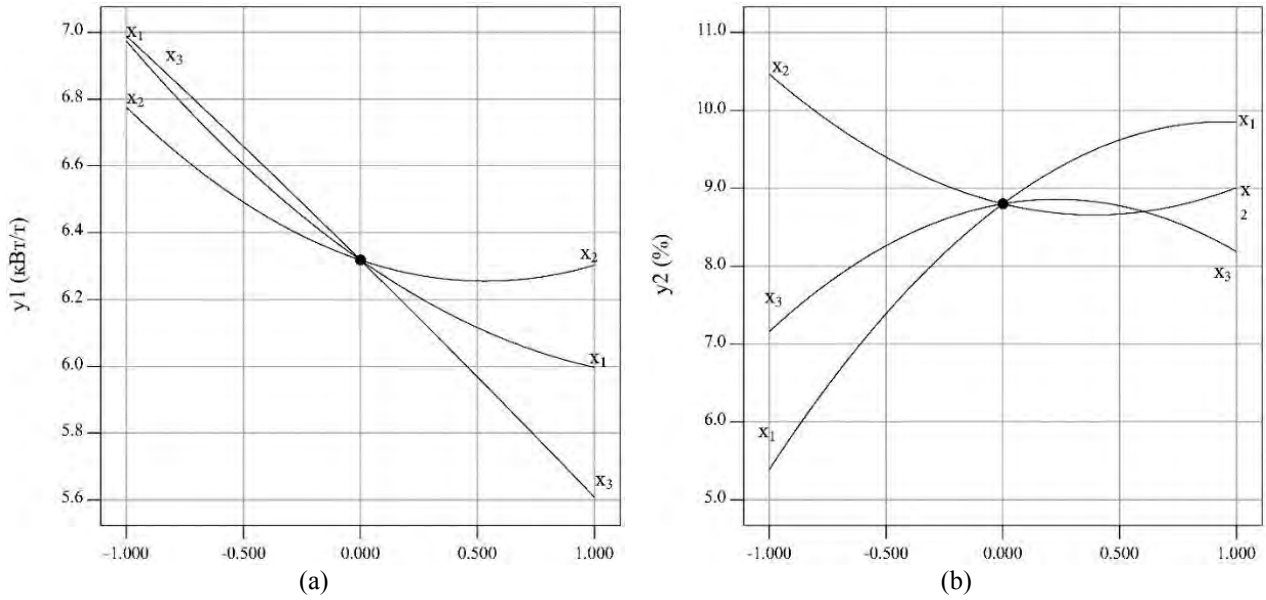


Рисунок 1. Влияние входных параметров x_i на выходные y_j: (a) – для удельного расхода энергии; (b) – для крошимости

Figure 1. Influence of input parameters x_i on output parameters y_j: (a) – for specific energy consumption; (b) – for crumbling

Графическая интерпретация уравнений (2) и (3) представлена кривыми равных значений для входных параметров в интервале [–1,682…+1,682] (рисунок 2–3). Данные графики несут смысл номограмм и имеют практическую значимость. Зная величину параметров, можно прогнозировать течение технологического процесса.

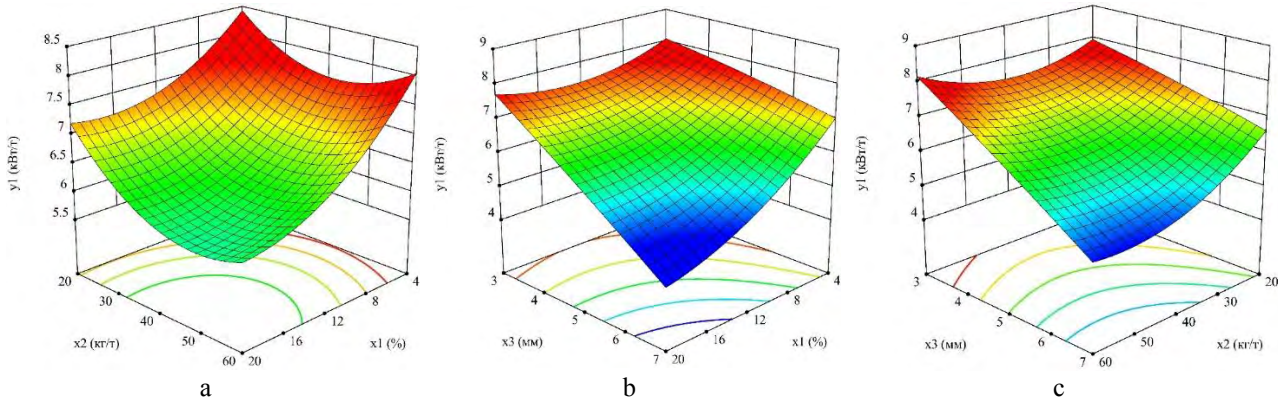


Рисунок 2. Кривые равных значений зависимости удельного расхода энергии, кВтч/т от: (a) количества введенного жира, % и расхода пара, кг/т (b) количества введенного жира, % и зазора между валком и матрицей, мм; (c) расхода пара, кг/т и зазора между валком и матрицей, мм

Figure 2. Curves of equal values of the dependence of the specific energy consumption, kWh / t on: (a) the amount of added fat, % and steam consumption, kg / t (b) the amount of added fat, % and the gap between the roll and the matrix, mm; (c) steam consumption, kg / t and the gap between the roll and the matrix, mm

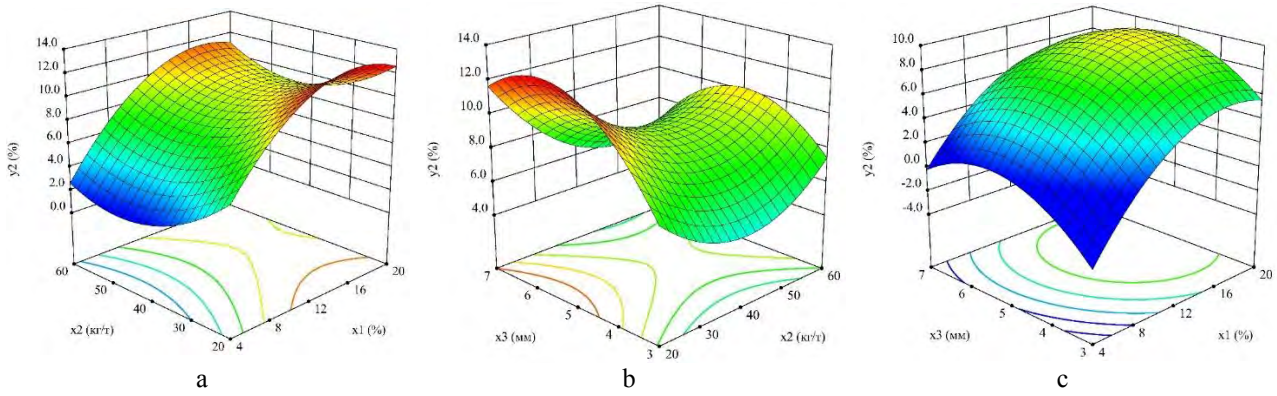


Рисунок 3. Кривые равных значений зависимости крошимости, % от: (а) количества введенного жира, % и расхода пара, кг/т (б) количества введенного жира, % и зазора между валком и матрицей, мм; (в) расхода пара, кг/т и зазора между валком и матрицей, мм

Figure 3. Curves of equal values of the crumbling dependence, % of: (a) the amount of introduced fat, % and steam consumption, kg / t (b) the amount of introduced fat, % and the gap between the roll and the matrix, mm; (c) steam consumption, kg / t and the gap between the roll and the matrix, mm

Предложена численная и графическая процедуры оптимизации для прогнозирования оптимального уровня входных факторов для получения минимальных значений удельного расхода энергии и значений крошимости в пределах до 8 %. Общая математическая постановка задачи оптимизации представлена в виде следующей модели:

$$y_1\left(x_i \ldots x_j\right) \to \min; \qquad y_2\left(x_i \ldots x_j\right) = \{:8\}. \tag{4}$$

Оптимальные интервалы входных параметров, определяющих решение сформулированной задачи оптимизации (4): $x_1 = 12{,}5\ldots16{,}7$ %; $x_2 = 40{,}3\ldots56{,}16$ кг/т; $x_3 = 6{,}5\ldots6{,}9$ мм.

Накладывая полученные интервалы друг на друга получаем область пересечения оптимального решения (белая зона) при заданных критериях оптимизации (рисунок 4).

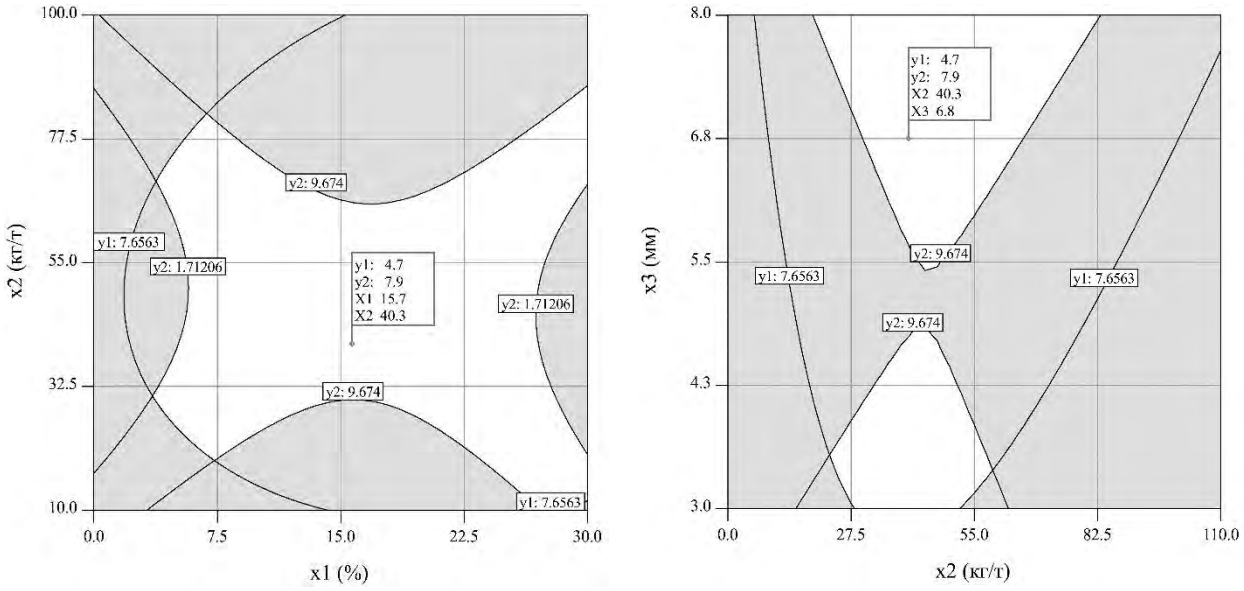


Рисунок 4. Область решения задачи оптимизации в интервале [–1,682…+1,682]

Figure 4. The area for solving the optimization problem in the interval [–1.682 ... + 1.682]

Окончательно получим следующие значения выходных параметров – удельный расход энергии, $y_1 = 4{,}7$ кВтч/т; крошимость, $y_2 = 7{,}9$ % при соответствующих входных: $x_1 = 15{,}7$ %; $x_2 = 40{,}3$ кг/т; $x_3 = 6{,}8$ мм.

Для проверки правильности выбора оптимальных условий процесса был поставлен ряд параллельных экспериментов. Сопоставление опытных и расчетных данных показало достаточную сходимость результатов. Все полученные данные лежали в пределах рассчитанных доверительных интервалов параметров оптимизации. Средняя квадратичная ошибка не превышала 7,1 %.

С использованием полученных оптимальных значений факторов с применением метода планирования эксперимента были проведены опыты по гранулированию комбикормов с высоким содержанием жира. При этом удельный расход энергии составил 4,10 кВт·ч/т, крошимость гранул – 8,5 %. Полученные данные свидетельствуют, что процесс гранулирования комбикормов при оптимальных параметрах позволяет получать гранулы, качество которых отвечает требованиям стандарта [] .

Исследовалось изменение показателей качества полученного гранулированного комбикорма при хранении, которое осуществлялось в производственных условиях (в складе) в летний и зимне-весенний период. В процессе хранения контролировали: влажность, %; общую кислотность, град; кислотное число, мг KOH/ г жира; перекисное число, %, йода; содержание витаминов А и Е, М.Е./г (рисунки 5–6) [].

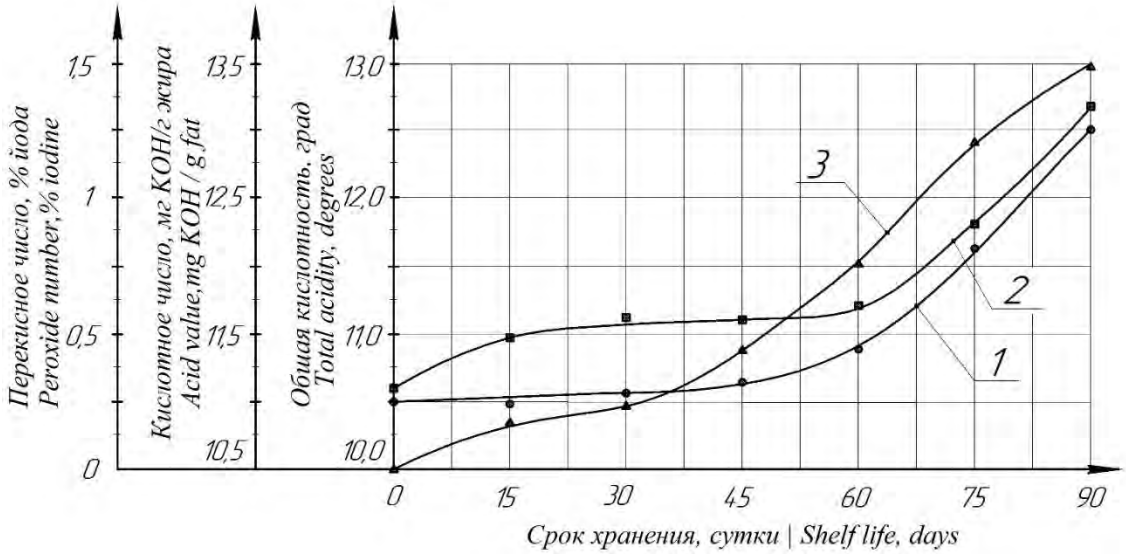


Рисунок 5. Изменения качества гранулированного комбикорма в процессе хранения в летний период: 1– общая кислотность, град; 2– кислотное число, мг KOH/ г жира; 3– перекисное число %, йода

Figure 5. Changes in the quality of granulated feed during storage in the summer: 1– total acidity, hail; 2 - acid number, mg KOH / g fat; 3 - peroxide number%, iodine

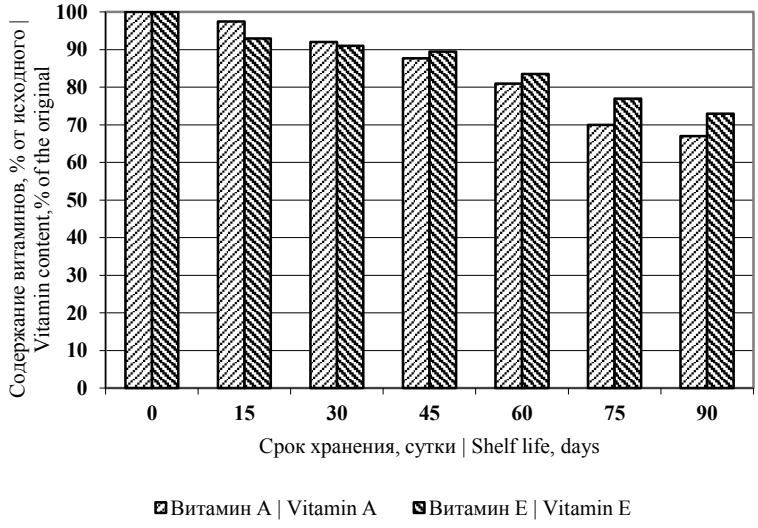


Рисунок 6. Изменение содержания витаминов в гранулированном комбикорме при хранении в летний период: 1– витамин А; 2– витамин Е

Figure 6. Changes in the content of vitamins in granulated feed during storage in summer: 1– vitamin A; 2 - vitamin E

Графики, отражающие изменение показателей качества гранулированного комбикорма при хранении, свидетельствовали, что общая кислотность и кислотное число жира существенно выросли после двух месяцев хранения. Такие изменения являются следствием гидролиза жира в комбикормах и хранение в условиях свободного доступа кислорода. Значение перекисного числа жира, отражающего глубину окислительных изменений в комбикорме, после двух месяцев хранения также резко возросло и достигло 0,8% йода. Дальнейшее хранение привело к значительному снижению доброкачественности продукции.

Заключение

Получили следующие значения выходных параметров – удельный расход энергии, y_1 = 4,7 кВтч/т; крошимость, y_2 = 7,9 % при соответствующих входных: x_1 = 15,7 %; x_2 = 40,3 кг/т; x_3 = 6,8 мм.

Потери витаминов А и Е при хранении комбикормов в течение 45 дней в летний период составили соответственно 12,3 % и 10,5 % от исходных значений. Такое снижение активности является допустимым. Дальнейшее хранение привело к значительному разрушению витаминов. Условия, складывавшиеся в зимне-весенний период, способствовали высокой активности витаминов в течении 60 дней.

Исходя из полученных результатов рекомендуемый срок хранения гранулированных комбикормов с повышенным содержанием жира в зимне-весенний период составляет 60 суток, в летний – 45 суток.

Литература

1 Паркалов И.В. Звероводство России на пути выхода из кризиса // Вестник Петровской академии. 2014. Т. 18. № 1. С. 76.

2 Балакирев Н.А., Орлова Е.А., Ульянова М.С. Современные технологии в клеточном пушном звероводстве // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2020. №. 10. С. 68–74. doi: 10.26155/vet.zoo.bio.202010010

3 Балакирев Н.А. Перспективы развития отрасли клеточного пушного звероводства России // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2018. №. 5. С. 54–57.

4 Бурденко Е.В. Меховая промышленность-драйвер экономического роста // Материалы V Всероссийского симпозиума по региональной экономике. 2019. С. 123–127.

5 Афанасьев В.А. Состояние и основные тенденции развития комбикормовой промышленности России // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2018. № 51. С. 155–160.

6 Афанасьев В.А. Комбикормовое производство: состояние и проблемы // Комбикорма. 2016. № 1. С. 9–11.

7 Еремченко В.В., Шевцов А.А., Лыткина Л.И., Шенцова Е.С. Использование отходов производства растительного масла в технологии комбикормов // Масложировая промышленность. 2006. №. 3. С. 58–60.

8 Курчаева Е.Е., Востроилов А.В., Лыткина Л.И., Шенцова Е.С. Повышение продуктивности и качества мяса кроликов на основе комплексного использования пробиотиков и сорбентов в составе комбикормов // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. №. 1 (83). С. 145–150. doi: 10.20914/2310–1202–2020–1–145–150

9 Drannikov A.V., Derkanosova A.A., Korotaeva A.A., Orinicheva A.A. et al. Study of feed protein supplement with the properties of phytobiotics. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2020. V. 422. №. 1. P. 012086. doi: 10.1088/1755–1315/422/1/012086

10 Шевцов А.А., Дранников А.В., Востроилов А.В., Курчаева Е.Е. и др. Разработка технологии получения высокоэффективных полнорационных гранулированных комбикормов // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 2. С. 137–145. doi: 10.20914/2310–1202–2020–2–137–145.

11 Полоз С.В., Куделич В.А., Юрченко Д.Г. Влияние кормов с высоким перекисным и кислотным числами на иммунобиологические показатели крови клеточных пушных зверей // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2014. №. 17 (1). С. 90–96.

12 Li X., Zou X., Wang Y., Zhang Y. Effects of probiotics additives EM on growth, metabolism and immune function of blue fox in growth phase // Chinese Journal of Applied Ecology. 2002. V. 13. №. 11. P. 1429-1432.

13 Brem G. Development and future of the use of animals for human nutrition // Zuchtungskunde. 2019. V. 91(1). P. 9–19.

14 Hammer A.S., Andresen L., Aalbæk B. et al. Abortion and mortality in farm mink (Neovison vison) associated with feed-born Clostridium limosum // Vet Microbiol. 2017. P.229–233. doi: 10.1016/j.vetmic.2017.03.017

15 Pölönen I., Koenem H., Sønderup M. A systematic approach to sustainable fur farming with special reference to feed and feeding // Scientifur. 2004. V. 28. P. 96–99.

16 Пахомов В.И., Брагинец С.В., Закиров И.В., Рухляда А.И. и др. Эффективность новых технологий для восполнения дефицита каротина в кормах // Техника и оборудование для села. 2018. №. 1. С. 18–20.

17 Beketov S.V., Kozlov A.V., Gorbunov O.V., Golovacheva N.A. Development of an integrated approach to assessing the sanitary quality of feed for fur-bearing animals // BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2020. V. 17. P. 00154. doi: 10.1051/bioconf/20201700154

18 Khusainova N., Vorozheykina T. Time to collect stones: problems and prospects for the fur farming industry in Russia // Espacios. 2019. V. 40. №. 24. P. 21.

19 Stankevich T.B., Anpilogova O.A., Malinov G.I., Gavrilov T.A. The efficiency rise of the feeds grinding process by optimizing its parameters // Resources and Technology. 2015. V. 12. №. 2.

20 Beltykova Z.N., Okulova I.I., Berezinza U.A., Kochurnikova M.A. The immune status of fur animals and its correction // Mezhdunarodnyy vestnik veterinarii. 2018. №. 4. P. 110–114.

References

1 Parkalov I.V. Fur farming in Russia on the way out of the crisis. Bulletin of the Petrovskaya Academy. 2014. vol. 18. no. 1. pp. 76. (in Russian).

2 Balakirev N.A., Orlova E.A., Ulyanova M.S. Modern technologies in cellular fur farming. Veterinary medicine, animal husbandry and biotechnology. 2020. no. 10. pp. 68–74. doi: 10.26155/vet.zoo.bio.202010010 (in Russian).

3 Balakirev N.A. Prospects for the development of the industry of cellular fur farming in Russia. Veterinary Medicine, Animal Science and Biotechnology. 2018. no. 5. pp. 54–57. (in Russian).

4 Burdenko E.V. Fur industry as a driver of economic growth. Proceedings of the V All-Russian Symposium on Regional Economics. 2019. pp. 123–127. (in Russian).

5 Afanasyev V.A. State and main trends in the development of the feed industry in Russia. Mechanization and electrification of agriculture. 2018. no. 51. pp. 155–160. (in Russian).

6 Afanasyev V.A. Compound feed production: state and problems. Compound feed. 2016. no. 1. pp. 9–11. (in Russian).

7 Eremchenko V.V., Shevtsov A.A., Lytkina L.I., Shentsova E.S. The use of vegetable oil production waste in compound feed technology. Oil and fat industry. 2006. no. 3. pp. 58-60. (in Russian).

8 Kurchaeva E.E., Vostroilov A.V., Lytkina L.I., Shentsova E.S. Increasing the productivity and quality of rabbit meat based on the complex use of probiotics and sorbents in the composition of feed. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 1 (83). pp. 145-150. doi: 10.20914/2310–1202–2020–1–145–150 (in Russian).

9 Drannikov A.V., Derkanosova A.A., Korotaeva A.A., Orinicheva A.A. et al. Study of feed protein supplement with the properties of phytobiotics. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2020. vol. 422. no. 1. pp. 012086. doi: 10.1088/1755–1315/422/1/012086

10 Shevtsov A.A., Drannikov A.V., Vostroilov A.V., Kurchaeva E.E. et al. Development of technology for obtaining highly efficient full-feed granulated compound feeds. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 2. pp. 137–145. doi: 10.20914/2310–1202–2020–2–137–145. (in Russian).

11 Poloz S.V., Kudelich V.A., Yurchenko D.G. Influence of feeds with high peroxide and acid numbers on the immunobiological parameters of the blood of cellular fur-bearing animals. Actual problems of intensive development of animal husbandry. 2014. no. 17 (1). pp. 90–96. (in Russian).

12 Li X., Zou X., Wang Y., Zhang Y. Effects of probiotics additives EM on growth, metabolism and immune function of blue fox in growth phase. Chinese Journal of Applied Ecology. 2002. vol. 13. no. 11. pp. 1429-1432.

13 Brem G. Development and future of the use of animals for human nutrition. Zuchtungskunde. 2019. vol. 91(1). pp. 9–19.

14 Hammer A.S., Andresen L., Aalbæk B. et al. Abortion and mortality in farm mink (Neovison vison) associated with feed-born Clostridium limosum. Vet Microbiol. 2017. pp. 229–233. doi: 10.1016/j.vetmic.2017.03.017

15 Pölönen I., Koenem H., Sønderup M. A systematic approach to sustainable fur farming with special reference to feed and feeding. Scientifur. 2004. vol. 28. pp. 96–99.

16 Pakhomov V.I., Braginets S.V., Zakirov I.V., Rukhlyada A.I. et al. Efficiency of new technologies for replenishing the carotene deficiency in feed. Technics and equipment for the village. 2018. no. 1. pp. 18–20. (in Russian).

17 Beketov S.V., Kozlov A.V., Gorbunov O.V., Golovacheva N.A. Development of an integrated approach to assessing the sanitary quality of feed for fur-bearing animals. BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2020. vol. 17. pp. 00154. doi: 10.1051/bioconf/20201700154

18 Khusainova N., Vorozheykina T. Time to collect stones: problems and prospects for the fur farming industry in Russia. Espacios. 2019. vol. 40. no. 24. pp. 21.

19 Stankevich T.B., Anpilogova O.A., Malinov G.I., Gavrilov T.A. The efficiency rise of the feeds grinding process by optimizing its parameters. Resources and Technology. 2015. vol. 12. no. 2.

20 Beltykova Z.N., Okulova I.I., Berezinza U.A., Kochurnikova M.A. The immune status of fur animals and its correction. Mezhdunarodnyy vestnik veterinarii. 2018. no. 4. pp. 110–114.

Сведения об авторах

Евгения С. Шенцова д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, evgeniya-shencova@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-4744-7112

Лариса И. Лыткина д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий , пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, larissaig2410@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0001-7857-7756

Information about authors

Evgeniya S. Shentsova Dr. Sci. (Engin.), professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, evgeniya-shencova@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-4744-7112

Larisa I. Lytkina Dr. Sci. (Engin.), professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, larissaig2410@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0001-7857-7756

Александр С. Муравьев к.т.н, инженер, отдел СМ, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hntrun@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5989-0752

Алиса А. Торшина к.т.н, инженер-химик, испытательный центр, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, alisa-korotaeva@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3150-8686

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Alexander S. Muraviev Cand. Sci. (Econ.), engineer, department of standardization and metrology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hntrun@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5989-0752

Alisa A. Torshina Cand. Sci. (Engin.), chemical engineer, Testing center, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, alisa-korotaeva@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3150-8686

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/10/2020	**После редакции** 20/11/2020	**Принята в печать** 18/12/2020

Received 20/10/2020	**Accepted in revised** 20/11/2020	**Accepted** 18/12/2020

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-248-252 Оригинальная статья/Research article
УДК 637.5/ 577.112.5 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Изучение структурно-механических свойств биополимеров с целью получения продукта типа капсул

Александр Ю. Соколов [1] sokolov.ay@rea.ru 0000-0002-5433-6429
Дарья И. Шишкина [1] shishkina.di@rea.ru 0000-0002-0620-8465

1 Российский Экономический Университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., 36, г. Москва, 117997, Россия

Аннотация. В статье представлены отдельные теоретические и экспериментальные данные о перспективных технологиях, а именно, процессах получения искусственных пищевых материалов типа сфер или «икры». Они получены на основе молекулярных процессов: солюбилизации, сферификации и т.п. Возможные сферы применения – пищевая промышленность, индустрия общественного питания, биотехнологии и другие. Различают особенности получения искусственных продуктов на основе альгинатов. Особенности структурирования альгинатов заключаются в том, что возможно образование гелевого слоя – инкапсулирование и образование геля по всей толщине продукта за счет особых химических свойств фиксирующей соли. На основе теории молекулярной структуры биополимеров, разрабатывались молекулярные технологии для синтеза искусственных продуктов питания, на примере молекулярной «икры». В результате собственных опытов получен удовлетворительный по органолептическим и физико-химическим свойствам капсулированный продукт из сшитого солями Ca^{2+} биополимера. Коллоидный раствор биополимера для формования «икринок» был охарактеризован с помощью метода ротационной вискозиметрии, показавшей особенности раствора альгината натрия как структурированного тиксотропного материала, для которого характерно «затруднение» сдвига на низких скоростях вращения ротора вискозиметра. Далее на реограмме такой материал проявляет прогнозируемое относительно стабильное течение. Вследствие этого, он может использоваться для выработки полуфабрикатов заданной формы и текстуры в качестве пищевого полуфабриката или продукта. При условии доработки технологии, не исключено применение коллоидных систем на базе альгинатов и других биополимеров в биотехнологии, в т.ч. культивировании микроорганизмов различных таксономических групп.

Ключевые слова: биополимеры, реология, икра молекулярная, капсулы, альгинат натрия

Study of the structural and mechanical properties of biopolymers in order to obtain a capsule-type product

Alexander Yu. Sokolov [1] sokolov.ay@rea.ru 0000-0002-5433-6429
Darya I. Shishkina [1] shishkina.di@rea.ru 0000-0002-0620-8465

1 Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 117997, Russia

Abstract. The article presents some theoretical and experimental data on promising technologies, namely, the processes of obtaining artificial food materials such as spheres or "caviar". They are derived from molecular processes: solubilization, spherification, etc. Possible applications are the food industry, the food service industry, biotechnology, and others. There are different features of obtaining artificial products based on alginates. The peculiarities of the alginate structuring are that it is possible to form a gel layer-encapsulation and gel formation over the entire thickness of the product due to the special chemical properties of the fixing salt. Based on the theory of the molecular structure of biopolymers, molecular technologies for the synthesis of artificial food products were developed, using the example of molecular "caviar". As a result of our own experiments, we obtained a satisfactory encapsulated product from a biopolymer crosslinked with Ca2+ salts in terms of organoleptic and physico-chemical properties. The colloidal biopolymer solution for forming "eggs" was characterized using the method of rotational viscometry, which showed the features of the sodium alginate solution as a structured thixotropic material, which is characterized by" difficulty " of shear at low speeds of rotation of the viscometer rotor. Further on the rheogram, such material exhibits a predicted relatively stable flow. As a result, it can be used to produce semi-finished products of a given shape and texture as a food semi-finished product or product. If the technology is refined, it is possible to use colloidal systems based on alginates and other biopolymers in biotechnology, including the cultivation of microorganisms of various taxonomic groups.

Keywords: biopolymers, rheology, molecular caviar, capsules, sodium alginate

Введение

В Перечень критических технологий Российской Федерации включены био-, нано-протеомные и другие важнейшие технологии, которые обусловливают перспективность разрабатываемой проблемы исследований природных биополимеров, в т. ч. белков, полисахаридов и т. п. [1]. Остаются малоизученными проблемы направленной модификации и дальнейшей переработки указанных биополимеров для пищевых целей. Однако, ряд задач получения и модификации биополимеров из разных источников уже изучены к настоящему моменту [7–9].

В связи с актуальностью проблемы исследований биополимеров, разрабатывали

Для цитирования
Соколов А.Ю., Шишкина Д.И. Изучение структурно-механических свойств биополимеров с целью получения продукта типа капсул // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 248–252. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-248-252

For citation
Sokolov A.Yu., Shishkina D.I. Study of the structural and mechanical properties of biopolymers in order to obtain a capsule-type product. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 248–252. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-248-252

© 2021, Соколов А.Ю. и др. / Sokolov A.Yu. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

молекулярные технологии пищевых сред, основанные на базовых физико-химических принципах – гидратация, студнеобразование, сферификация, капсулирование и тому подобные. В отечественных профессиональных журналах и сборниках трудов больше данных медицинского характера, особенно по исследованиям связующих, комплексообразующих свойств биополимеров в технологиях лекарственных форм [2].

Биополимеры-альгинаты представлены в Food Chemicals Codex (США) и имеют статус безопасных ингредиентов (GRAS). Важнейшим свойством производных альгиновой кислоты является гелеобразование (в присутствии ионов кальция либо в кислой среде). Контролируемое взаимодействие альгината натрия и кальциевых солей обеспечивает надлежащее гелеобразование, для которых характерны необратимость сдвига и термостойкость. Реструктурированные продукты (из кусочков мяса, рыбы, овощей и т. п.) производят с добавлением 1–2% по массе альгината (A. Imeson et. al.) [10]. Процесс изготовления структурированного мяса с использованием альгинатных гелей был запатентован учеными Государственного университета Колорадо. Особенности структурирования альгинатов заключаются в том, что возможно образование гелевого слоя – инкапсулирование и образование геля по всей толщине продукта за счет особых химических свойств фиксирующей соли, R. Tarte [11].

Однако, в последние годы очевиден дефицит информации именно по молекулярным процессам в биополимерах, используемых как различные пищевые среды или матрицы либо гели [3]. В связи с вышесказанным, поставили цель работы – изучить структурно-механические свойства солюбилизированных биополимеров для формования полупродукта типа капсул или «икры» для кулинарных целей.

Материалы и методы

Физико-химические эксперименты выполняли при стандартных лабораторных условиях (температура 20 ± 2 °С, влажность 40–60%). В первую очередь, альгинат гидратировали в течение ночи. На вид – это полупрозрачная опалесцирующая коллоидная масса, весьма густая при перемешивании. Таким образом, получали «основу» для приготовления искусственной (молекулярной) икры – коллоидный раствор альгината натрия с концентрацией ≈ 1,4–1,5%.

В этой связи, для обоснования технологических процессов диспергирования биополимера данной группы (ее нагнетания, течения, транспортирования [15]), была измерена динамическая вязкость указанной массы с помощью ротационного вискозиметра «Полимер РПЭ-1М»; метод исследования вязкости и его условия регламентированы ГОСТ 25276 [5]. Анализ гистологической структуры выполнялся методом световой микроскопии с фотографированием препаратов с помощью фото – видеокамеры «Lomo» с матрицей 5 мП.

Для получения молекулярной икры полученный раствор альгината с помощью перистальтического насоса вводили в 20% раствор хлорида натрия, далее происходила фиксация получаемых капсул в течение 10–15 мин. Далее полупродукт отмывали от избытка фиксирующей соли и помещали в банки с крышкой.

Результаты

Учитывая тот факт, что качество (форма, текстура) получаемого искусственного продукта (икры) зависит от структуры и равномерности нагнетания раствора полисахарида в фиксирующий раствор, основное внимание уделили изучению реологических свойств раствора альгината натрия.

При исследованиях реологических свойств раствора альгината натрия выявлена степенная зависимость динамической вязкости от скорости сдвига ротора; коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 \approx 0{,}8$ (рисунок 1).

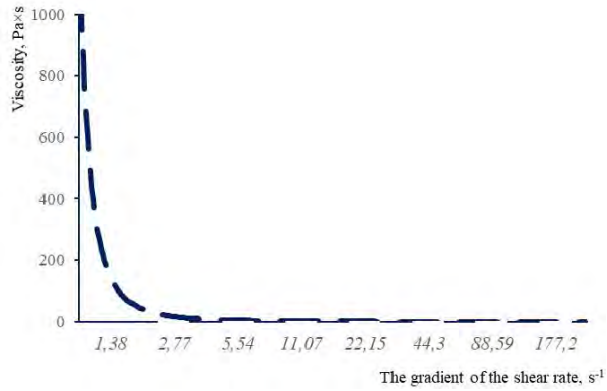


Рисунок 1. Реограмма альгината натрия концентрацией 1,45% [4]

Figure 1.. Rheogram of sodium alginate with a concentration of 1.45% [4]

Анализ представленной реограммы выявил тенденцию практически обратно пропорционального убывания эффективной вязкости раствора биополимера (альгината Na) в зависимости от скорости сдвига ротора вискозиметра. Однако, при минимальных скоростях вращения ротора (около 1,00÷1,38 $с^{-1}$) наблюдается значительное затруднение процесса сдвига в растворе биополимера, а затем вязкость резко снижается. Следовательно, исследованная жидкость относится к группе неньютоновских, то есть тиксотропных материалов.

Далее, с целью моделирования процесса изготовления искусственной икры использовали растворы биополимера – альгината натрия, модификатора (фиксатора) – хлорида кальция, а также, при необходимости видоизменения органолептических свойств, можно вводить ароматизаторы и красители пищевые, согласно технической документации.

Опыты выполняли при стандартных лабораторных условиях. Основой для приготовления искусственной молекулярной икры служил раствор альгината натрия (С ≈ 1,4 ÷ 1,5%), который, как известно [6], включает фракции – полиманнуронаты, полигулуронаты и т. п. Биополимер под некоторым избыточным давлением через фильеру продавливается в раствор хлорида кальция, что обеспечивает его сферификацию и мгновенную фиксацию за счет комплексообразующего (таннирующего) действия ионов Ca^{2+}. Так формируются капсулы или «икринки», в зависимости от сферы дальнейшего применения.

Гистологическая структура полученного полупродукта представленных на риуснке 2. Внешний вид данного продукта – это почти сферические частицы типа капсул с внутренней жидкой фазой и оболочкой, которые напоминают натуральную икру [4].

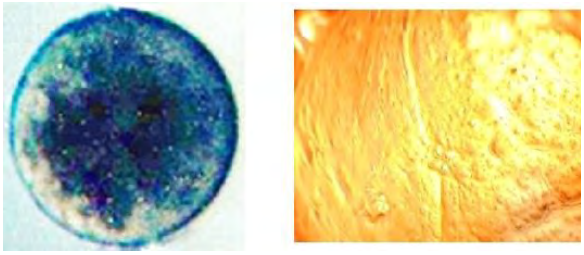


Рисунок 2. Гистологическое строение молекулярной икры (a) и микроструктура поверхности (b), × 40–100

Figure 2. Histological structure of molecular eggs (a) and surface microstructure (b), × 40–100

При гистологическом анализе изучаемого препарата, в данном случае «икры» (рисунок 2,a), отметили относительно правильное строение химически связанного биополимера и плотность архитектоники. Однако, следует отметить микрослоистость биополимерного материала, видимо, за счет особенностей его формования в лабораторных условиях при помощи шприца или лабораторного перистальтического насоса (рисунок 2,b).

Результаты сравнивали с данными зарубежных авторов. Так, M. Alipor, N. Firouzu et. al. изучили альгинат/желатиновые микрокапсулы [12]. J. Yan, X. Leang, C. Ma, выявили особенности сшивания ионами Ca^{2+} биополимеров из группы альгинатов. Авторы отметили плотную микроструктуру, высокие вязкоупругие свойства гелей при использовании Ca^{2+} в концентрации 1,25 мМ. C. Hu, W. Lu, A. Mata указывают на возможности гелеобразования с помощью ионов одно-, двух- и трехвалентных катионов (H^+, Ca^{2+}, Al^{3+}, Fe^{3+}), которые обуславливают разные свойства гелей и, соответственно, различные применения. Данные особенности коррелируют с результатами настоящей работы.

На основе биополимеров (производные альгината Na) получают эмульсии Пикеринга, с высокими молекулярными массами (до 685 кДа) и, соответственно, реологическими свойствами, перспективные для пищевой промышленности и других применений [15]. C. Gila-Vilchez et.al. удалось получить однородные вязко-эластичные гидрогели на основе альгинатов с иммобилизованными целевыми микрочастицами для технических и биомедицинских применений [16–20].

Учитывая полученные теоретические и экспериментальные результаты, их сопоставимость с данными российских и международных изданий, можно рекомендовать апробацию процесса сферификации в опытно-производственных условиях. Комбинирование биополимеров из групп полисахарид-белок для получения полуфабрикатов с заданными текстурой и свойствами, целесообразно изучить в дальнейшей экспериментальной работе.

Таким образом, в технологиях кулинарных полуфабрикатов и/или пищевой продукции мы получаем возможность имитировать дорогостоящую натуральную икру с заданными текстурой и вкусо-ароматической гаммой, что расширяет ассортимент пищевых добавок, покрытий типа топпингов и т. п.

Следующим этапом будет изучение процессов диспергирования, сферификации и других изменений, протекающих в белковых биополимерах, структуру и свойства которых мы изучали ранее [8, 9].

Следовательно, возможности применения изученных способов модификации биополимеров достаточно широки, это могут быть компоненты для пищевых продуктов (структурообразующие) и биотехнологий, в том числе компоненты сред для культивирования микроорганизмов, продуцирующих биологически активные вещества.

Заключение

Комплексный анализ результатов лабораторных испытаний свидетельствовал о том, что биополимеры приобретали в процессе их физико-химической модификации новые

органолептические, реологические и гистологические свойства и структуру. При моделировании процесса выработки искусственной икры отметили высоковязкие/упругие и достаточно стабильные во времени свойства основного материала – природного биополимера, специфику процесса связывания с помощью солей двухвалентных металлов, возможность направленной модификации вкусо-ароматических свойств с помощью различных пищевых добавок.

Кроме того, внимание уделено моделированию молекулярного процесса сферификации природных биополимеров (на примере, альгинатов), что найдет применение в производстве инновационных искусственных полуфабрикатов и блюд.

Можно предполагать, что исследованные процессы вполне найдут применение при решении технических задач гранулирования и капсулирования с помощью биополимеров (таких как белки, полисахариды или их комплексы) пищевых добавок, фармацевтических и биологически активных веществ при соответствующем аппаратурном оформлении и контроле их качества.

Литература

1 Перечень критических технологий Российской Федерации. 2020.

2 Кайшева Н.Ш., Кайшев А.Ш. Обоснование медицинского применения полиуронатов биогенных металлов в качестве катионообменных смол // Микроэлементы в медицине. 2017. Т. 18. №. 3. С. 42-48. doi: 10.19112/2413-6174-2017-18-3-42-48

3 Соколов А.Ю., Титов А.И., Апраксина С.К., Литвинова Е.В. Микроструктурные и реологические свойства коллагеносодержащего сырья при его модификации // Мясная индустрия. 2016. № 6. С. 43-45.

4 Соколов А.Ю. Изучение молекулярных процессов в природных биополимерах // Безопасность и качество сельскохозяйственного сырья и продовольствия: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. 2020. С. 643-645.

5 ГОСТ 25276–82 (СТ СЭВ 2972–81). Полимеры. Метод определения вязкости ротационным вискозиметром при определении скорости сдвига. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200020939

6 Isnansetyo A., Dwi Jayanti A., Wahyu Kartika Sari D., Dewi Puspita I. et al. Modification of the Physical Properties of Alginate with the Addition of Polymannuronate and Polyguluronate // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2020. V. 147. P. 03005. doi: 10.1051/e3sconf/202014703005

7 Deb-Choudhury S., Cooney J., Brewster D., Clerens S. et al. The effects of blanching on composition and modification of proteins in navy beans (Phaseolus vulgaris) // Food Chemistry. 2021. V. 346. P. 128950. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128950

8 Gorlov I.F., Titov E.I., Semenov G.V., Slozhenkina M.I. et al. Collagen from porcine skin: a method of extraction and structural properties // International Journal of Food Properties. 2018. V. 21. № 1. P. 1031-1042. doi: 10.1080/10942912.2018.1466324

9 Titov E.I., Sokolov A.Yu., Litvinova E.V. et. al. Dietary fibres in preventative meat products // Foods & Raw Materials. 2019. V. 7. №. 2. P. 387–395.

10 Imeson A. Food stabilisers, thickeners and gelling agents. Chichester: Wiley-Blackwell, 2010. V. 34.

11 Tarté R. Meat-derived protein ingredients // Ingredients in meat products. Springer, New York, NY, 2009. P. 145-171. doi: 10.1007/978-0-387-71327-4_7

12 Alipor M., Firouzi N., Aghazadeh Z. et. al. The osteogenic differentiation of human dental pulp stem cells in alginate-gelatin/Nano-hydroxyapatite microcapsules // BMC biotechnology. 2021. V. 21. №. 1. P. 1-12. doi: 10.1186/s12896-020-00666-3

13 Liang X., Ma C., Yan X., Zeng H. et al. Structure, rheology and functionality of whey protein emulsion gels: Effects of double cross-linking with transglutaminase and calcium ions // Food Hydrocolloids. 2020. V. 102. P. 105569. doi: 10.1016/j.foodhyd.2019.105569

14 Fang X., Zhao X., Yu G. et. al. Effect of molecular weight and pH on the self-assembly microstructural and emulsification of amphiphilic sodium alginate colloid particles // Food Hydrocolloids. 2020. V. 103. P. 105593. doi: 10.1016/j.foodhyd.2019.105593

15 Evageliou V. Shear and extensional rheology of selected polysaccharides // International Journal of Food Science & Technology. 2020. V. 55. №. 5. P. 1853-1861. doi: 10.1111/ijfs.14545

16 Gila-Vilchez C., Bonhome-Espinosa A.B., Kuzhir P. et. al. Rheology of magnetic alginate hydrogels // Journal of Rheology. 2018. V. 62. №. 5. P. 1083-1096. doi: 10.1122/1.5028137

17 Hu C., Lu W., Mata A., Nishinari K. et al. Ions-induced gelation of alginate: Mechanisms and applications // International Journal of Biological Macromolecules. 2021. V. 177. P. 578-588. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.02.086

18 Praseptiangga D. Development of seaweed-based biopolymers for edible films and lectins // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2017. V. 193. №. 1. P. 012003.

19 Kontominas M.G. Use of Alginates as Food Packaging Materials // Foods. 2020. V. 9. P. 1440. doi: 10.3390/foods9101440

20 Chowdhury S., Chakraborty S., Maity M., Hasnain M.S. et al. Biocomposites of alginates in drug delivery // Alginates in Drug Delivery. 2020. P. 153-185. doi: 10.1016/B978-0-12-817640-5.00007-8

References

1 List of critical technologies of the Russian Federation. 2020. (in Russian).

2 Kaisheva N.Sh., Kaishev A.Sh. Substantiation of medical application of biogenic metal polyuronates as cation exchange resins. Microelements in medicine. 2017. vol. 18. no. 3. pp. 42-48. doi: 10.19112 / 2413-6174-2017-18-3-42-48 (in Russian).

3 Sokolov A.Yu., Titov A.I., Apraksina S.K., Litvinova E.V. Microstructural and rheological properties of collagen-containing raw materials during its modification. Meat industry. 2016. no. 6. pp. 43-45. (in Russian).

4 Sokolov A.Yu. Study of molecular processes in natural biopolymers. Safety and quality of agricultural raw materials and food: collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference. 2020. pp. 643-645. (in Russian).

5 GOST 25276–82 (ST SEV 2972–81). Polymers. Method for the determination of viscosity by a rotary viscometer in determining the shear rate. Available at: http://docs.cntd.ru/document/1200020939 (in Russian).

6 Isnansetyo A., Dwi Jayanti A., Wahyu Kartika Sari D., Dewi Puspita I. et al. Modification of the Physical Properties of Alginate with the Addition of Polymannuronate and Polyguluronate. E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2020. vol. 147. pp. 03005. doi: 10.1051/e3sconf/202014703005

7 Deb-Choudhury S., Cooney J., Brewster D., Clerens S. et al. The effects of blanching on composition and modification of proteins in navy beans (Phaseolus vulgaris). Food Chemistry. 2021. vol. 346. pp. 128950. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128950

8 Gorlov I.F., Titov E.I., Semenov G.V., Slozhenkina M.I. et al. Collagen from porcine skin: a method of extraction and structural properties. International Journal of Food Properties. 2018. vol. 21. no. 1. pp. 1031-1042. doi: 10.1080/ 10942912.2018.1466324

9 Titov E.I., Sokolov A.Yu., Litvinova E.V. et. al. Dietary fibres in preventative meat products. Foods & Raw Materials. 2019. vol. 7. no. 2. pp. 387–395.

10 Imeson A. Food stabilisers, thickeners and gelling agents. Chichester: Wiley-Blackwell, 2010. vol. 34.

11 Tarté R. Meat-derived protein ingredients. Ingredients in meat products. Springer, New York, NY, 2009. pp. 145-171. doi: 10.1007/978-0-387-71327-4_7

12 Alipor M., Firouzi N., Aghazadeh Z. et. al. The osteogenic differentiation of human dental pulp stem cells in alginate-gelatin/Nano-hydroxyapatite microcapsules. BMC biotechnology. 2021. vol. 21. no. 1. pp. 1-12. doi: 10.1186/s12896-020-00666-3

13 Liang X., Ma C., Yan X., Zeng H. et al. Structure, rheology and functionality of whey protein emulsion gels: Effects of double cross-linking with transglutaminase and calcium ions. Food Hydrocolloids. 2020. vol. 102. pp. 105569. doi: 10.1016/j.foodhyd.2019.105569

14 Fang X., Zhao X., Yu G. et. al. Effect of molecular weight and pH on the self-assembly microstructural and emulsification of amphiphilic sodium alginate colloid particles. Food Hydrocolloids. 2020. vol. 103. pp. 105593. doi: 10.1016/j.foodhyd.2019.105593

15 Evageliou V. Shear and extensional rheology of selected polysaccharides. International Journal of Food Science & Technology. 2020. vol. 55. no. 5. pp. 1853-1861. doi: 10.1111/ijfs.14545

16 Gila-Vilchez C., Bonhome-Espinosa A.B., Kuzhir P. et. al. Rheology of magnetic alginate hydrogels. Journal of Rheology. 2018. vol. 62. no. 5. pp. 1083-1096. doi: 10.1122/1.5028137

17 Hu C., Lu W., Mata A., Nishinari K. et al. Ions-induced gelation of alginate: Mechanisms and applications // International Journal of Biological Macromolecules. 2021. vol. 177. pp. 578-588. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.02.086

18 Praseptiangga D. Development of seaweed-based biopolymers for edible films and lectins. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2017. vol. 193. no. 1. pp. 012003.

19 Kontominas M.G. Use of Alginates as Food Packaging Materials. Foods. 2020. vol. 9. pp. 1440. doi: 10.3390/foods9101440

20 Chowdhury S., Chakraborty S., Maity M., Hasnain M.S. et al. Biocomposites of alginates in drug delivery. Alginates in Drug Delivery. 2020. pp. 153-185. doi: 10.1016/B978-0-12-817640-5.00007-8

Сведения об авторах

Александр Ю. Соколов к.т.н., доцент, кафедра ресторанного бизнеса, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., 36, г. Москва, 117997, Россия, sokolov.ay@rea.ru

https://orcid.org/0000-0002-5433-6429

Дарья И. Шишкина ассистент, кафедра ресторанного бизнеса, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., 36, г. Москва, 117997, Россия, shishkina.di@rea.ru

https://orcid.org/0000-0002-0620-8465

Information about authors

Alexander Yu. Sokolov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, restaurant business department, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 117997, Russia,sokolov.ay@rea.ru

https://orcid.org/0000-0002-5433-6429

Darya I. Shishkina assistant, restaurant business department, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 117997, Russia,shishkina.di@rea.ru

https://orcid.org/0000-0002-0620-8465

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/01/2021	**После редакции** 08/02/2021	**Принята в печать** 18/02/2021
Received 20/01/2021	**Accepted in revised** 08/02/2021	**Accepted** 18/02/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-253-257 Краткое сообщение/Short message
УДК 640 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Продукт увеличивающий выносливость спринтеров

Алексей Н. Щеглеватых [1] fvkaf@vsuet.ru
Сергей А. Овечкин [2] e-mail@m.ru

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия

Аннотация. Выносливость в спринтерском беге определяется способностью бегуна поддерживать максимальную высокую скорость бега на дистанции и противостоять ее снижению вследствие утомления, возникающего в процессе бега. В настоящее время рекомендации по развитию спринтерской выносливости, в основном предназначены для спортсменов с применением различных средств и методов спортивно–тренировочной направленности. Вопросы же развития этого качества у спортсменов с применением технологии улучшения питания имеет в основном общие рекомендации. Благодаря нитрату, содержащемуся в свѐкле, организм поглощает больше кислорода и меньше устаѐт во время нагрузок, способствуя аэробному процессу. Основной задачей нашей работы было: определить показатели выносливости в спринтерском беге (повторное пробегание отрезков по 100 м 5–6 раз с определением среднего показателя), и обосновать методику развития этого качества у спортсменов с применением технологии приѐма пробиотика. Экспериментальные данные позволили выявить результативность применяемой методики развития выносливости в спринтерском беге. Причем наибольший эффект достигнут с помощью метода круговой тренировки, с включением в него средств скоростно-силовой подготовки в сочетании с бегом, а также повторное пробегание коротких и длинных отрезков (30–200 м), чередующихся в одном занятии, с постепенным снижением интервалов отдыха. Экспериментальная группа, принимавшая свекольный сок, показала более высокий результат увеличения выносливости в среднем показателе 0.5 секунды, чем контрольная группа, что позволяет сделать вы-вод о важности приѐма нитрата в свекле и его положительного влияния на выносливость спринтеров.

Ключевые слова: спринтерский бег, выносливость, свекольный сок, питание, упражнения

Endurance product for sprinters

Aleksej N. Shcheglevatyh [1] fvkaf@vsuet.ru
Sergej A. Ovechkin [2] e-mail@m.ru

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
2 Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia

Abstract. Endurance in sprint running is determined by the runner's ability to maintain maximum high speed at a distance and resist its decline due to fatigue that occurs during running. At present, recommendations for the development of sprint endurance are mainly intended for athletes using various means and methods of sports training. The development of this quality in athletes with the use of nutritional improvement technology has mainly general recommendations. Thanks to the nitrate contained in beets, the body absorbs more oxygen and fatigue less during exercise, contributing to the aerobic process. The main task of our work was: to determine the indicators of endurance in sprint running (repeated running of 100 m segments 5-6 times with the determination of the average), and to substantiate the methodology for the development of this quality in athletes using the technology of taking probiotics. The experimental data made it possible to reveal the effectiveness of the applied methodology for the development of endurance in sprint running. Moreover, the greatest effect was achieved using the method of circular training, with the inclusion of the means of speed-strength training in combination with running, as well as repeated running of short and long segments (30-200 m), alternating in one lesson, with a gradual decrease in the rest intervals. The experimental group that took beet juice showed a higher endurance increase in an average of 0.5 seconds than the control group, which allows us to draw a conclusion about the importance of taking nitrate in beets and its positive effect on the endurance of sprinters.

Keywords: sprint running, endurance, beet juice, nutrition, exercise

Введение

Выносливость в спринтерском беге определяется способностью бегуна поддерживать максимальную высокую скорость бега на дистанции и противостоять ее снижению вследствие утомления, возникающего в процессе бега.

В настоящее время рекомендации по развитию спринтерской выносливости, в основном предназначены для спортсменов с применением различных средств и методов спортивно – тренировочной направленности. Вопросы же развития этого качества у спортсменов с применением технологии улучшения питания имеет в основном общие рекомендации и в научной и методической литературе освящены недостаточно.

Благодаря нитрату, содержащемуся в свѐкле, организм поглощает больше кислорода и меньше устаѐт во время нагрузок, способствуя аэробному процессу [4–10]. Основной задачей нашей работы было: определить показатели выносливости в спринтерском беге (повторное пробегание отрезков по 100 м 5–6 раз с определением среднего показателя), и обосновать методику развития этого качества у спортсменов с применением технологии приѐма пробиотика.

Для цитирования
Щеглеватых А.Н., Овечкин С.А. Продукт увеличивающий выносливость спринтеров // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 253–257. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-253-257

For citation
Shcheglevatyh A.N., Ovechkin S.A. Endurance product for sprinters. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 253–257. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-253-257

© 2021, Щеглеватых А.Н. и др. / Shcheglevatyh A.N. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Методы

Исследования проводились на базе стадиона ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ (ст. преподаватель физической культуры ВГАУ Овечкин С.А. ст. преподаватель ФГБОУ ВО ВГУИТ Щеглеватых А.Н.). В сентябре 2020 г. были созданы две группы (экспериментальная и контрольная). Каждая группа состояла из 40 студентов основной медицинской группы. Занятия проходили 3 раза в неделю в течение 2 месяцев. Контрольная группа занималась в соответствии с планом программы. В экспериментальной группе для развития выносливости в беге максимальной мощности наряду со специальными средствами подготовки использовалось применение свекольного сока по 100г перед тренировкой. Занятия включали следующие упражнения: бег с низкого старта (20–25 м), бег в упоре под метроном, челночный бег 4х10 м. Широко использовался круговой метод тренировки. В него включались упражнения скоростной и скоростно-силовой направленности. В занятиях применялся бег от 30 до 200 м (повторно), бег с отягощением [2].

До и после занятий испытуемые обеих групп прошли контрольные педагогические (анкеты – опросники) и физиологические обследования, чсс и артериальное давление, а также контрольные испытания.

Уровень выносливости в беге максимальной мощности у всех спортсменов определился с помощью контрольно- измерительного прибора секундомера, с повторным пробеганием отрезков одинаковой длинны 100 м. Способность бегуна длительно удерживать достигнутую максимально скорость являлась основным показателем его выносливости.

Занятия с обучающимися строились так, что в одном занятии применялись упражнения для развития скоростно-силовых качеств и развития спринтерской выносливости [11].

Результаты и обсуждение

Развитие скоростно-силовых качеств. Разминка. Бег с ускорением 3х25 м. а) эстафетный бег, когда каждый участник группы трижды выполнял комплекс скоростно-силовых упражнений, включающих прыжки на одной и двух ногах, прыжки через мячи, через партнѐра, через плиометрические боксы и т. п.;). Круговой метод тренировки (выполнялось 3 серии по 25–30 сек. каждая с интервалом отдыха между сериями 60–90 сек.). По кругу на одинаковом расстоянии друг от друга размещались заранее приготовленные снаряды. Например, в одном месте беговой дорожки испытуемые выполняли многократные прыжки через гимнастические скамейки, затем прыгали вверх, далее выполнялся прыжок в глубину с плиометрического бокса с высоты 60 см и потом выполнялись многоскоки по отметкам [3, 12–16]. После прохождения четырех «пунктов подготовки» испытуемые спокойно пробегали два круга, а после отдыха (1,5–2 мин.) приступали к выполнению второй серии. По окончании занятия все выполняли заключительный бег в течение 1,5–2 мин.

Развитие спринтерской выносливости. Разминка. Бег с низкого старта 4–5х25 м. Бег в упоре под метроном с постоянным увеличением частоты шагов – 4–5х10–12 сек. Бег по кругу с околопредельной скоростью (занимающийся как можно быстрее добегает до отметки 100 м, быстро поворачивается обратно и, оттолкнувшись ногой, бежит в обратную сторону) [2, 17].

Занятия на стадионе выполнялись в течение 30 мин. основной части с учетом развития анаэробных возможностей. Для этого использовалось повторное пробегание коротких и длинных отрезков (30–200 м). Например: 2–3х30 м+ +1–2х60 м+1х80, или 2х80+2х50 м+2–3х30–40 м, или 200+100+50+30 м. Интервалы отдыха постепенно сокращались.

Данные контрольных испытаний показали, что у испытуемых экспериментальной группы наблюдался наибольший рост исследуемых показателей.

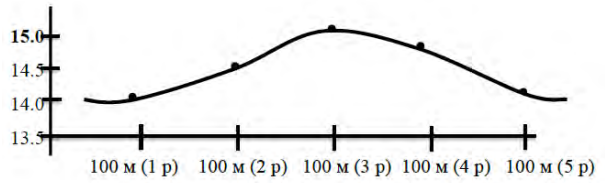


Рисунок 1. Пробегание отрезков по 100 м до эксперимента

Figure 1. Running 100 m segments before the experiment

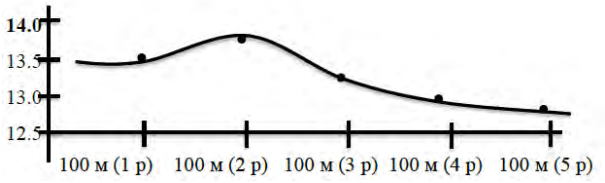


Рисунок 2. Пробегание отрезков по 100 м после эксперимента

Figure 2. Running 100 m segments after the experiment

Средний результат в беге на 100 м улучшился у учащихся экспериментальной группы на 0,6 сек. Наибольшее различие между экспериментальной и контрольной группами наблюдаются в показателях времени удержания максимальной скорости, то есть выносливости.

Так, в экспериментальной группе улучшение произошло на 1,01 сек. Заметные изменения произошли и в показателях скоростно-силовой подготовке. В прыжке в длину с места испытуемые экспериментальной группы улучшили свой результат на 15,3 см. В прыжках в высоту улучшение соответственно – 4,1 см

Следует, однако, отметить, что, хотя основу развития выносливости в спринтерском беге составляют средства, развивающие анаэробные возможности организма, необходимо постоянно повышать аэробные функции организма спортсменов. Без создания определенной базы аэробной способности, иными словами общей выносливости, нельзя обеспечить выполнение необходимого объема скоростной, скоростно-силовой работы и быстрое восстановление в промежутках времени для отдыха [18–20].

Заключение

Экспериментальные данные позволили выявить результативность применяемой методики развития выносливости в спринтерском беге. Причем наибольший эффект достигнут с помощью метода круговой тренировки, с включением в него средств скоростно-силовой подготовки в сочетании с бегом, а также повторное пробегание коротких и длинных отрезков (30–200 м), чередующихся в одном занятии, с постепенным снижением интервалов отдыха.

Экспериментальная группа, принимавшая свекольный сок, показала более высокий результат увеличения выносливости в среднем показателе 0.5 секунды, чем контрольная группа, что позволяет сделать вывод о важности приѐма нитрата в свекле и его положительного влияния на выносливость спринтеров.

Литература

1 Овечкин С.А. Интервальный метод в подготовке бегунов сборной воронежского ГАУ // Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы научной и учебно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ВГАУ. 2016. С. 162–163.

2 Поваляева Т.В., Овечкин С.А. Кроссовый бег в ВУЗе. Основы обучения // Инновационные методики и технологии физкультурно-оздоровительной и спортивно-массовой работы в высших учебных заведениях Минсельхоза России. 2018. С. 117–121.

3 Щеглеватых А.Н. Важность плиометрическогобокса при подготовке к ВФСК ГТО и варианты упражнений // Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы научной и учебно-методической конференции научно-педагогических работников и аспирантов ВГАУ. 2018. С. 211–213.

4 Лиофилизированный сок столовой красной свеклы (Succus Betae vulgaris L) // Спорт-вики — википедия научного бодибилдинга. URL: http://sportwiki.to/свекольный сок

5 Stevens C.J., Mauger A.R., Hassmèn P., Taylor L. Endurance performance is influenced by perceptions of pain and temperature: theory, applications and safety considerations // Sports medicine. 2018. V. 48. №. 3. P. 525-537. doi: 10.1007/s40279-017-0852-6

6 Barnard N.D., Goldman D.M., Loomis J.F., Kahleova H., Levin S.M. et al. Plant-based diets for cardiovascular safety and performance in endurance sports // Nutrients. 2019. V. 11. №. 1. P. 130. doi: 10.3390/nu11010130

7 Paradis-Deschênes P., Lapointe J., Joanisse D.R., Billaut F. Similar Recovery of Maximal Cycling Performance after Ischemic Preconditioning, Neuromuscular Electrical Stimulation or Active Recovery in Endurance Athletes // Journal of Sports Science & Medicine. 2020. V. 19. №. 4. P. 761.

8 Babich O., Dyshlyuk L., Noskova S., Sukhikh S. et al. In vivo study of the potential of the carbohydrate-mineral complex from pine nut shells as an ingredient of functional food products // Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre. 2019. V. 18. P. 100185. doi: 10.1016/j.bcdf.2019.100185

9 Valenta R., Dorofeeva Yu.A. Sport nutrition: the role of macronutrients and minerals in endurance exercises // Foods and Raw materials. 2018. V. 6. №. 2. doi: 10.21603/2308-4057-2018-2-403-412

10 Kim S.B., Burr G.W., Kim W., Nam S.W. Phase-change memory cycling endurance // MRS Bulletin. 2019. V. 44. №. 9. P. 710-714. doi: 10.1557/mrs.2019.205

11 Sawicki T., Topolska J., Romaszko E., Wiczkowski W. Profile and content of betalains in plasma and urine of volunteers after long-term exposure to fermented red beet juice // Journal of agricultural and food chemistry. 2018. V. 66. №. 16. P. 4155-4163. doi: 10.1021/acs.jafc.8b00925

12 Ahmed J.K., Salih H.A.M., Hadi A.G. Anthocyanins in red beet juice act as scavengers for heavy metals ions such as lead and cadmium // International journal of science and technology. 2013. V. 2. №. 3. P. 269-274.

13 Slavov A., Karagyozov V., Denev P., Kratchanova M. et al. Antioxidant activity of red beet juices obtained after microwave and thermal pretreatments // Czech Journal of Food Sciences. 2013. V. 31. №. 2. P. 139-147.

14 Gallardo E.J., Coggan A.R. What is in your beet juice? Nitrate and nitrite content of beet juice products marketed to athletes // International journal of sport nutrition and exercise metabolism. 2019. V. 29. №. 4. P. 345-349. doi: 10.1123/ijsnem.2018-0223

15 Genders A.J., Martin S.D., McGee S.L., Bishop D.J. A physiological drop in pH decreases mitochondrial respiration, and HDAC and Akt signaling, in L6 myocytes // American Journal of Physiology-Cell Physiology. 2019. V. 316. №. 3. P. C404-C414. doi: 10.1152/ajpcell.00214.2018

16 Coggan A.R., Broadstreet S.R., Mikhalkova D., Bole I. et al. Dietary nitrate-induced increases in human muscle power: high versus low responders // Physiological reports. 2018. V. 6. №. 2. P. e13575. doi: 10.14814/phy2.13575

17 Rothschild J.A., Bishop D.J. Effects of dietary supplements on adaptations to endurance training // Sports Medicine. 2020. V. 50. №. 1. P. 25-53. doi: 10.1007/s40279-019-01185-8

18 Van De Walle G.P., Vukovich M.D. The effect of nitrate supplementation on exercise tolerance and performance: A systematic review and meta-analysis // The Journal of Strength & Conditioning Research. 2018. V. 32. №. 6. P. 1796-1808. doi: 10.1519/JSC.0000000000002046

19 Pawlak-Chaouch M., Boissière J., Munyaneza D., Gamelin F.X. et al. Beetroot juice does not enhance supramaximal intermittent exercise performance in elite endurance athletes // Journal of the American College of Nutrition. 2019. V. 38. №. 8. P. 729-738. doi: 10.1080/07315724.2019.1601601

20 Husmann F., Bruhn S., Mittlmeier T., Zschorlich V. et al. Dietary nitrate supplementation improves exercise tolerance by reducing muscle fatigue and perceptual responses // Frontiers in physiology. 2019. V. 10. P. 404. doi: 10.3389/fphys.2019.00404

References

1 Ovechkin S.A. The interval method in the preparation of the runners of the Voronezh State Agrarian University national team. Theory and practice of innovative technologies in the agro-industrial complex: materials of the scientific and educational-methodical conference of the faculty, researchers and graduate students of the Voronezh State Agrarian University. 2016. pp. 162–163. (in Russian).

2 Povalyaeva T.V., Ovechkin S.A. Cross-country running at the university. Fundamentals of education. Innovative methods and technologies of physical culture and health and sports mass work in higher educational institutions of the Ministry of Agriculture of Russia. 2018. pp. 117–121. (in Russian).

3 Scheglevatykh A.N. The importance of plyometric box in preparation for the WFSK RLD and exercise options. Theory and practice of innovative technologies in the agro-industrial complex: materials of the scientific and educational-methodical conference of scientific and pedagogical workers and graduate students of the VSAU. 2018. pp. 211–213. (in Russian).

4 Lyophilized red beet juice (Succus Betae vulgaris L). Sports wiki - wikipedia for scientific bodybuilding. Available at: http://sportwiki.to/свекольный сок (in Russian).

5 Stevens C.J., Mauger A.R., Hassmèn P., Taylor L. Endurance performance is influenced by perceptions of pain and temperature: theory, applications and safety considerations. Sports medicine. 2018. vol. 48. no. 3. pp. 525-537. doi: 10.1007/s40279-017-0852-6

6 Barnard N.D., Goldman D.M., Loomis J.F., Kahleova H., Levin S.M. et al. Plant-based diets for cardiovascular safety and performance in endurance sports. Nutrients. 2019. vol. 11. no. 1. pp. 130. doi: 10.3390/nu11010130

7 Paradis-Deschênes P., Lapointe J., Joanisse D.R., Billaut F. Similar Recovery of Maximal Cycling Performance after Ischemic Preconditioning, Neuromuscular Electrical Stimulation or Active Recovery in Endurance Athletes. Journal of Sports Science & Medicine. 2020. vol. 19. no. 4. pp. 761.

8 Babich O., Dyshlyuk L., Noskova S., Sukhikh S. et al. In vivo study of the potential of the carbohydrate-mineral complex from pine nut shells as an ingredient of functional food products. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre. 2019. vol. 18. pp. 100185. doi: 10.1016/j.bcdf.2019.100185

9 Valenta R., Dorofeeva Yu.A. Sport nutrition: the role of macronutrients and minerals in endurance exercises. Foods and Raw materials. 2018. vol. 6. no. 2. doi: 10.21603/2308-4057-2018-2-403-412

10 Kim S.B., Burr G.W., Kim W., Nam S.W. Phase-change memory cycling endurance. MRS Bulletin. 2019. vol. 44. no. 9. pp. 710-714. doi: 10.1557/mrs.2019.205

11 Sawicki T., Topolska J., Romaszko E., Wiczkowski W. Profile and content of betalains in plasma and urine of volunteers after long-term exposure to fermented red beet juice. Journal of agricultural and food chemistry. 2018. vol. 66. no. 16. pp. 4155-4163. doi: 10.1021/acs.jafc.8b00925

12 Ahmed J.K., Salih H.A.M., Hadi A.G. Anthocyanins in red beet juice act as scavengers for heavy metals ions such as lead and cadmium. International journal of science and technology. 2013. vol. 2. no. 3. pp. 269-274.

13 Slavov A., Karagyozov V., Denev P., Kratchanova M. et al. Antioxidant activity of red beet juices obtained after microwave and thermal pretreatments. Czech Journal of Food Sciences. 2013. vol. 31. no. 2. pp. 139-147.

14 Gallardo E.J., Coggan A.R. What is in your beet juice? Nitrate and nitrite content of beet juice products marketed to athletes. International journal of sport nutrition and exercise metabolism. 2019. vol. 29. no. 4. pp. 345-349. doi: 10.1123/ijsnem.2018-0223

15 Genders A.J., Martin S.D., McGee S.L., Bishop D.J. A physiological drop in pH decreases mitochondrial respiration, and HDAC and Akt signaling, in L6 myocytes. American Journal of Physiology-Cell Physiology. 2019. vol. 316. no. 3. pp. C404-C414. doi: 10.1152/ajpcell.00214.2018

16 Coggan A.R., Broadstreet S.R., Mikhalkova D., Bole I. et al. Dietary nitrate-induced increases in human muscle power: high versus low responders. Physiological reports. 2018. vol. 6. no. 2. pp. e13575. doi: 10.14814/phy2.13575

17 Rothschild J.A., Bishop D.J. Effects of dietary supplements on adaptations to endurance training. Sports Medicine. 2020. vol. 50. no. 1. pp. 25-53. doi: 10.1007/s40279-019-01185-8

18 Van De Walle G.P., Vukovich M.D. The effect of nitrate supplementation on exercise tolerance and performance: A systematic review and meta-analysis. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2018. vol. 32. no. 6. pp. 1796-1808. doi: 10.1519/JSC.0000000000002046

19 Pawlak-Chaouch M., Boissière J., Munyaneza D., Gamelin F.X. et al. Beetroot juice does not enhance supramaximal intermittent exercise performance in elite endurance athletes. Journal of the American College of Nutrition. 2019. vol. 38. no. 8. pp. 729-738. doi: 10.1080/07315724.2019.1601601

20 Husmann F., Bruhn S., Mittlmeier T., Zschorlich V. et al. Dietary nitrate supplementation improves exercise tolerance by reducing muscle fatigue and perceptual responses. Frontiers in physiology. 2019. vol. 10. pp. 404. doi: 10.3389/fphys.2019.00404

Сведения об авторах

Алексей Н. Щеглеватых ст. преподаватель, кафедра физкультуры и спорта, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, fvkaf@vsuet.ru

Сергей А. Овечкин ст. преподаватель, кафедра физического воспитания, Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, e-mail@m.ru

Information about authors

Aleksej N. Shcheglevatyh senior lecturer, physical education and sports department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, fvkaf@vsuet.ru

Sergej A. Ovechkin senior lecturer, physical education department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia, e-mail@m.ru

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 15/01/2021	**После редакции** 12/02/2021	**Принята в печать** 05/03/2021
Received 15/01/2021	**Accepted in revised** 12/02/2021	**Accepted** 05/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-258-262 Оригинальная статья/Research article
УДК 615.37.613.287 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Влияние закваски на аминокислотный состав кисломолочных продуктов

Туяна Н. Занданова [1] tuyana35mail@.ru 0000-0002-4659-7047
Кира В. Иванова [1] kiravlad85@mail.ru 0000-0002-2722-7825
Туйаара П. Мырьянова [1] myryuanova@mail.ru 0000-0001-7300-0384

1 Арктический государственный агротехнологический университет, Сергеляхское ш. 3 км, 3, Якутск,677007, Россия

Аннотация. Выполнены экспериментальные исследования аминокислотного состава коровьего обезжиренного молока, ферментированного кефирными грибками, естественной курунговой симбиотической закваской, бактериальным концентратом микробного консорциума (БКМК). Бактериальный концентрат микробного консорциума предназначен для приготовления кисломолочного напитка смешанного брожения – курунга. Для приготовления БКМК использован микробный консорциум, полученный путем автоселекции микрофлоры кефирной грибковой закваски и термофильных лактобактерий Lactobacillus bulgaricus и Lactobacillus acidophilum. Аминокислотный анализ образцов проводился методом ионной хроматографии с постколоночной дериватизацией аминокислот нингидрином в кислотном гидролизате образца на аминокислотном анализаторе «INGOSAAA-400». В результате проведенных исследований установлено наибольшее количество незаменимых аминокислот 434 мг/г белка в кефире. В образцах, приготовленных на естественной закваске и бактериальном концентрате микробного консорциума, общее количество незаменимых аминокислот составило 401,84 и 403,8 мг/г белка соответственно. Для роста молочнокислых бактерий и дрожжей необходимы экзогенные аминокислоты. Различие общего количества незаменимых аминокислот в образцах, вероятно, связано с протеолитической активностью заквасок и ростовыми потребностями микроорганизмов. Оценку биологической ценности проводили по методике И.А. Рогова и Н.Н. Липатова по коэффициентам различий аминокислотного скора (КРАС) и биологической ценности (БЦ). Исследования аминокислотного скора показали, что белок в исследуемых образцах характеризуется полноценным составом, по БЦ образцы курунги превосходили кефир на 0,55-0,75%. Полученные результаты свидетельствуют о том, что по биохимической активности бактериальный концентрат микробного консорциума практически близок естественной закваске и позволяет получить курунгу идентичную по биологической ценности традиционному напитку.

Ключевые слова: курунга, аминокислоты, автоселекция, биологическая ценность, молочнокислые бактерии, бактериальный концентрат, естественная закваска, аминокислотный скор, микробный консорциум, закваска

The effect of starter on amino acid composition of fermented milk

Tuyana N. Zandanova [1] tuyana35mail@.ru 0000-0002-4659-7047
Kira V. Ivanova [1] kiravlad85@mail.ru 0000-0002-2722-7825
Tuyara P. Myryuanova [1] myryuanova@mail.ru 0000-0001-7300-0384

1 Arctic State Agrotechnological University, Sergelyakhskoe highway 3 km, building 3, Yakutsk, 677007, Russia

Abstract. The experimental studies of the amino acid composition of the skimmed cow milk fermented with kefir corns, natural kurunga symbiotic starter and bacterial concentrate of the microbial consortium (BCMC) have been carried out. The bacterial concentrate of the microbial consortium is intended for the preparation of a fermented milk beverage of mixed fermentation – kurunga. The microbial consortium obtained by autoselection of population of kefir corn starter and thermophilic lactobacteriums Lactobacillus bulgaricus and Lactobacillus acidophilum has been used to prepare BCMC. The amino acid analysis of the samples has been carried out by IC method with postcolumn derivatization of amino acids ninhydrin in the acid hydrolyzate of the sample on INGOSAAA-400 amino acid analyzer. The most of essential amino acids has been found in kefir – 434 mg/g of protein. In the samples prepared with natural starter and bacterial concentrate, the total amount of essential amino acids has been 401.84 and 403.8 mg/g of protein, respectively. Exogenous amino acids are essential for the growth of lactics and yeast. The difference in the total amount of the essential amino acids in the samples, probably, caused by the proteolytic activity of the starters and the growth requirements of the microorganisms. The assessment of the bioavailability has been carried out by the method of I.A. Rogov and N.N. Lipatov according to the coefficients of differences between the amino-acid score (CDAS) and bioavailability. The amino-acid scoring studies have shown that the protein in the studied samples is characterized by a complete composition. According to bioavailability, the kurunga samples exceeded kefir by 0.55-0.75%. The obtained results indicate that according to the biochemical activity, the bacterial concentrate of the microbial consortium is practically identical to kurunga prepared with natural starter. It makes possible to obtain a product bioavailably identical to a traditional beverage.

Keywords: kurunga, amino acids, autoselection, bioavailability, lactics, bacterial concentrate, natural starter, amino acid score, microbial consortium, starter

Введение

Питание является важнейшей физиологической потребностью организма. Функциональное питание подразумевает использование продуктов естественного происхождения, обладающих определенным регулирующим воздействием на организм в целом или на его отдельные системы. Поступление белков необходимо для постоянного и непрерывного построения обновления и построения тканей, восполнения энергетических затрат и регулирования обменных процессов. Качество белка определяется наличием в нем полного набора незаменимых аминокислот в определенном соотношении. В молоке содержание белка составляет в среднем 3,2 %. В состав молока входят три группы белков: казеин, содержащий 4 фракции: αs_1, αs_2, β и к – казеин и их фрагменты, сывороточные белки β-лактоглобулин и α-лактоальбумина, иммуноглобулин, альбумин сыворотки крови, лактоферрин, так называемые минорные белки и белки оболочек жировых шариков. Кроме белка в молоке содержатся азотистые соединения небелкового характера: аминокислоты, пептиды, мочевина, аммиак, мочевая кислота [3, 4, 6–7].

Для цитирования
Занданова Т.Н., Иванова К.В., Мырьянова Т.П. Влияние закваски на аминокислотный состав кисломолочных продуктов // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 258–262. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-258-262

For citation
Zandanova T.N., Ivanova K.V, Myryuanova T.P. The effect of starter on amino acid composition of fermented milk. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 258–262. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-258-262

© 2021, Занданова Т.Н. и др. / Zandanova T.N. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Биологическая ценность белков зависит не только от содержания в них незаменимых аминокислот, но и от их соотношения: чем больше разница этих соотношений по сравнению с эталонным белком, тем меньше биологическая ценность. При оценке биологической ценности очень важными показателями являются аминокислотный скор, коэффициент различия аминокислотного скора (КРАС), биологическая ценность белка (БЦ) [2–4].

Белковый состав курунги, кисломолочного продукта смешанного брожения, является одним из важнейших функциональных свойств, обусловленный протеолитической активностью микрофлоры закваски. Нами разработан бактериальный концентрат микробного консорциума, идентичный по составу микрофлоры естественной курунговой закваске [1]. Микробный консорциум получен путем длительной автоселекции микрофлоры кефирной грибковой закваски и термофильных лактобактерий.

Цель работы – сравнительная оценка влияния бактериального концентрата микробного консорциума на аминокислотный состав белка сквашиваемого молока.

Материалы и методы

Объектом исследования были образцы коровьего пастеризованного обезжиренного молока заквашенные различными закваскаами:

– кефирными грибками (контроль);

– естественной курунговой закваской (контроль);

– бактериальным концентрат микробного консорциума (БКМК) [1].

Аминокислотный анализ молока проводился методом ионной хроматографии с постколоночной дериватизацией аминокислот нингидрином в кислотном гидролизате образца на аминокислотном анализаторе «INGOSAAA-400».

Для оценки биологической ценности продуктов применяли аминокислотный скор. Скор выражают в процентах, представляющей отношение содержание незаменимой аминокислоты в исследуемом белке к ее количеству в эталонном белке. Аминокислотный состав эталонного белка согласно шкале ФАО/ВОЗ от 2007 г. содержит (мг): изолейцина – 30, лейцина – 59, лизина – 45, метионина+ цистина – 22, фенилаланина+ тирозин – 38, треонина – 23, валина – 39, триптофана – 6 [2].

Оценку биологической ценности проводили по методике И.А. Рогова и Н.Н. Липатова по коэффициентам различий аминокислотного скора (КРАС) и биологической ценности (БЦ) [2].

$$KPAC = \frac{\sum \Delta PAC}{n} \quad (1)$$

где ΔPAC – различие аминокислотного скора аминокислоты; n – количество незаменимых аминокислот.

$$\Delta PAC = C_i - C_{min}$$

где C_i – скор i-той незаменимой аминокислоты, %;

C_{min} – минимальный из скоров незаменимых аминокислот.

Биологическая ценность (БЦ) пищевого белка определяют по формуле:

$$БЦ = 100\text{-КРАС}, \% \quad (2)$$

Результаты и обсуждение

Для исследования коровье обезжиренное молоко пастеризовали при 84 °С в течение 15 мин, затем охлаждали: до 30 °С для заквашивания курунговой естественной закваской и бактериальным концентратом микробного консорциума; до 22 °С для внесения кефирных грибков.

Сквашивание молока проводили в течение 8–10 часов до достижения титруемой кислотности в образцах курунги 120 °Т, в кефире 90 °Т. Результаты исследования аминокислотного состава образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Аминокислотный состав кисломолочных продуктов

Table 1.

Amino acid composition of acid-milk product

Аминокислота Amino acid	Количество, мг на 100 г. Продукта | Quantity, mg per 100 g of product		
	Кефир Cefir	Курунга на естественной закваске Kurunga on natural sourdough	Курунга на БКМК Kurunga at BKMK
Валин | Valine	135	126	129
Лейцин | Leucine	274	218	227
Изолейцин | Isoleucine	160	148	140
Фенилаланин + тирозин | Phenylalanine + Tyrosine	185	179	168
Метионин + цистин | Methionine + cystine	89	87	84
Лизин | Lysine	238	218	216
Триптофан | Tryptophan	25	22	22
Треонин | Threonine	109	112	115
Сумма | Amount	1215	1110	1101

Из таблицы 1 видно, что общее количество незаменимых аминокислот в кефире выше, чем в обоих образцах курунги. Количество незаменимых аминокислот в курунге, заквашенной бактериальным концентратом и естественной закваской, практически не отличаются. Отличие общего количества незаменимых аминокислот, вероятно, зависит от протеолитической активности закваски и ростовых потребностей микроорганизмов.

Для роста молочнокислых бактерий необходимы экзогенные источники пептидов и аминокислот. Они образуются в результате гидролиза казеина бактериальной протеазой. В свою очередь, образовавшиеся при гидролизе олигопептиды усваиваются молочнокислыми бактериями с участием специфического пептидного транспорта и в дальнейшем под действием различных внутриклеточных пептидаз гидролизуются до короткоцепочечных пептидов и аминокислот [6–8,10,11–20]. Многие микроорганизмы способны к синтезу бактериоцинов, гетерогенных антибактериальных пептидов, разнообразных по уровню активности, спектру и механизму действия, молекулярной массе и физико-химическим свойствам [5, 9].

Исследование аминокислотного состава кисломолочных продуктов позволяет оценить их биологическую ценность.

Аминокислотный скор – показатель биологической ценности белка, представляющий собой процентное отношение доли определенной незаменимой аминокислоты в общем содержании таких аминокислот в исследуемом белке к рекомендуемому значению этой доли.

Результаты расчета аминокислотного скора исследуемых образцов представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Аминокислотный скор белков кисломолочных продуктов

Table 2.

Amino acid score of fermented milk proteins

Аминокислота	Рекомендуемое количество по ФАО/ВОЗ, мг на 1г белка Recommended amount according to FAO, mg per 1 g of protein	Значение аминокислотного скора, % Amino acid rate value, %		
		Кефир Cefir	Курунга на естественной закваске Kurunga on natural sourdough	Курунга на БКМК Kurunga at BKMK
Валин | Valine	39	123	115	117
Лейцин | Leucine	59	167	132	137
Изолейцин | Isoleucine	30	190	176	166
Фенилаланин + тирозин Phenylalanine + Tyrosine	38	176	168	157
Метионин + цистин Methionine + cystine	22	147	140	136
Лизин | Lysine	45	190	173	171
Триптофан | Tryptophan	6	150	133	133
Треонин | Threonine	23	170	173	178

Из таблицы 2 видно, что белки исследуемых кисломолочных продуктов характеризуются полноценным аминокислотным составом. По всем незаменимым аминокислотам во всех трех образцах наблюдается избыток относительно физиологических потребностей организма человека.

Коэффициент различия аминокислотного скора (КРАС) и биологическая ценность белка (БЦ) указывает предельно возможный уровень использования азота белка на пластические цели (таблица 3).

Таблица 3.

Показатели сбалансированности аминокислотного состава кисломолочных продуктов, %

Table 3.

Indicators of the balance of the amino acid composition of fermented milk products, %

Показатель Indicztor	Значение | Value		
	Кефир Cefir	Курунга на естественной закваске Kurunga on natural sourdough	Курунга на БКМК Kurunga at BKMK
КРАС	41,75	36,5	35,37
БЦ	58,25	63,5	64,6

Из таблицы 3 видно, что сбалансированность состава незаменимых аминокислот в обоих образцах курунги имеет почти одинаковые значения. Образцы курунги превосходят кефир по сбалансированности аминокислотного состава и биологической ценности белка.

Полученные данные свидетельствуют о соответствии биохимической активности БКМК естественной курунговой закваске и о возможности получения продукта с биологически ценным составом белка, характерным для традиционного напитка.

Заключение

Полученные данные свидетельствуют о соответствии биохимической активности бактериального концентрата микробного консорциума естественной курунговой закваске и о возможности получения продукта с биологически ценным составом белка, характерным для традиционного напитка.

Литература

1 Занданова Т.Н. Подбор питательной среды для получения бактериального концентрата микробного консорциума // Вестник ВСГУТУ. 2018. № 2. С. 67–72.

2 Надточий Л.А., Арсеньева Т.П. Букачакова Л.Ч. Витаминный состав и биологическая ценность алтайского кисломолочного напитка чеген // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2014. № 4. С. 1–6

3 Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А. и др. Пищевая химия; 5-е изд, испр и доп. СПБ.: ГИОРД, 2012. 672 с.

4 Лисин П.А., Канушина Ю.А. Аминокислотный состав творожного продукта // Молочная промышленность. 2011. № 11.С. 64–65

5 Стоянова Л.Г., Устюгова Е.А., Нетрусов А.И. Антимикробные метаболиты молочнокислых бактерий: разнообразие и свойства (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2012. Т. 48. № 3. С.259–275.

6 Крумликов В.Ю., Исамбетова Л.В. Исследование антибиотической резистентности, культуральных и морфологических свойств микроорганизмов, выделенных из национальных казахских напитков // Хранение и переработка сельхозсырья. 2016. №. 9. С. 31-35.

7 Meister A. Biochemistry of the amino acids. Elsevier, 2012.

8 Wu G. Amino acids: biochemistry and nutrition. CRC Press, 2013.

9 Martinez B., Bottiger T., Schneider T., Rodriguez A. et al. Specific Interaction of the Unmodified Bacteriocin Lactococcin 972 with the Cell Wall Precursor Lipid II // Appl. Environ. Microbiol.2009. V. 74. P. 4666–4670.

10 Barrett G. Chemistry and biochemistry of the amino acids. Springer Science & Business Media, 2012.

11 Stadie J., Matthias Gulitz A., Ehrmann Rudi A., Vogel F. Metabolic activity and symbiotic interactions of lactic acid bacteria and yeasts isolated from water kefir // Food Microbiology. 2013. V. 35. № 2. P. 92–98. doi: 10.1016/j.fm.2013.03.009

12 Hati S., Patel N., Sakure A., Mandal S. Influence of whey protein concentrate on the production of antibacterial peptides derived from fermented milk by lactic acid bacteria // International Journal of Peptide Research and Therapeutics. 2018. V. 24. №. 1. P. 87-98. doi: 10.1007/s10989-017-9596-2

13 Rama G.R. Kuhn D., Beux S., Maciel M.J. et al. Potential applications of dairy whey for the production of lactic acid bacteria cultures // International Dairy Journal. 2019. V. 98. P. 25-37. doi: 10.1016/j.idairyj.2019.06.012

14 Mohammadi R., Sohrabvandi S., Mohammad Mortazavian A. The starter culture characteristics of probiotic microorganisms in fermented milks // Engineering in Life Sciences. 2012. V. 12. №. 4. P. 399-409. doi: 10.1002/elsc.201100125

15 Ozcan T., Sahin S., Akpinar- Bayizit A., Yilmaz- Ersan L. Assessment of antioxidant capacity by method comparison and amino acid characterisation in buffalo milk kefir // International Journal of Dairy Technology. 2019. V. 72. №. 1. P. 65-73. doi: 10.1111/1471-0307.12560

16 Akabanda F., Owusu-Kwarteng J., Tano-Debrah K., Parkouda C. et al. The use of lactic acid bacteria starter culture in the production of Nunu, a spontaneously fermented milk product in Ghana // International journal of food science. 2014. V. 2014. doi: 10.1155/2014/721067

17 Iličić M.D., Milanović S.D., Carić M.Đ., Vukić V.R. et al. The effect of transglutaminase on rheology and texture of fermented milk products // Journal of Texture Studies. 2013. V. 44. №. 2. P. 160-168. doi: 10.1111/jtxs.12008

18 Gul O., Mortas M., Atalar I., Dervisoglu M. et al. Manufacture and characterization of kefir made from cow and buffalo milk, using kefir grain and starter culture // Journal of dairy science. 2015. V. 98. №. 3. P. 1517-1525. doi: 10.3168/jds.2014-8755

19 Kakimov A., Kakimova Z., Mirasheva G., Bepeyeva A. et al. Amino acid composition of sour-milk drink with encapsulated probiotics // Annual Research & Review in Biology. 2017. P. 1-7. doi: 10.9734/ARRB/2017/36079

20 Widyastuti Y., Febrisiantosa A.The role of lactic acid bacteria in milk fermentation // Food and Nutrition Sciences. 2014. V. 2014. doi: 10.4236/fns.2014.54051

References

1 Zandanova T.N. Selection of a nutrient medium for obtaining a bacterial concentrate of a microbial consortium. Vestnik VSGUTU. 2018. no. 2. pp. 67–72. (in Russian).

2 Nadtochy L.A., Arsenyeva T.P. Bukachakova L.Ch. Vitamin composition and biological value of the Altai fermented milk drink chegen. Scientific journal NRU ITMO. Series "Processes and Apparatus for Food Production". 2014. no. 4. pp. 1–6. (in Russian).

3 Nechaev A.P., Traubenberg S.E., Kochetkova A.A. etc. Food chemistry; 5th ed., Revised and added. Saint Petersburg, GIORD, 2012. 672 p. (in Russian).

4 Lisin P.A., Kanushina Yu.A. Amino acid composition of the curd product. Dairy industry. 2011. no. 11. pp. 64-65. (in Russian).

5 Stoyanova L.G., Ustyugova E.A., Netrusov A.I. Antimicrobial metabolites of lactic acid bacteria: diversity and properties (review). Applied biochemistry and microbiology. 2012. vol. 48. no. 3. pp. 259–275. (in Russian).

6 Krumlikov V.Yu., Isambetova L.V. Investigation of antibiotic resistance, cultural and morphological properties of microorganisms isolated from national Kazakh drinks. Storage and processing of agricultural raw materials. 2016. no. 9. pp. 31-35. (in Russian).

7 Meister A. Biochemistry of the amino acids. Elsevier, 2012.

8 Wu G. Amino acids: biochemistry and nutrition. CRC Press, 2013.

9 Martinez B., Bottiger T., Schneider T., Rodriguez A. et al. Specific Interaction of the Unmodified Bacteriocin Lactococcin 972 with the Cell Wall Precursor Lipid II. Appl. Environ. Microbiol.2009. vol. 74. pp. 4666–4670.

10 Barrett G. Chemistry and biochemistry of the amino acids. Springer Science & Business Media, 2012.

11 Stadie J., Matthias Gulitz A., Ehrmann Rudi A., Vogel F. Metabolic activity and symbiotic interactions of lactic acid bacteria and yeasts isolated from water kefir. Food Microbiology. 2013. vol. 35. no. 2. pp. 92–98. doi: 10.1016/j.fm.2013.03.009

12 Hati S., Patel N., Sakure A., Mandal S. Influence of whey protein concentrate on the production of antibacterial peptides derived from fermented milk by lactic acid bacteria. International Journal of Peptide Research and Therapeutics. 2018. vol. 24. no. 1. pp. 87-98. doi: 10.1007/s10989-017-9596-2

13 Rama G.R. Kuhn D., Beux S., Maciel M.J. et al. Potential applications of dairy whey for the production of lactic acid bacteria cultures. International Dairy Journal. 2019. vol. 98. pp. 25-37. doi: 10.1016/j.idairyj.2019.06.012

14 Mohammadi R., Sohrabvandi S., Mohammad Mortazavian A. The starter culture characteristics of probiotic microorganisms in fermented milks. Engineering in Life Sciences. 2012. vol. 12. no. 4. pp. 399-409. doi: 10.1002/elsc.201100125

15 Ozcan T., Sahin S., Akpinar- Bayizit A., Yilmaz- Ersan L. Assessment of antioxidant capacity by method comparison and amino acid characterisation in buffalo milk kefir. International Journal of Dairy Technology. 2019. vol. 72. no. 1. pp. 65-73. doi: 10.1111/1471-0307.12560

16 Akabanda F., Owusu-Kwarteng J., Tano-Debrah K., Parkouda C. et al. The use of lactic acid bacteria starter culture in the production of Nunu, a spontaneously fermented milk product in Ghana. International journal of food science. 2014. vol. 2014. doi: 10.1155/2014/721067

17 Iličić M.D., Milanović S.D., Carić M.Đ., Vukić V.R. et al. The effect of transglutaminase on rheology and texture of fermented milk products. Journal of Texture Studies. 2013. vol. 44. no. 2. pp. 160-168. doi: 10.1111/jtxs.12008

18 Gul O., Mortas M., Atalar I., Dervisoglu M. et al. Manufacture and characterization of kefir made from cow and buffalo milk, using kefir grain and starter culture. Journal of dairy science. 2015. vol. 98. no. 3. pp. 1517-1525. doi: 10.3168/jds.2014-8755

19 Kakimov A., Kakimova Z., Mirasheva G., Bepeyeva A. et al. Amino acid composition of sour-milk drink with encapsulated probiotics. Annual Research & Review in Biology. 2017. pp. 1-7. doi: 10.9734/ARRB/2017/36079

20 Widyastuti Y., Febrisiantosa A.The role of lactic acid bacteria in milk fermentation. Food and Nutrition Sciences. 2014. vol. 2014. doi: 10.4236/fns.2014.54051

Сведения об авторах

Туяна Н. Занданова к.т.н., доцент, кафедра технологии пищевых производств и индустрии питания, Арктический государственный агротехнологический университет, Сергеляхское ш. 3 км, 3, 677007, Якутск, Россия, tuyana35mail@.ru
https://orcid.org/0000-0002-4659-7047

Кира В. Иванова ст. препод, кафедра пищевых технологи и индустрии питания, Арктический государственный агротехнологический университет, Сергеляхское ш. 3 км, 3, 677007, Якутск, Россия, kiravlad85@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-2722-7825

Туйаара П. Мырьянова к.э.н., инженер, кафедра пищевых технологи и индустрии питания, Арктический государственный агротехнологический университет, Сергеляхское ш. 3 км, 3, 677007, Якутск, Россия, myryuanova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-7300-0384

Information about authors

Tuyana N. Zandanova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food technology and food industry department, Arctic State Agrotechnological University, Sergelyakhskoe highway 3km, building 3, Yakutsk,677007, Russia, tuyana35mail@.ru
https://orcid.org/0000-0002-4659-7047

Kira V. Ivanova senior teacher, food technology and food industry department, Arctic State Agrotechnological University, Sergelyakhskoe highway 3km, building 3, Yakutsk,677007, Russia, kiravlad85@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-2722-7825

Tuyara P. Myryuanova Cand. Sci. (Econ.), engineer, food technology and food industry department, Arctic State Agrotechnological University, Sergelyakhskoe highway 3km, building 3, Yakutsk,677007, Russia, myryuanova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-7300-0384

Вклад авторов

Туяна Н. Занданова написала рукопись, корректировала ее до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Кира В. Иванова, Туйаара П. Мырьянова консультация в ходе исследования

Contribution

Tuyana N. Zandanova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Kira V. Ivanova, **Tuyara P. Myryuanova** consultation during the study

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 22/01/2021	**После редакции** 15/02/2021	**Принята в печать** 02/03/2021
Received 22/01/2021	**Accepted in revised** 15/02/2021	**Accepted** 02/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-263-269 Оригинальная статья/Research article
УДК 577.21 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Сравнительная экспрессия рекомбинантной фосфолипазы А2 в *Komagataella phaffii* в зависимости от модификации сигнального пептида альфа-фактора

Денис С. Бытяк [1] bytyak.denis@mail.ru 0000-0002-4281-2758
Юрий А. Гладченко [2] dngfv5@gmail.com 0000-0002-5895-9463
Анастасия В. Ряполова [1] anac142009@yandex.ru 0000-0002-7784-9892
Ольга С. Корнеева [1] korneeva-olgas@yandex.ru 0000-0002-2863-0771
Екатерина А. Мотина [1] emotina18@mail.ru 0000-0002-3433-2754

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 ООО Инновационный Центр «Бирюч – новые технологии»

Аннотация. В настоящее время Российский рынок ферментных препаратов фосфолипазы А2 представлен коммерческими препаратами иностранных производителей: Nagase (Япония) и Maxapal (Нидерланды). Однако растущий спрос и необходимость снижения себестоимости производства фосфолипазы А2 требуют разработки новых суперпродуцентов фосфолипазы А2. В связи с чем целью работы является сравнительная экспрессия рекомбинантной фосфолипазы А2 в *Komagataella phaffii* в зависимости от модификации сигнального пептида альфа-фактора. Объектом исследования является дрожжевой штамм-реципиент *Komagataella phaffii X-33*. Исследования проводились в соответствии с общепринятыми нормами и подходами. Для работы использованы гены фосфолипазы А2 из *Streptomyces violaceoruber*. Целевые последовательности синтезированы в компании «Евроген» (Россия) и заклонированы в составе ТЕ-вектора pUC57. В ходе выполнения работы проведена сборка генетических конструкций *pPICZaA-Pla2* и *PPICZmf4iA-Pla2*, содержащих ген фосфолипазы А2 *Streptomyces violaceoruber* под нативным сигналом *a-MF* и его модификацией *mf4i*. Также проведена трансформация дрожжей *Komagataella phaffii X-33* полученными генетическими конструкциями. В результате проведенных исследований показано, что в среднем достоверных отличий в уровне экспрессии и удельной активности рекомбинантной фосфолипазы А2 метилотрофными дрожжами *K. Phaffii X-33* при использовании нативного сигнала секреции *a-MF* и его модифицированного варианта *mf4i* не обнаружено. Однако использование фактора секреции *mf4i* позволяет получить более высокую продукцию фосфолипазы А2 у отдельных клонов (трансформантов). Полученные данные указывают на перспективность использования фактора секреции *mf4i* для создания сверхпродуцентов ферментов на основе дрожжей *K. Phaffii X-33*.

Ключевые слова: Komagataella phaffii, фосфолипаза А2, Streptomyces violaceoruber, генная инженерия, биотехнология ферментов, экспрессия, AOX промотор, сигнальный пептид

Comparative expression of recombinant phospholipase A2 in *Komagataella phaffii* depending on the modification of the alpha-factor signaling peptide

Denis S. Bytyak [1] bytyak.denis@mail.ru 0000-0002-4281-2758
Yuri A. Gladchenko [2] dngfv5@gmail.com 0000-0002-5895-9463
Anastasia V. Ryapolova [1] anac142009@yandex.ru 0000-0002-7784-9892
Olga S. Korneeva [1] korneeva-olgas@yandex.ru 0000-0002-2863-0771
Ekaterina A. Motina [1] emotina18@mail.ru 0000-0002-3433-2754

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
2 Innovation Center Biryuch-New Technologies

Abstract. Currently, the Russian market of phospholipase A2 enzyme preparations is represented by commercial preparations of foreign manufacturers: Nagase (Japan) and Maxapal (the Netherlands). However, the growing demand and the need to reduce the cost of production of phospholipase A2 require the development of new super-producers of phospholipase A2. In this connection, the aim of the work is to compare the expression of recombinant phospholipase A2 in *Komagataella phaffii* depending on the modification of the alpha-factor signaling peptide. The object of the study is the recipient yeast strain *Komagataella phaffii X-33*. The studies were conducted in accordance with generally accepted norms and approaches. Phospholipase A2 genes from *Streptomyces violaceoruber* were used for this worK. The target sequences were synthesized in the company "Eurogen" (Russia) and cloned as part of the TE vector pUC57. In the course of the work, the genetic constructs pPICZaA-Pla2 and PPICZmf4iA-Pla2 containing the *Streptomyces violaceoruber* phospholipase A2 gene were assembled under the native signal a-MF and its modification mf4i. The transformation of the yeast *Komagataella phaffii X-33* with the obtained genetic constructs was also carried out. As a result of the conducted studies, it was shown that on average, there were no significant differences in the level of expression and specific activity of recombinant phospholipase A2 in methylotrophic yeast *K. Phaffii X-33* when using the native a-MF secretion signal and its modified version mf4i. However, the use of the secretion factor mf4i allows for higher production of phospholipase A2 in individual clones. The obtained data indicate the prospects of using the secretion factor mf4i to create super-producers of enzymes based on yeast *K. Phaffii X-33*.

Keywords: Komagataella phaffii, phospholipase A2, Streptomyces violaceoruber, genetic engineering, enzyme biotechnology, expression, AOX promoter, signal peptide

Для цитирования
Бытяк Д.С., Гладченко Ю.А., Ряполова А.В., Корнеева О.С., Мотина Е.А. Сравнительная экспрессия рекомбинантной фосфолипазы А2 в *Komagataella phaffii* в зависимости от модификации сигнального пептида альфа-фактора // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 263–269. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-263-269

For citation
Bytyak D.S., Gladchenko Yu.A., Ryapolova A.V., Korneeva O.S., Motina E.A. Comparative expression of recombinant phospholipase A2 in *Komagataella phaffii* depending on the modification of the alpha-factor signaling peptide. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 263–269. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-263-269

© 2021, Бытяк Д.С. и др. / Bytyak D.S. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Фосфолипазы А2 (PLA2) – одни из самых изученных фосфолипаз, представляют собой липолитические ферменты, катализирующие гидролиз ацильной связи sn-2 в молекуле гидрофосфолипида, что ведет к освобождению свободных жирных кислот и лизофосфолипидов [1]. В ряде работ у PLA2 доказаны антибактериальные [2], противовирусные [3–5], противопаразитарные [6, 7], антитромбоцитарные [8], гипотензивные [8], противоопухолевые свойства [9]. Кроме того, PLA2 применяются в одном из важнейших этапов рафинирования масла – его гидратации [10]. Особое место PLA2 занимает в промышленном производстве майонеза при ферментативном гидролизе яичного лецитина до изолецитина. Это обеспечивает более высокую стойкость эмульсии и требуемые реологические характеристики майонеза [11, 12]. В настоящее время на рынке России представлено несколько коммерческих ферментных препаратов рекомбинантной ФЛА2: «Nagase» (Япония), нативный штамм-продуцент *Streptomyces violaceoruber*; «Maxapal» (Нидерланды), ФЛА2 поджелудочной железы свиней, штамм-продуцент *Aspergillus niger*. Однако растущие потребности рынка в производстве продуктов питания требуют разработки новых суперпродуцентов PLA2.

Одним из наиболее перспективных продуцентов PLA2 считается представитель метилотрофных дрожжей *Komagataella phaffii* (ранее *Pichia pastoris*). Вид характеризуется высокой скоростью роста, способностью к оптимальному гликозилированию рекомбинантных белков, наличием механизмов эффективной секреции продуцируемых ферментов в культуральную среду, низкой секрецией протеаз и других собственных белков в культуральную среду, наличием регулируемого AOX-промотора [13, 14].

Ранее Liu et. el. был получен штамм-продуцент рекомбинантной PLA2 на основе *K. phaffii GS115* с продукцией PLA2 из *St. Violaceoruber* на уровне 34,7 ± 0,2 ед./мл [15], что выше, чем у прокариотических штаммов-продуцентов PLA2 *St. violaceoruber* (0,5 ед./мл) и *Escherichia coli* (0,2 ед./мл) [16], однако все же не является достаточным для рентабельного промышленного производства.

Существует целый ряд факторов, определяющих эффективность экспрессии гетерологичных белков, в частности, оптимизация нуклеотидной последовательности целевого гена и повышение его копийности в геноме, оптимизация промотора, выбор сигнального пептида для секретируемых белков [17]. Для секреции гетерологичных белков в *K. phaffii* наиболее эффективен пре-про-пептид α-фактора (α-MF). В настоящее время α-MF является наиболее широко распространенным сигнальным пептидом для секреции рекомбинантных белков и именно с ним удаётся добиться высокой экспрессии. Для улучшения вывода белка в настоящее время используют также разные модификации α-MF, полученные в результате направленной эволюции аминокислотного состава, мутаций, объединения с другими лидерными белками и т. д. Одним из перспективных вариантов α-MF может быть синтетический mf4i, с которым удалось повысить экспрессию рекомбинантной фитазы более чем в 3 раза относительно нативного альфа-фактора.

Цель работы – сравнение экспрессии PLA2 в *Komagataella phaffii X-33* при использовании нативного α-MF и модифицированного синтетического сигнального пептида α-MF mf4i.

Материалы и методы

Для работы использованы гены фосфолипазы А2 (Pla2) из *Streptomyces violaceoruber* (патент на изобретение RU 26763210), и модифицированного сигнала α – MF mf4i (GeneBank, No AY145833.1). Ген Pla2 оптимизирован для эффективной экспрессии в *K. phaffii* в соответствии с частотой встречаемости кодонов [18].

Последовательность гена фосфолипазы А2, в соответствии с патентом на изобретение RU 26763210:

GATCCAGCAGATAAACCTCAAGTTTT
GGCATCATTCACCCAGACATCCGCATCAT
CCCAGAACGCATGGTTGGCCGCTAACAGA
AACCAATCTGCTTGGGCTGCTTACGAATTT
GATTGGTCTACTGATTTGTGTACTCAAGCT
CCAGATAACCCTTTTGGTTTCCCATTCAAC
ACTGCTTGTGCTAGACATGATTTCGGTTAC
AGAAACTATAAGGCTGCTGGTTCTTTTGAT
GCTAACAAGTCCAGAATTGATTCTGCTTTC
TATGAGGATATGAAGAGAGTCTGCACTGG
TTATACCGGAGAGAAGAACACTGCCTGTA
ATTCCACTGCCTGGACCTACTATCAAGCCG
TAAAAATTTTTGGT.

Целевые последовательности синтезированы в компании «Евроген» (Россия) и заклонированы в составе ТЕ-вектора pUC57.

Далее рестрикционно-лигазным методом проводили вставку гена Pla2 в состав векторов экспрессии pPICZalphaA и pPICZA (Invitrogen, USA). Для этого с плазмиды pUC57-Pla2 амплифицировали фрагмент ДНК, соответствующий гену Pla2, праймерами Pla2 for 5’ – ATATGAATTCGCTCCAGCAGATAAACC-3’ и Pla2 rev 5’ – ATATGTCGACTCAACCAAA AATCTTTACG-3’ на амплификаторе T100 (BioRad, USA) с помощью полимеразы Phusion (NEB, England). Полученный фрагмент длиной 366 п.о. клонировали в состав векторов pPICZaA и

pPICZA по сайтам EcoRI и NotI. Продуктами лигирования трансформировали химически компетентные клетки *Escherichia coli Xl10Gold* (Stratagen, USA). Корректность нуклеотидной последовательности гена Pla2 в составе полученных конструкций pPICZalphaA-Pla2 и pPICZA-Pla2 выросших на селективных средах с зеоцином (25 мкг/мл) была подтверждена картированием и секвенированием ДНК в компании Евроген (Россия).

Для сборки конструкции pPICZmf4iA-pla2 ТА-вектор, содержащий часть гена mf4i, и полученную конструкцию pPICZA-Pla2, обрабатывали эндонуклеазами рестрикции BstBI и XhoI (СибЭнзим, Россия). Очистку целевых фрагментов ДНК проводили в 1% агарозном геле с последующей элюцией набором CleanUp Mini (Евроген, Россия) и лигированием с использованием Т4 ДНК-лигазы (СибЭнзим, Россия). Продуктами лигирования трансформированы химически компетентные клетки *E. coli Xl10Gold* (Stratagen). Корректность нуклеотидной последовательности гена mf4i в составе полученной плазмиды pPICZmf4iA-Pla2 подтверждали секвенированием.

Генетическая трансформация *K. phaffii*. Далее собранные генетические конструкции pPICZaA-Pla2 и pPICZmf4iA-Pla2 использовали для генетической трансформации штамма *K. phaffii X-33* (Invitrogen, USA). На каждую трансформацию использовали по 10 мкг плазмид pPICZalphaA-Pla2 и pPICZmf4iA-Pla2, линеаризованных по сайту BstXI в области AOX-промотора. Трансформация линеаризованными плазмидами штамма *K. phaffii X-33* осуществлялась согласно протоколу Invitrogen [19]. Отбор трансформантов проводился на среде YPD с зеоцином (250 мкг/мл). Экспрессионная кассета, интегрируемая в геном *K. phaffii* представлена на рисунке 1.

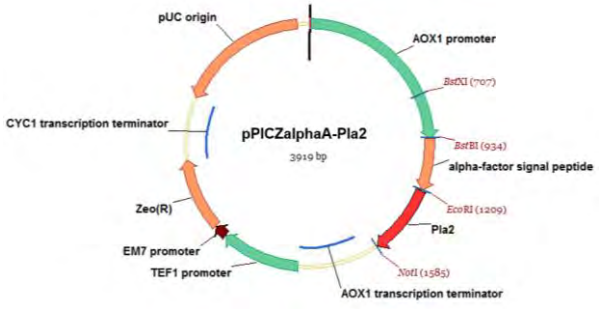


Рисунок 1. Карта вектора экспрессии pPICZalphaA-Pla2
Figure 1. Map of the pPICZalphaA-Pla2 expression vector

Экспрессия PLA2 в *K. phaffii X-33*. Полученные в результате трансформации *K. phaffii X-33* векторами pPICZalphaA-Pla2 и pPICZmf4iA-Pla2 клоны культивировали в колбах Эрленмейера объемом 100 мл, содержащих по 20 мл среде YPGM. Культивирование осуществляли в орбитальном термошейкере (BioSan, Латвия) при + 30 ℃, 250 об/мин. Каждые 24 часа в среду вносили 1% метанола от объема среды. После культивирования клетки осаждали центрифугированием при 4200 g в течение 5 мин. Супернатант отбирали и использовали для анализа активности фосфолипазы А2. Всего проанализировано по 30 клонов *K. phaffii* с каждым типом сигнала секреции.

Анализ активности PLA2 проводился с использованием кислотно-щелочного метода титрования [15]. Активность PLA2 определялась как количество фермента, требуемое для высвобождения 1 мкг свободной жирной кислоты [20].

Далее образцы культуральной жидкости анализировали методом SDS-электрофореза в 15% ПААГ, а также качественным методом путем нативного электрофореза с последующей инкубацией пластин геля в агаризованном лецитине. по Леммли.

Для определения удельной активности рекомбинантной PLA2 и ферментного препарата «Nagase» проводили очистку фермента на препаративном хроматографе BUCHI на колонке Bio-Rad UNOsphere Q (5 мл). В качестве буфера использовался 40 мМ Трис (pH = 10), в качестве элюента 1 М хлорид натрия в 40 мМ Трис буфере (pH = 10). Оценку активности фосфолипазы А2 в элюате проводили методом кислотно-щелочного титрования, содержание белка определяли по Бредфорду.

Результаты и обсуждение

Получены конструкции pPICZalphaA-Pla2 и pPICZmf4iA-Pla2, проверенные секвенированием на корректность вставки и отсутствие мутаций в генах фосфолипазы А2 и модифицированного сигнала секреции mf4i. Линеаризованными конструкциями проведены трансформации компетентных клеток *K. phaffii X-33*. По 30 выросших на среде YPD с 250 мкг/мл зеоцина клонов с каждой конструкцией проиндуцированы при культивировании в жидкой питательной среде YPGM. Полученная культуральная жидкость от клонов проанализирована на наличие PLA2 методом гель-электрофореза в ПААГ (рисунок 2). Исходя из полученных данных, клоны с конструкциями pPICZalphaA-Pla2 и pPICZmf4iA-Pla2 продуцируют PLA2. Как и в работе Liu et. el. [18], нами установлено, *что K. phaffii* экспрессирует три формы PLA2 размером около 13 (А), 16 (В) и 20 (С) кДа. Лишь одна из них соответствует ожидаемому размеру целевой PLA2 в 13,6 кДа. Остальные, вероятно, являются гликозилированными вариантами фермента.

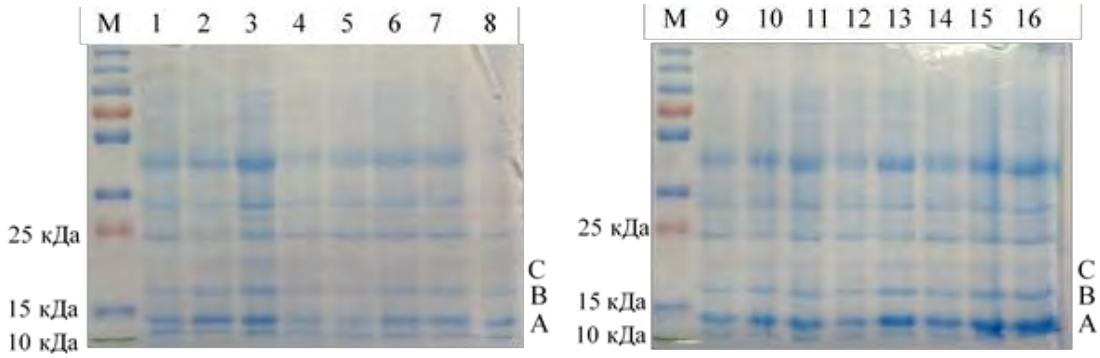


Рисунок 2. Электрофореграмма белков культуральной жидкости клонов с разными вариантами сигнала α-MF. 1–8 – клоны pPICZalphaA-Pla2; 9–16 – клоны pPICZmf4i-Pla2; ABC – формы фосфолипазы А2; М – маркер размера белка

Figure 2. Electrophoregram of proteins of the culture fluid of clones with different signal variants α-MF. 1–8-clones of pPICZalphaA-Pla2; 9–16-clones of pPICZmf4i-Pla2; ABC-forms of phospholipase A2; M-marker of protein size

При этом нативный электрофорез образцов культуральной жидкости с последующим качественным проявлением PLA2 в среде с лецитином показал наличие двух активных форм PLA2 у всех полученных клонов (рисунок 3). Таким образом, одна гликозилированная форма PLA2 является интактной.



Рисунок 3. Результат нативного электрофореза белков культуральной жидкости клонов с разными вариантами сигнала α-MF. 1–4 – клоны pPICZalphaA-Pla2; 5–7 – клоны pPICZmf4i-Pla2

Figure 3. The result of native electrophoresis of proteins of the culture fluid of clones with different signal variants α-MF. 1–4 – clones pPICZalphaA-Pla2; 5–7-clones pPICZmf4i-Pla2

Результаты определения фосфолипазной активности в культуральной жидкости скультивированных клонов *K. phaffii* с разными вариантами генетической конструкции приведены в таблице 1. Средний уровень экспрессии PLA2 под фактором mf4i достоверно не отличается от такового в случае нативного сигнала α – MF. Однако экспрессия единичных клонов *K. phaffii* оказалась выше при использовании модифицированного сигнала mf4i, что показано на рисунке 4.

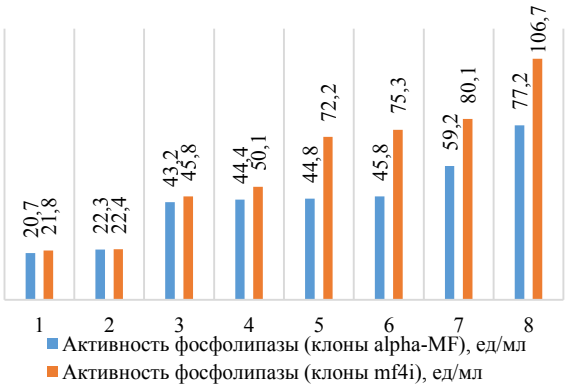


Рисунок 4. Активность фосфолипазы А2 в культуральной жидкости клонов с различными факторами секреции

Figure 4. Phospholipase A2 activity in the culture fluid of clones with different secretion factors

Таблица 1.

Активность фосфолипазы А2 в культуральной жидкости в зависимости от типа конструкции

Table 1.

Phospholipase A2 activity in the culture fluid, depending on the type of construction

Тип конструкции, трансформированной в *K. Phaffii* Type of construct transformed in *K. phaffii*	Средние значения активности PLA2 в культуральной жидкости, ед./мл Average values of PLA2 activity in culture liquid, units/mL	Максимальная активность PLA2 в культуральной жидкости клонов, ед./мл Maximum activity of PLA2 in culture liquid of clones, units/mL
pPICZalphaA-Pla2	44,7 ± 16,2	77,2
pPICZmf4iA-Pla2	59,3 ± 3,6	106,7

Далее была проведена хромотографическая очистка рекомбинантной PLA2 из культуральной жидкости клонов с разными вариантами генетической конструкции, а также ферментного препарата «Nagase». По нашим данным, удельная активность рекомбинантной PLA2, экспрессируемой различными клонами *K. phaffii*, достоверно не различается и составляет 4650 ед./мг. При этом удельная активность PLA2 из ферментного препарата «Nagase», экспрессируемого *St. violaceoruber*, составила 5220 ед./мг.

Таким образом, метилотрофные дрожжи K. *phaffii* вне зависимости от типа сигнала экспрессируют рекомбинантные PLA2 со схожей активностью, сопоставимой с нативным ферментом *St. violaceoruber*.

Заключение

В результате проведенных исследований показано, что в среднем достоверных отличий в экспрессии, удельной активности рекомбинантной PLA2 метилотрофными дрожжами *K. phaffii X-33* при использовании нативного сигнала секреции α – MF и его модифицированного варианта mf4i не обнаружено. Однако использование фактора секреции mf4i позволяет получить более высокую продукцию PLA2 у отдельных клонов *K. phaffii*.

Модифицированный фактор секреции mf4i имеет более высокий потенциал для экспрессии различных ферментов, что позволяет рассматривать его как перспективный фактор секреции для создания коммерческих экспрессионных систем на основе *K. phaffii* для синтеза гетерологичных белков.

Литература

1 Dennis E.A., Cao J., Hsu V.I.I., Magrioti V. et al. Phospholipase A2 enzymes: physical structure, biological function, disease implication, chemical inhibition, and therapeutic intervention // Chem Rev. 2011. V. 111. P. 6130–6185. doi: 10.1021/cr200085w

2 Samy R.P., Gopalakrishnakone P., Stiles B.G., Girish K.S. et al. Snake venom phospholipases A(2): a novel tool against bacterial diseases // Curr Med Chem. 2012. V. 19. P. 6150–6162. doi: 10.2174/092986712804485791

3 Muller V.D., Russo R.R., Cintra A.C., Sartim M.A. et al. Crotoxin and phospholipases A2 from Crotalus durissus terrificus showed antiviral activity against dengue and yellow fever viruses // Toxicon. 2012. V. 59. P. 507–515. doi: 10.1016/j.toxicon.2011.05.021

4 Muller V.D., Soares R.O., dos Santos N.N., Trabuco A.C. et al. Phospholipase A2 isolated from the venom of Crotalus durissus terrificus inactivates dengue virus and other enveloped viruses by disrupting the viral envelope // PLoS One. 2014. V. 9. №. 11. P. e112351. doi: 10.1371/journal.pone.0112351

5 Russo R.R., Müller V.D.M., Cintra A.C.O., Figueiredo L.T.M. et al. Phospholipase A2 crotoxin B isolated from the venom of Crotalus durissus terrificus exert antiviral effect against dengue virus and yellow fever virus through its catalytic activity // J Virol Antivir Res. 2014. V. 3. P. 1. doi: 10.1016/j.toxicon.2011.05.021

6 Castillo J.C., Vargas L.J., Segura C., Gutiérrez J.M. et al. In vitro antiplasmodial activity of phospholipases A2 and a phospholipase homologue isolated from the venom of the snake Bothrops asper // Toxins (Basel). 2012. V. 4. P. 1500–1516. doi: 10.3390/toxins4121500

7 Nunes D.C., Figueira M.M., Lopes D.S., De Souza D.L. et al. BnSP-7 toxin, a basic phospholipase A2 from Bothrops pauloensis snake venom, interferes with proliferation, ultrastructure and infectivity of Leishmania (Leishmania) amazonensis // Parasitology. 2013. V. 140. P. 844–854. doi:10.1017/S0031182013000012

8 Silveira L.B., Marchi-Salvador D.P., Santos-Filho N.A., Silva F.P. et al. Isolation and expression of a hypotensive and anti-platelet acidic phospholipase A2 from Bothrops moojeni snake venom // J Pharm Biomed Anal. 2013. V. 73. P. 35–43. doi: 10.1016/j.jpba.2012.04.008

9 Rodrigues R.S., Izidoro L.F., de Oliveira R.J., Sampaio S.V. et al. Snake venom phospholipases A2: a new class of antitumor agents // Protein Pept Lett. 2009. V. 16. P. 894–898. doi: 10.2174/092986609788923266

10 Borrelli G.M., Trono D. Recombinant lipases and phospholipases and their use as biocatalysts for industrial applications // Int. J.N. Sci. 2015. V. 16. P. 20774–20840. doi: 10.3390/ijms160920774

11 Murakami M., Sato H., Miki Y., Yamamoto K. et al. A new era of secreted phospholipase A2 (sPLA2) // J Lipid Res. 2015. V. 56. P. 1248–1261. doi: 10.1194/jlr.R058123

12 Quach N.D., Arnold R.D., Cummings B.S. Secretory phospholipase A2 enzymes as pharmacological targets for treatment of disease. // Biochem Pharmacol. 2014. V. 90. P. 338–348. doi: 10.1016/j.bcp.2014.05.022

13 Ahmad M., Hirtz M., Pitcher H., Schwab H. Protein expression in Pichia pastoris: recent achievements and perspectives for heterologous production // Appl Microbiol Biotechnol. 2014. V. 98. P. 5301–5317. doi: 10.1007/s00253-014-5732-5

14 Kang Z., Huang H., Zhang Y., Du G. et al. Recent advances of molecular toolbox construction expand Pichia pastoris in synthetic biology applications // World J Microbiol Biotechnol. 2017. V. 33. №. 1. P. 1-8. doi: 10.1007/s11274-016-2185-2

15 Liu A., Yu X.-W., Sha C., Xu Y. Streptomyces violaceoruber Phospholipase A2: expression in Pichia pastoris, properties, and application in oil degumming // Appl Biochem Biotechnol. 2015. V. 175. №. 6. P. 3195-3206. doi: 10.1007/s12010-015-1492-7

16 Takemori D., Yoshino K., Eba C., Nakano H. et al. Extracellular production of phospholipase A 2 from Streptomyces violaceoruber by recombinant Escherichia coli // Protein Expression and Purification. 2012. V. 81. №. 2. P. 145-150. doi: 10.1016/j.pep.2011.10.002

17 Yu X.W., Sun W.H., Wang Y.Z., Xu Y. Identification of novel factors enhancing recombinant protein production in multi-copy Komagataella phaffii based on transcriptomic analysis of overexpression effects // Sci. Rep. 2017. V. 7. №. 1. P. 1-12. doi: 10.1038/s41598-017-16577-x

18 Codon Usage Database. URL: http://www.kazusa.or.jp/codon/index.html.

19 EasySelect Pichia Expression Kit. For Expression of Recombinant Proteins Using pPICZ and pPICZα in Pichia pastoris. User manual // Invitrogen. 2010. 86 p.

20 Valli M., Tatto N.E., Peymann A., Gruber C. et al. Curation of the genome annotation of Pichia pastoris (Komagataella phaffii) CBS7435 from gene level to protein function // FEMS yeast research. 2016. V. 16. №. 6. doi: 10.1093/femsyr/fow051

References

1 Dennis E.A., Cao J., Hsu V.I.I., Magrioti V. et al. Phospholipase A2 enzymes: physical structure, biological function, disease implication, chemical inhibition, and therapeutic intervention. Chem Rev. 2011. vol. 111. pp. 6130–6185. doi: 10.1021/cr200085w

2 Samy R.P., Gopalakrishnakone P., Stiles B.G., Girish K.S. et al. Snake venom phospholipases A(2): a novel tool against bacterial diseases. Curr Med Chem. 2012. vol. 19. pp. 6150–6162. doi: 10.2174/092986712804485791

3 Muller V.D., Russo R.R., Cintra A.C., Sartim M.A. et al. Crotoxin and phospholipases A2 from Crotalus durissus terrificus showed antiviral activity against dengue and yellow fever viruses. Toxicon. 2012. vol. 59. pp. 507–515. doi: 10.1016/j.toxicon.2011.05.021

4 Muller V.D., Soares R.O., dos Santos N.N., Trabuco A.C. et al. Phospholipase A2 isolated from the venom of Crotalus durissus terrificus inactivates dengue virus and other enveloped viruses by disrupting the viral envelope. PLoS One. 2014. vol. 9. no. 11. pp. e112351. doi: 10.1371/journal.pone.0112351

5 Russo R.R., Müller V.D.M., Cintra A.C.O., Figueiredo L.T.M. et al. Phospholipase A2 crotoxin B isolated from the venom of Crotalus durissus terrificus exert antiviral effect against dengue virus and yellow fever virus through its catalytic activity. J Virol Antivir Res. 2014. vol. 3. pp. 1. doi: 10.1016/j.toxicon.2011.05.021

6 Castillo J.C., Vargas L.J., Segura C., Gutiérrez J.M. et al. In vitro antiplasmodial activity of phospholipases A2 and a phospholipase homologue isolated from the venom of the snake Bothrops asper. Toxins (Basel). 2012. vol. 4. pp. 1500–1516. doi: 10.3390/toxins4121500

7 Nunes D.C., Figueira M.M., Lopes D.S., De Souza D.L. et al. BnSP 7 toxin, a basic phospholipase A2 from Bothrops pauloensis snake venom, interferes with proliferation, ultrastructure and infectivity of Leishmania (Leishmania) amazonensis. Parasitology. 2013. vol. 140. pp. 844–854. doi:10.1017/S0031182013000012

8 Silveira L.B., Marchi-Salvador D.P., Santos-Filho N.A., Silva F.P. et al. Isolation and expression of a hypotensive and anti-platelet acidic phospholipase A2 from Bothrops moojeni snake venom. J Pharm Biomed Anal. 2013. vol. 73. pp. 35–43. doi: 10.1016/j.jpba.2012.04.008

9 Rodrigues R.S., Izidoro L.F., de Oliveira R.J., Sampaio S.V. et al. Snake venom phospholipases A2: a new class of antitumor agents. Protein Pept Lett. 2009. vol. 16. pp. 894–898. doi: 10.2174/092986609788923266

10 Borrelli G.M., Trono D. Recombinant lipases and phospholipases and their use as biocatalysts for industrial applications. Int. J.N. Sci. 2015. vol. 16. pp. 20774–20840. doi: 10.3390/ijms160920774

11 Murakami M., Sato H., Miki Y., Yamamoto K. et al. A new era of secreted phospholipase A2 (sPLA2). J Lipid Res. 2015. vol. 56. pp. 1248–1261. doi: 10.1194/jlr.R058123

12 Quach N.D., Arnold R.D., Cummings B.S. Secretory phospholipase A2 enzymes as pharmacological targets for treatment of disease. Biochem Pharmacol. 2014. vol. 90. pp. 338–348. doi: 10.1016/j.bcp.2014.05.022

13 Ahmad M., Hirtz M., Pitcher H., Schwab H. Protein expression in Pichia pastoris: recent achievements and perspectives for heterologous production. Appl Microbiol Biotechnol. 2014. vol. 98. pp. 5301–5317. doi: 10.1007/s00253-014-5732-5

14 Kang Z., Huang H., Zhang Y., Du G. et al. Recent advances of molecular toolbox construction expand Pichia pastoris in synthetic biology applications. World J Microbiol Biotechnol. 2017. vol. 33. no. 1. pp. 1-8. doi: 10.1007/s11274-016-2185-2

15 Liu A., Yu X.-W., Sha C., Xu Y. Streptomyces violaceoruber Phospholipase A2: expression in Pichia pastoris, properties, and application in oil degumming. Appl Biochem Biotechnol. 2015. vol. 175. no. 6. pp. 3195-3206. doi: 10.1007/s12010-015-1492-7

16 Takemori D., Yoshino K., Eba C., Nakano H. et al. Extracellular production of phospholipase A 2 from Streptomyces violaceoruber by recombinant Escherichia coli. Protein Expression and Purification. 2012. vol. 81. no. 2. pp. 145-150. doi: 10.1016/j.pep.2011.10.002

17 Yu X.W., Sun W.H., Wang Y.Z., Xu Y. Identification of novel factors enhancing recombinant protein production in multi-copy Komagataella phaffii based on transcriptomic analysis of overexpression effects. Sci. Rep. 2017. vol. 7. no. 1. pp. 1-12. doi: 10.1038/s41598-017-16577-x

18 Codon Usage Database. URL: http://www.kazusa.or.jp/codon/index.html.

19 EasySelect Pichia Expression Kit. For Expression of Recombinant Proteins Using pPICZ and pPICZα in Pichia pastoris. User manual. Invitrogen. 2010. 86 p.

20 Valli M., Tatto N.E., Peymann A., Gruber C. et al. Curation of the genome annotation of Pichia pastoris (Komagataella phaffii) CBS7435 from gene level to protein function. FEMS yeast research. 2016. vol. 16. no. 6. doi: 10.1093/femsyr/fow051

Сведения об авторах

Денис С. Бытяк магистр, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, bytyak.denis@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4281-2758

Юрий А. Гладченко генный инженер, Центр биотехнологий, ООО «Инновационный центр «Бирюч-Новые Технологии», Белгородская область, Красногвардейский р-н, с. Малобыково, ул. Белая Вежа, д. 1, 309927, Россия, dngfv5@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-5895-9463

Анастасия В. Ряполова студент, кафедра медицинской биохимии и микробиологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, anac142009@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-7784-9892

Ольга С. Корнеева д.б.н., профессор, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, korneeva-olgas@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-2863-0771

Екатерина А. Мотина к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, emotina18@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3433-2754

Information about authors

Denis S. Bytyak master student, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, bytyak.denis@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4281-2758

Yuri A. Gladchenko genetic engineer, Center for Biotechnology, Innovation Center Biryuch-New Technologies, Belgorod Region, Krasnogvardeysky district, Malobykovo village, Belaya Vezha str., 1, 309927, Russia, dngfv5@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-5895-9463

Anastasia V. Ryapolova student, medical biochemistry and microbiology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, anac142009@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-7784-9892

Olga S. Korneeva Dr. Sci. (Biol.), professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, korneeva-olgas@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-2863-0771

Ekaterina A. Motina Cand. Sci. (Engin.), biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, emotina18@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3433-2754

Вклад авторов

Денис С. Бытяк предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания.
Юрий А. Гладченко, **Анастасия В. Ряполова** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, проведение эксперимента, выполнение расчётов
Ольга С. Корнеева консультация в ходе исследования
Екатерина А. Мотина написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Denis S. Bytyak proposed a scheme of the experiment and organized production trials
Yuri A. Gladchenko, **Anastasia V. Ryapolova** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Olga S. Korneeva consultation during the study
Ekaterina A. Motina wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/01/2021	**После редакции** 16/02/2021	**Принята в печать** 03/03/2021

Received 18/01/2021	**Accepted in revised** 16/02/2021	**Accepted** 03/03/2021

Химическая технология

Chemical Technology

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-270-277 Обзорная статья/Review article

УДК 628.523 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Biopolymers and its application as electroactive polymers

Olvera Bernal R.A. [1] rigel_obra@itmo.ru
Mayya V. Uspenskaya [1] mv_uspenskaya@mail.ru
Roman O. Olekhnovich [1] r.o.olekhnovich@mail.ru

[1] Institute of Bioengineering, ITMO University, Kronverkskiy Pr, 49, bldg. A, St. Petersburg, 197101, Russia

Summary. Smart materials are a group of materials that exhibit the ability to change their composition or structure, their electrical and/or mechanical properties, or even their functions in response to an external stimulus such as heat, light, electricity, pressure, etc. Some of the advantages of these materials are: lightweight, flexibility, low cost of production, high energy density, fast response and compact size. One of the promises in the area of smart materials can be found in "smart polymer". Polymers have many attractive characteristics, such as: lightweight, inexpensiveness, fractures tolerant, and pliable. Furthermore, they can be configured into almost any conceivable shape and their properties can be tailored according to the required needs. The capability of electroactive polymers (EAPs) to respond to electrical stimuli with a mechanical response, is attracting the attention of the scientific community from a wide range of disciplines. Biopolymers in recent decades have been studied as potential electroactive materials. These groups of polymers are extracted from a natural source; thus, they are eco-friendly, additionally they stand as a cheaper solution for the development of smart materials.The present manuscript will explore some of its applications as EAPs.

Keywords: biopolymers, eaps, hydrogels, electrorheology, electroactive films

Introduction

Electroactive polymers (EAPs) is a general term for all organic polymers which exhibit mechanical response to an electrical stimulus, as a result, these polymers show a change of shape or dimensions [1]. When talking about EAPs it is possible to classify them into two major groups depending on their mechanical response for actuation (figure 1). In the first group there are electronic EAPs (which are driven by electric field or coulomb forces); in the second group are ionic EAPs (which change shape by mobility or diffusion of ions and their conjugated substances) [2]. The actuation mechanism that these polymers possess, has enable engineers and scientist to establish novel approaches in the development of new technologies based on natural systems, the concept of copying or imitating biological systems is known as "Biomimicry", which in recent decades has been use for the development of new technologies [3], as an example, the use of EAPs, are used to produce bio-inspired actuators, commonly known as artificial muscles. The application of these new technologies has been already implemented in many different fields such as, soft robots, steering mechanisms, braille displays, miniature grippers, loudspeakers, active diaphragm and pumps, toys, as well as many others. [4]. Other applications that EAPs can have, is to be used as sensors and power generators.

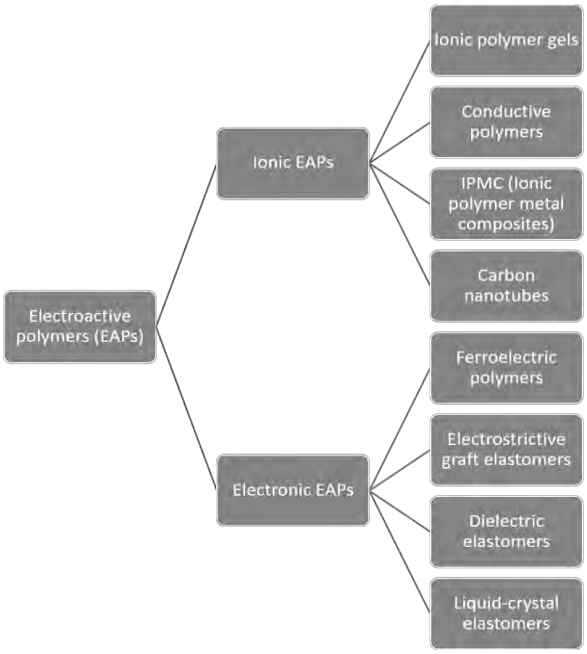


Figure 1. Electroactive polymers classification

Biopolymers are groups of polymers produced by living beings; for instance, plants, animals, bacterias, and fungi [5]. The term biopolymer stands in its literal sense as biological derived and biodegradable polymer, but there are some exceptions, among the group of biopolymers, we can find a type of polymers that are synthetized through chemical processes, these are called synthetic biopolymers [6].

Для цитирования
Ольвера Берналь Р.А, Успенская М.В., Олехнович Р.О. Биополимеры и их применение в качестве электроактивных полимеров // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 270–277. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-270-277

For citation
Olvera Bernal R.A., Uspenskaya M.V., Olekhnovich R.O. Biopolymers and its application as electroactive polymers. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 270–277. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-270-277

© 2021, Olvera Bernal R.A.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Table 1, shows a general classification of biopolymers [7]. The attention on the use of these materials is due to their renewability, sustainability, nontoxicity and biodegradability. There are three main sources from which biopolymers are being extracted. The first source is found in plants, the polymers extracted are starch, soy protein, and cellulose; chitosan, keratin, and silk are polymers obtained from an animal source; and microbial fermented polymers such as polyhydroxyalkanoates (PHA) and polyhydroxybutyrate (PHB). Moreover, the applications that these polymers have make them very attractive for the scientific community, such applications are, biocompatibility, biodegradation to non-toxic end products, high bio-activity, low antigenicity, capability to support cell growth. Suitable material in the field of medicine, such as drug delivery systems, surgical implant devices, and bruise closing and healing products [8].

Table 1.

Biocompatible olymers classification [7]

Biocompatible polymers	Natural	Proteins Silk Collagen Fibrinogen Soy protein Polysaccharides Cellulose Chitin Starch Hyaluronic acid Starch
	Synthetic	PGA (Polyglycolic) PLA (Polylactic acid) PDS (Polydioxanone) PEG (Polyethyleneglycol) PP (Polypropylene) PVC (Polyvinyl chloride) PMMA (Polymethyl-methacrylate) PTFE (Polytetrafluoroethylene)

This manuscript aims to explore the approach on the use of biopolymers as electroactive polymers. In recent decades, the use of biopolymers as smart materials has been of great interest as a novel procedure to develop technologies that can be eco-friendly as well as their production process.

Electrorheological fluids

Electrorheological fluids or ERFs, are one of the most used smart materials and can be described as a class of colloidal dispersions that exhibit a reversible change in their rheological behavior as a response to an external electric field, with a huge potential application in many different fields, many researchers' works focused on the use of these materials in the automotive industry, aerospace industry, robotics, medicine, and so on. As an example, in the automotive industry ERFs are implemented as shock absorbers, brakes, clutches, and smart structures. The change in their rheological behavior is due to a dramatic increase in the flow resistance, which depends on the flow regime and the composition of the fluid. One of the most attractive characteristics inherent in ERFs, is their fast response to electrical stimulus, which makes them suitable as an actuating device [9].

A wide variety of biopolymers have been used as fillers for the development of ERFs. Cellulose, corn starch and chitosan, were reported to be implemented as biopolymeric dispersoids for ERFs biocompatible systems [10].

Choi et al., in their manuscript [11], reported a novel electrorheological material, by the use of microfibrillated cellulose (MFC), which was synthesized by a low-pressure delignification process. The MFC-based ER fluid was synthesized by suspending MFC particles (10 vol%) in an insulating silicone oil (100 cS). The MFC-ER fluid showed a change in its rheological properties when an electrical field was applied, the MFC-ER fluid showed a non-Newtonian fluid property. The plateau region of shear stresses was widened along with increased electrical field strength of up to 2.0 kV/mm. In order to know the speed response that MFC-ER fluid has, an on-off test was carried on, the test analyzed the shear viscosity behavior, which was measured at a fixed shear rate (= $1s^1$) and square voltage pulse (20 s), at various voltages (0.3–2.0 kV/mm). The shear stress grew quickly when the electrical field was applied and dropped to zero when the electrical field was turned off, as shown in figure 2.

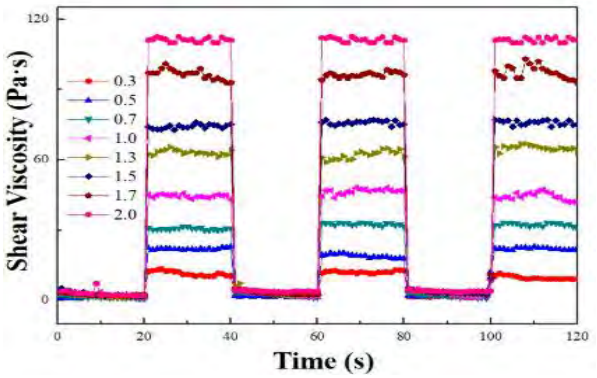


Figure 2. Shear viscosity behavior as response to an electrical field [4]

Plateau behavior is originated by an attraction between the polarized particles, which build a chain structure. In addition, it is mentioned that the shear viscosity of the ER fluid increased as a response to the increasing of the electrical field. This can be explained due to interfacial polarization under an external electric field causes electrostatic forces

between particles, leading to the chain structural formation. A dynamic oscillation measurement of the MFC ER fluid was performed to estimate the linear viscoelastic (LVE). The loss moduli was slightly higher than the storage moduli, indicating that the MFC particle-based ER suspension possessed a liquid-like property without electrical field strength. However, the storage moduli became higher than the loss moduli as electrical field strength was applied, indicating that the phase characteristics of the ER suspension moved from fluid-like to solid-like by the electrical field strength.

Same as cellulose, chitosan has been explored as a suitable biopolymer for the development of electrorheological fluids. Chitosan is a linear polysaccharide and an N-deacetylated form of chitin, which is the second most abundant natural biopolymer in the world. The main sources of chitin and hence chitosan are the cell walls of fungi, shrimp and crabs, exoskeleton of arthropods and some parts of insects. Among numerous attractive applications of chitosan, one of its most remarkable uses is as a filler for smart materials, for example electrorheological fluids.

Kuznetsov et al. [12] examined the electrorheological behavior that porous chitosan particles have when are immersed in an insulating liquid. In their work it was observed that porous chitosan particles, in suspensions of polydimethylsiloxane (silicone oil), exhibit a remarkable electrorheological effect. Porous chitosan particles were fabricated from chitosan via freeze drying technique. In figure 3, we can observe the morphology of the particles. The reason for the extraordinary electrorheological behavior is due to the high porosity of the particles, which resulted in an increase of yield stress and allows to reach the same efficiency at lower weight fillings, due to increase in volume fraction. The preparation of chitosan particles is as follows; chitosan (1 g) was dissolved in 100 mL of 1 wt% acetic acid. Electrorheological fluid with chitosan content of 0.1, 0.5 and 1.0 wt% were prepared by mixing porous particles with polydimethylsiloxane during 48 h by a magnetic stirrer and following ultrasonic treatment for 20 min before measurements.

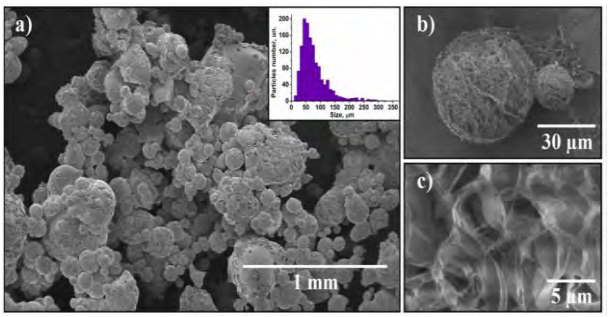


Figure 3. SEM images of porous chitosan particles (a, b); porous particle structure. The graph shows particle size distribution [12]

The results of their experiments show that, when the electric field is turned on, the shear stress of fluids increases instantaneously and drops rapidly when the electric field is turned off. These features may be related to primary aggregation processes, which happens when individual particles are polarized and form a percolation network. Similar behavior was observed during switching the electric field at constant level. Such tests clearly demonstrate the possibility of cyclic operation and show reversible and reproducible performance even at high electric fields. The yield stress dependence was also analyzed. Samples are persistent over a wide range of electric fields and exhibit a stable response up to fields of at least $7\,kVmm^{1}$ An increase in the yield stress can be observed, when the electrical field increases as well. At a concentration of 1 wt%, the yield stress reached up to 540 Pa, at electrical field of $7\,kVmm^{1}$ (figure 5). Is important to mention that if we consider the real volume concentration of particles, we can notice that it is low. Hence, the yield stress value observed is extremely high.

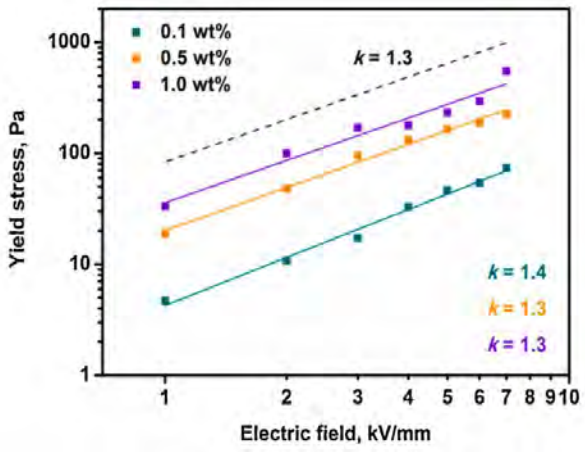


Figure 4. Yield stress as a function of electric field for suspensions of porous chitosan particles in polydimethylsiloxane at various concentrations. Dashed line indicates the slope [12]

It can be seen in figure 4 that, without electric field the storage modulus exceeds the loss modulus at low frequencies and an increase in the frequency leads to the moduli crossover at frequency value of 6 s^{1} . Thus, the sample behaves like a solid body at low frequencies and exhibits a viscous response with frequency increasing. The main reason of such strong electrorheological behavior is in the percolation network formation from fragments of the chitosan porous structure and its strength is determined by the contacts at the individual particles boundaries.

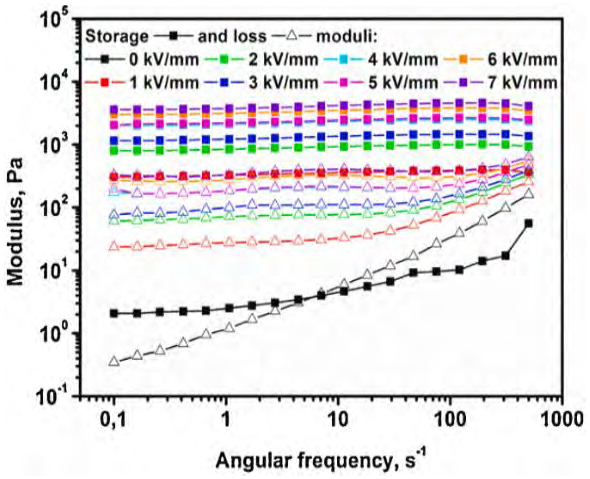


Figure 5. Frequency dependencies of storage and loss moduli [12]

Electroactive films

Ionic polymer actuators are a type of EAPs, which are structured by the use of a layer of polymer electrolyte sandwiched in between electrodes. Ionic polymer actuators, in literature are also referred as electroactive films, which, due to their electroactive and mechanical characteristics, have become a promising material for the development of soft actuators. The principle working mechanism that rules in the actuation of these materials can be described as follows. When the electric field is applied to the actuator film, the ions move from one surface to the other electrode surface in the form of ion-water clusters, leading to a bending motion of the actuator.

Altınkaya E. et al. [13], analyzed the bending mechanism of an ionic actuator by the use of chitosan combined with poly (diallyldimethylammonium chloride) (PDAD), at different concentrations. It is reported that four samples were prepared, including 0, 0.25, 0.50, and 0.75 mL of PDAD were called as ChiM, ChiPM-25, ChiPM-50, and ChiPM-75. The film samples were wrapped with gold leaves to fabricate electroactive polymeric actuators. One of the most important observations made in this work is that crosslinked-chitosan film having no PDAD does not move when an electrical excitation is applied. On the other hand, loading of certain amounts of PDAD converts crosslinked chitosan-film into an actuator which responds to applied electrical voltage with a bending motion. The greatest tip displacement value for ChiPM-25 was obtained as 12.8 mm under the excitation voltage of 9 V. ChiPM-75 also exhibited a great displacement of 3.2 mm under the excitation voltage of 5 V. Results reveal that ChiPM-25 and ChiPM-50 actuators have similar bending motion capabilities and motion ranges from 3.9 to 12.8 mm and from 4.5 to 12.8 mm, respectively (Table 2).

Table 2.
Tip displacement of ChiPM-25, ChiPM-50, ChiPM-75 and ChiM. [13]

Applied Voltage	ChiPM-25	ChiPM-50	ChiPM-75	ChiM
5	4.5	12.8	3.2	-
7	9.5	9.4	1.1	-
9	12.8	7.5	-	-
11	8.4	5.8	-	-
13	6.3	4.4	-	-
17	6.0	3.9	-	-

The actuation performance of ChiPM films is better than a lot of cellulose based actuators mentioned in literature. For example, the maximum tip displacement of ChiPM50 under 5 V is about 25, 4, and 5 times larger than those of multilayer graphene-loaded cellulose-based actuator, as shown in figure 6 (Akar & Sever, 2017) [14].

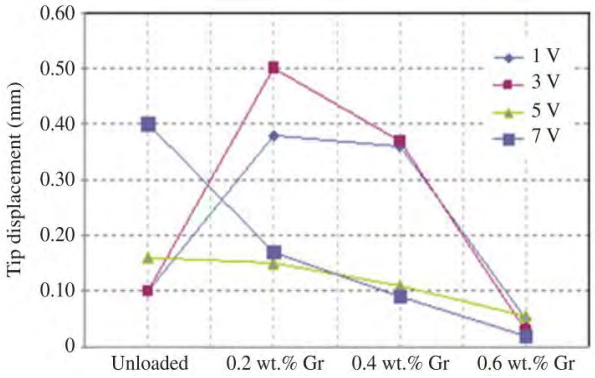


Figure 6. Tip displacement of multilayer graphene-loaded cellulose-based actuator, at different grapheme concentrations [14]

Electroactive hydrogels

Hydrogels are three-dimensional polymeric networks possessing hydrophilic characteristics and high water absorption capacities. Due to their high-water content, porosity and soft consistency, they can mimic natural living tissue better than any other class of synthetic biomaterials. It is because of their porous networks and highwater content that allows the transportation of small solutes, additionally, hydrogels present ionic conductivity, especially in the case of polyelectrolytes [15].

Jayaramudu et al. [16], have reported the preparation of polyvinyl alcohol/cellulose-based electroactive hydrogels for actuator applications. The polyvinyl alcohol/cellulose electroactive hydrogels were obtained by physical crosslinking of polyvinyl alcohol and cellulose. The studies reveal that the cellulose is uniformly reacted with hydroxyl groups of polyvinyl alcohol by intermolecular bond formation. The displacement behavior on the electroactive polymer is influenced by three

main factors which are cellulose content, voltage and frequency. The actuation test was carried out by applying AC voltage and the use of a laser displacement sensor (Keyance LK-G85, Tokyo, Japan), in which a high voltage connected to a function generator (33220A, Agilent) in an environmental chamber and Labview software. Before conducting the test, the hydrogels samples (1010×4 mm^3) were put into deionized water for 24 h. The swollen hydrogels were kept between two electrodes. The experiment was conducted in an environmental chamber and the chamber temperature and humidity was maintained at a constant temperature of 25 °C and a RH of 95%, throughout the experiment. The displacement of the PVA, cellulose and polyvinyl alcohol-cellulose (PC) hydrogels at 1 kV, were reported as follows; PVA ~4μm; cellulose hydrogel ~7.5μm and PC hydrogels 4–6μm. The displacement output increases by increasing the voltage. Note that the PC hydrogel shows higher displacement than the PVA hydrogel. In addition, it was reported that frequency plays an important role in the displacement of the actuator. The displacement decreases with increasing the actuation frequency. When the frequency increased from 1 Hz up to 5 Hz, the samples exhibit a lower displacement response: PVA from ~4μm to ~2μm; Cellulose from ~7.5μm to ~5.5μm; and PC from ~6μm to ~5μm, respectively, these parameters are shown in figure 7.

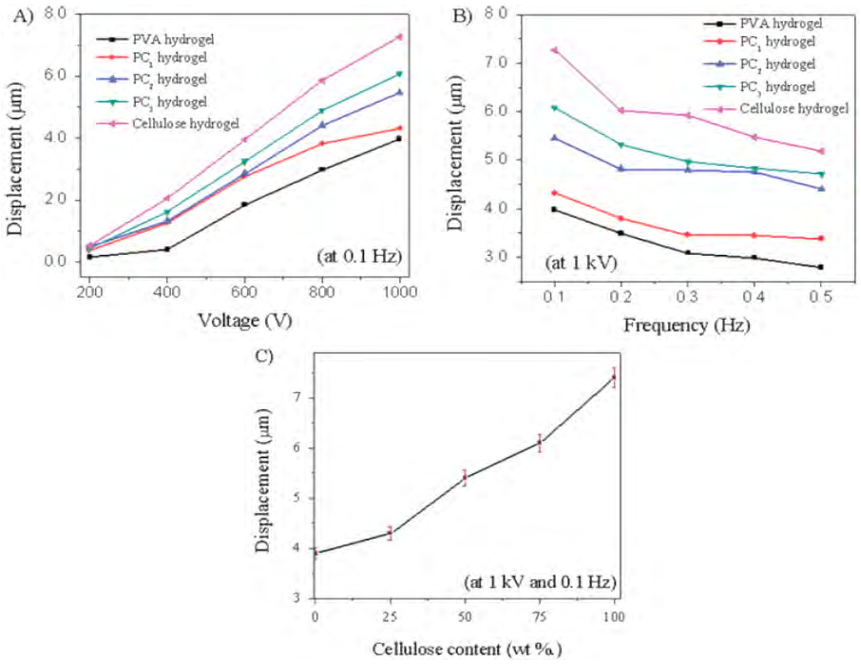


Figure 7. Actuation test of hydrogels prepared: (a) electrical voltage dependent displacement at 0.1 Hz, (b) displacement output with frequency change, and (c) cellulose content effect on displacement output [16]

3D printing has become one of the most popular technologies in recent years. Due to its efficiency and flexibility, 3D printing has been implemented in many different fields, from the aerospace industry to the medical area. Zolfagharian et al. [20], made use of 3D printing technology, in their paper, they proposed a novel application of 3D printing for the production of soft robotics. In their study, chitosan was employed as a biopolymer for the development of the actuator. The paper focuses on the comparison of the actuation performance between 3D printed chitosan, conventional cast film gelatin and chitosan (figure 8). The results demonstrated that the rectilinear hollows made by 3D printing improve the functionality of actuation in chitosan, as shown in figure 9, where it is possible to observe the maximum bending (deg) for each sample. It can be deduced that the porosity from the layer-by-layer 3D printing, contributes to higher bending and actuation rate. Despite the existing discrepancy between the actuation rate of cast gelatin and chitosan, they follow quite similar trends compared to the 3D printed chitosan.

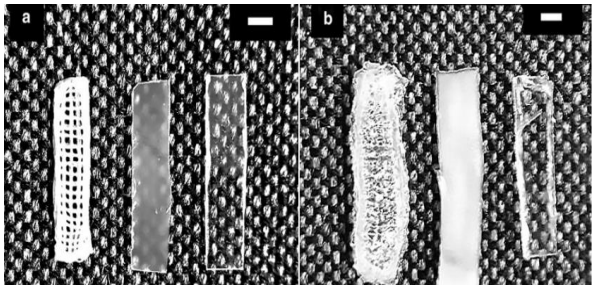


Figure 8. 3D printed chitosan, cast chitosan and cast gelatin, from left to right; a) samples before actuation b) samples after actuation [17]

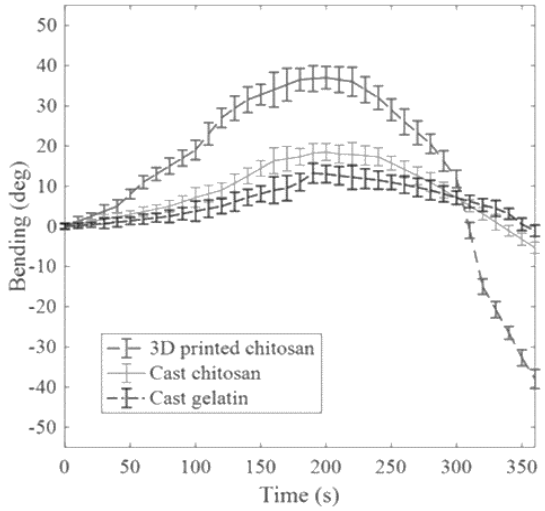


Figure 9. 3D printed chitosan versus cast gelatin and chitosan actuators [17]

Chitosan and cellulose are not the only biopolymers used as electroactive materials. Recently Rotjanasuworapong et al. [18], have reported the use of agarose for the production of an electro-responsive material. In their work, agarose (AG) was used to fabricate the AG hydrogels through a simple solvent casting method. Generally, the formation of agarose hydrogel mostly depends on two factors namely temperature and concentration. For the experiment four hydrogels' samples were prepared with 2.0, 4.0, 8.0, and 12.0%v/v agarose concentration. The electrostrictive response mechanism of the AG hydrogel can be described as the alignment in the same direction of the dipole molecules, as a response to an electrical field, such phenomenon is called orientation polarization, the representation of such phenomenon is shown in figure 10.

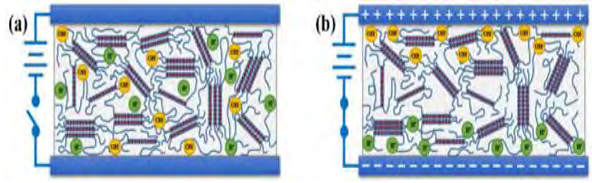


Figure 10. Proposed the electrostrictive response mechanism of the AG hydrogel [18]

It is mentioned that the highest dielectric constant was obtained from the sample with 2%v/v. This result can be explained due to the higher concentration of water molecules within the hydrogel. It can be compare the dielectric constant with other electroactive material, such as, cellulose ionogel (Phy gel) [19] and thermoplastic elastomer polyurethane (TPE-PU) [20], the present results show that the Phy gel exhibit a higher dielectric constant (~31) than the AG HyGel_2.0%v/v (~22), on the other hand, AG HyGel_2.0% has a higher dielectric constant than the TPE-PU (~4). The electromechanical properties tests show that, the AG HyGel_12.0%v/v possessed the highest storage modulus (G') and storage modulus relative response ($\Delta G'/G'_0$) of 4.48×10^6 Pa and 1.07, respectively under applied electric field strength of 800 V/mm. The storage modulus $\Delta G'/G'_0$ monotonically increases with increasing agarose concentration. The highest $\Delta G'/G'_0$ with a value of 1.07, was obtained from the AG HyGel_12.0%v/v. It can be summarized that a higher agarose concentration with a higher number of polarizable groups (-OH groups) predominantly enhances the electromechanical response. The highest deflection distance of 15.30 mm at 600 V/mm was obtained from the AG HyGel_2.0%v/v (figure 11). The AG HyGel 8.0%v/v has the highest dielectrophoresis force density (0.17 mN/mm^3).

Table 3.

Comparison of the bending performance of the AG HyGels [18]

Sample	Voltage/ mm	Volume (mm^3)	Deflection angle (degree)	Deflection distance (mm)
AG HyGel_2.0 %v/v	600	27.27	74.60±1.02	15.30±0.43
AG HyGel_4.0 %v/v	600	27.83	56.11±3.67	10.92±0.69
AG HyGel_8.0 %v/v	600	34.54	30.05±2.93	7.36±0.78
AG HyGel_12.0 %v/v	600	31.74	17.74±6.47	4.31±1.57

Table 3 summarizes the performance parameters obtained from the samples. The main advantages of the present agarose hydrogels are the ease and cost in fabrication without using a toxic chemical crosslinker or additive.

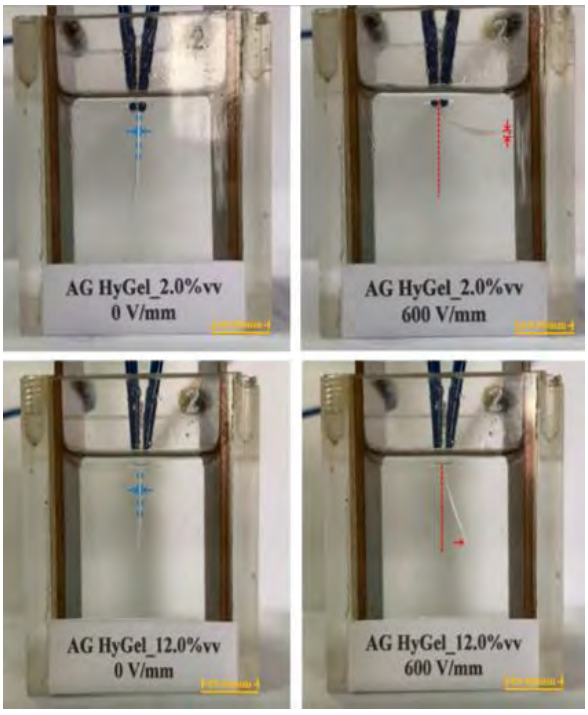


Figure 11. Bending performance of AG HyGel_2.0% and AG HyGel_12.0% [10]

Starch is a biopolymer widely used for the preparation for electrorheological fluids. Starch also can be implemented for the preparation of electroresponsive hydrogels as reported at Wang et al., article [21]. They studied the effect that Fe(III) combined with starch can have in the look for an enhancement in the electro responsive properties of the hydrogel. The starch-Fe(III) hydrogels were prepared through two cross link procedures. Firstly, starch was dissolved in water at 60 °C, then, glutaraldehyde (GA) as the dominating cross-linker. Secondly, $FeCl_3$ solution with different concentrations (from 0.00 to 0.40 with step 0.05 M) as the auxiliary cross-linker. The hydrogel named A-hydrogels cured under a DC electric field (0.4 and 0.8 kV mm^{-1}) for the first 1.5 h, the other hydrogel sample called B-hydrogels cured with no DC electric field was. The two mixtures were gelation-cured synchronously. The results obtained after experimentation showed that there is a coordinate bond between Fe(III) with -OH of starch which leads to a stronger three-dimensional network structure and higher thermal stability of the starch-Fe(III) hydrogel. Furthermore, when the Fe3 + concentration is 0.15 ~ 0.25 M under the electric field of 0.8 kV mm^{1} starch-Fe(III) hydrogels have the strongest electro-response, the maximum value of modulus increment (ΔG) is 24 kPa, and the modulus increment sensitivity (ΔG/GB) is about 90% (figure 12). It was shown that the addition of Fe(III) particles as composites to the starch hydrogel, represented an improvement in its electro-responsive behavior.

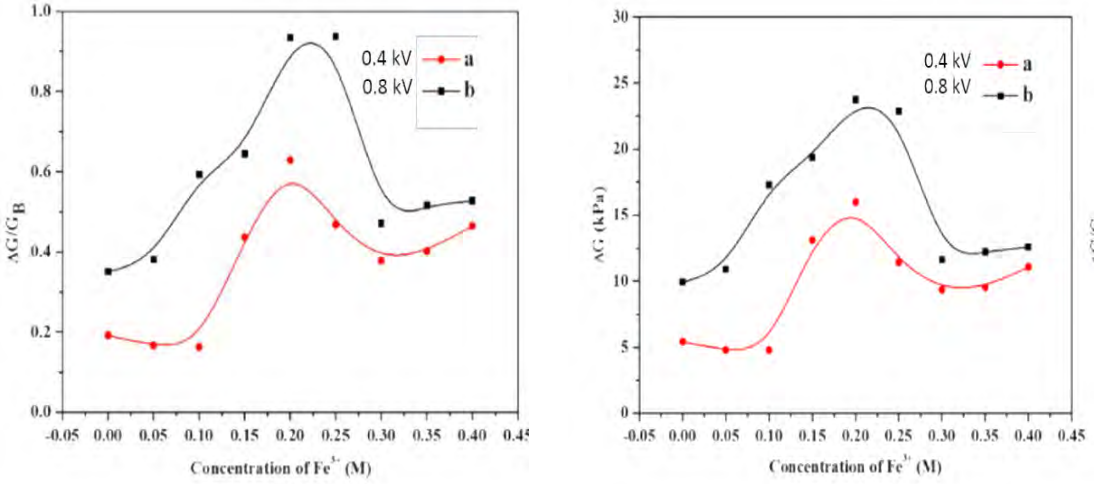


Figure 12. The storage modulus increment (ΔG) and increment sensitivity (ΔG/) of the hydrogels as a function of concentration under [21]

Conclusion

The present manuscript aimed to summarize some of the works that have been done in the last decade, by the use of biopolymers as electroactive materials, going from electrorheological fluids to electroactive hydrogels. The application that biopolymers are having in the field of smart materials has been increasing, expanding the fields of their application, from industry to medicine. It is also important to mention that some of the drawbacks that this new proposal have is the use of high voltages in order to perform the actuation, which reduces their practical implementation. Nevertheless, biopolymers promise to be a potential material for the development of new technologies. There is still a long way to go before bringing them to large-scale production but, without any doubt, these polymers, are becoming the materials of the future.

References

1 Jean-Mistral C., Basrour S., Chaillout J. J. Comparison of electroactive polymers for energy scavenging applications. Smart Materials and Structures. 2010. vol. 19. no. 8. pp. 085012.

2 Romasanta L. J., López-Manchado M. A., Verdejo R. Increasing the performance of dielectric elastomer actuators: A review from the materials perspective. Progress in Polymer Science. 2015. pp. 188–211. doi: 10.1016/j.progpolymsci.2015.08.002.

3 Lurie-Luke E. Product and technology innovation: What can biomimicry inspire? Biotechnology Advances. 2014. vol. 32. no. 8. pp. 1494–1505. doi: 10.1016/j.biotechadv.2014.10.002

4 Bar-Cohen Y. EAP from 1999 to 2020: highlights from chairing the EAPAD conference for 22 years. Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD) XXII. International Society for Optics and Photonics. 2020. vol. 11375. pp. 1137502. doi: 10.1117/12.2559735

5 Augustine R., Rajakumari R., Cvelbar U., Mozetic M. et al. Biopolymers for health, food, and cosmetic applications. Handbook of Biopolymer-Based Materials: From Blends and Composites to Gels and Complex Networks. 2013. pp. 801-849.

6 Balaji A.B., Pakalapati H., Khalid M., Walvekar R. et al. Natural and synthetic biocompatible and biodegradable

polymers. Navinchandra Gopal Shimpi. Biodegradable and biocompatible polymer composites. 2018. pp. 3-32.

7 Wankhade V. Animal-derived biopolymers in food and biomedical technology. Biopolymer-Based Formulations. 2020. pp. 139–152. doi: 10.1016/b978–0–12–816897–4.00006–0

8 Ahmed S., Kanchi S., Kumar G. Handbook of Biopolymers: Advances and Multifaceted Applications. CRC Press, 2018.

9 Sohn J.W., Kim G.W., Choi S.B. A state-of-the-art review on robots and medical devices using smart fluids and shape memory alloys. Applied Sciences. 2018. vol. 8. no. 10. pp. 1928. doi: 10.3390/app8101928

10 Choi K., Gao C.Y., Nam J. Do, Choi H.J. Cellulose-based smart fluids under applied electric fields. Materials. 2017. vol. 10. no. 9. pp. 1060. doi: 10.3390/ma10091060

11 Choi K., Nam J. Do, Kwon S.H., Choi H.J. et al. Microfibrillated Cellulose Suspension and Its Electrorheology. Polymers. 2019. vol. 11. no. 12. pp. 2119. doi: 10.3390/polym11122119

12 Kuznetsov N.M., Zagoskin Y.D., Vdovichenko A.Y., Bakirov A.V. et al. Enhanced electrorheological activity of porous chitosan particles. Carbohydrate Polymers. 2021. vol. 256. pp. 117530. doi: 10.1016/j.carbpol.2020.117530

13 Altınkaya E., Seki Y., Çetin L., Gürses B.O. et al. Characterization and analysis of motion mechanism of electroactive chitosan-based actuator. Carbohydrate polymers. 2018. vol. 181. pp. 404-411. doi: 10.1016/j.carbpol.2017.08.113

14 Akar E., Sever K. Electromechanical characterization of multilayer graphene-reinforced cellulose composite containing 1-ethyl-3-methylimidazolium diethylphosphonate ionic liquid. Science and Engineering of Composite Materials. 2017. vol. 24. no. 2. pp. 289-295. doi: 10.1515/secm-2015–0038

15 Palza H., Zapata P. A., Angulo-Pineda C. Electroactive smart polymers for biomedical applications. Materials. 2019. vol. 12. no. 2. pp. 277. doi: 10.3390/ma12020277

16 Jayaramudu T., Ko H., Zhai L., Li Y. et al. Preparation and characterization of hydrogels from polyvinyl alcohol and cellulose and their electroactive behavior. Soft Materials. 2017. vol. 15. no. 1. pp. 64-72. doi: 10.1080/1539445X.2016.1246458

17 Zolfagharian A., Kaynak A., Khoo S.Y., Kouzani A.Z. Polyelectrolyte soft actuators: 3D printed chitosan and cast gelatin. 3D Printing and Additive Manufacturing. 2018. vol. 5. no. 2. pp. 138-150. doi: 10.1089/3dp.2017.0054

18 Rotjanasuworapong K., Thummarungsan N., Lerdwijitjarud W., Sirivat A. Facile formation of agarose hydrogel and electromechanical responses as electro-responsive hydrogel materials in actuator applications. Carbohydrate Polymers. 2020. vol. 247. pp. 116709. doi: 10.1016/j.carbpol.2020.116709

19 Kunchornsup W., Sirivat A. Physically cross-linked cellulosic gel via 1-butyl-3-methylimidazolium chloride ionic liquid and its electromechanical responses. Sensors and Actuators A: Physical. 2012. vol. 175. pp. 155-164. doi: 10.1016/j.sna.2011.12.045.

20 Petcharoen K., Sirivat A. Electrostrictive properties of thermoplastic polyurethane elastomer: Effects of urethane type and soft–hard segment composition. Current Applied Physics. 2013. vol. 13. no. 6. pp. 1119-1127. doi: 10.1016/j.cap.2013.03.005.

21 Wang Y., Lin M., Dai W., Zhou Y. et al. Enhancement of Fe (III) to electro-response of starch hydrogel. Colloid and Polymer Science. 2020. vol. 298. no. 11. pp. 1533-1541. doi: 10.1007/s00396–020–04736-y

Information about authors

Olvera Bernal R.A. engineer, Institute of Bioengineering, ITMO University, Kronverkskiy Pr, 49, bldg. A, St. Petersburg, 197101, Russia, rigel_obra@itmo.ru

Uspenskaya Mayya V., Prof. Dr. Sci., Head of Institute of Bioengineering, ITMO University, Kronverkskiy Pr, 49, bldg. A, St. Petersburg, 197101, St. Petersburg, Russia, mv_uspenskaya@mail.ru

Olekhnovich Roman O., PhD, assistant professor, faculty of Control Systems and Robotics, ITMO University, Kronverkskiy Pr, 49, bldg. A, St. Petersburg, 197101, St. Petersburg, Russia, r.o.olekhnovich@mail.ru

Contribution

Olvera Bernal R.A. wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Uspenskaya Mayya V. consultation during the study

Olekhnovich Roman O. consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 1.19.2021
Accepted 3.1.2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-278-283 Оригинальная статья/Research article
УДК 339.13.021 : 667.62 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Получение совмещенной эпоксидианово-акриловой дисперсии

Раиса Г. Домниченко [1] raisa-domnichenko@ya.ua
Галина Ю. Вострикова [2] vostr76-08@live.ru
Сергей С. Никулин [3] nikulin_sergey48@mail.ru

1 Луганский государственный университет имени Владимира Даля, кв. Молодежный, 20 А, г. Луганск, 91011, Луганская Народная Республика
2 Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия
3 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Современное состояние развития экономики РФ обусловливает появление ряда актуальных проблем, связанных с совершенствованием производства и повышением уровня экологически безопасной продукции, в частности лакокрасочных материалов в сочетании с высокими эксплуатационными свойствами покрытий на их основе. В обзоре рассматриваются достоинства и недостатки водных дисперсий на основе полимеров в присутствии различных модификаторов, которые широко используются в лакокрасочной промышленности. Основным преимуществом покрытий на водной основе является снижение пожароопасности при проведении окрасочных работ, из-за отсутствия органических растворителей в рецептуре, повышается экологическая безопасность и безопасность этих покрытий для здоровья человека. В данной статье рассматривается проблема условий стабильности смешанных материалов эпоксидно-акрилового типа и установление связи между составом пленкообразующей основы и эксплуатационными свойствами покрытий. Цель данного исследования – создание новых водно-дисперсионных лакокрасочных материалов на основе смешанных эпоксидно-акриловых пленкообразователей для покрытий с повышенной твердостью, износостойкостью, эластичностью и адгезией. Проведен анализ основных типов пленкообразователей на водной основе. Предложено использовать смешанные системы пленкообразователей на основе эпоксидно-акриловых дисперсий. Стандартными методами установлено, что совмещением дисперсий акрилового и эпоксидного типов удается достичь существенного повышения износостойкости композиций (практически в 2 раза) по сравнению с износостойкостью материалов на акриловой основе. Адгезия покрытий к подложкам различной природы (кроме кирпичной) возрастает с увеличением содержания эпоксидиановой компоненты. С точки зрения эксплуатационных свойств, покрытие на основе акрил-эпоксидного материала может быть более эффективнее, чем акриловое и использоваться в условиях повышенной влажности. Подтверждено повышение эксплуатационных свойств этих материалов в сравнении с акрилатными системами. Необходимо отметить, что дополнительной задачей при разработке любых строительных материалов является доступность в цене. Известно, что не все дисперсии являются дешевыми, так например, в присутствии силиконовых полимеров, дисперсии обладают высокой стоимостью, поэтому их используют только при необходимости. Нами для улучшения эксплуатационных свойств и снижения стоимости защитных лакокрасочных покрытий было предложено использовать композиционные материалы, в состав которых вошли стирол-акриловые и эпоксидные водные дисперсии. В дальнейшем планируется создать «умные» материалы, свойства которых будут зависеть от функциональных наполнителей.

Ключевые слова: лакокрасочные материалы, водные дисперсии, эмульсия, эпоксидная смола, акриловая дисперсия, пленкообразующие основы, пористость, влагопоглощение, латекс

Obtaining a combined epoxy-acrylic dispersion

Raisa G. Domnichenko [1] raisa-domnichenko@ya.ua
Galina Yu. Vostrikova [2] vostr76-08@live.ru
Sergey S. Nikulin [3] nikulin_sergey48@mail.ru

1 Luhansk State University named after Vladimir Dal, 20A Molodezhny sq., Luhansk, 91011, Luhansk People's Republic
2 Voronezh State Technical University, 84, 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia
3 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The current state of development of the economy of the Russian Federation causes the appearance of a number of urgent problems related to improving production and increasing the level of environmentally safe products, in particular paints and varnishes combined with high performance properties of coatings based on them. In this regard, the advantages and disadvantages of aqueous dispersions based on polymers in the presence of various modifiers that are widely used in the paint and varnish industry were analyzed. This article discusses the problem of stability conditions for mixed materials of epoxy-acrylic type and the establishment of a relationship between the composition of the film-forming base and the performance properties of coatings. The purpose of this study is to create new water-dispersion paints and varnishes based on mixed epoxy-acrylic film-formers for coatings with increased hardness, wear resistance, elasticity and adhesion. The analysis of the main types of water-based film-forming agents is carried out. It is proposed to use mixed systems of film-formers based on epoxy-acrylic dispersions. It was established by standard methods that by combining dispersions of acrylic and epoxy types it is possible to achieve a significant increase in the wear resistance of the compositions (almost 2 times) in comparison with the wear resistance of materials based on acrylic. The adhesion of coatings to substrates of various nature (except for brick) increases with an increase in the content of the epoxy component. In terms of performance, acrylic epoxy can be more effective than acrylic and can be used in humid environments. An increase in the performance properties of these materials in comparison with acrylate systems has been confirmed. It should be noted that an additional task in the development of any building materials is affordability. It is known that not all dispersions are cheap, for example, in the presence of silicone polymers, dispersions are expensive, so they are used only when necessary. To improve operational properties and reduce the cost of protective coatings, we proposed using composite materials, which included styrene-acrylic and epoxy aqueous dispersions. In the future, it is planned to create “smart” materials whose properties will depend on functional fillers.

Keywords: paints and varnishes, aqueous dispersions, emulsion, epoxy resin, acrylic dispersion, film-forming bases, porosity, moisture absorption, latex

Для цитирования
Домниченко Р.Г., Вострикова Г.Ю., Никулин С.С. Получение совмещенной эпоксидианово-акриловой дисперсии // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 278–283. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-278-283

For citation
Domnichenko R.G., Vostrikova G.Yu., Nikulin S.S. Obtaining a combined epoxy-acrylic dispersion. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 278–283. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-278-283

© 2021, Домниченко Р.Г. и др. / Domnichenko R.G. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Проанализировав рынок промышленных лакокрасочных материалов в России и за рубежом можно сделать вывод, что в мире происходит рост производства систем на основе водных дисперсий полимеров.

В настоящее время дисперсии органических смол в водной среде широко используются в качестве пленкообразующих систем для покрытий, как для внутренних, так и внешних работ по минеральным субстратам. Основным типом полимерного материала, который используется в производстве эмульсий являются сополимеры на основе акриловой, метакриловой кислот и полистирола [1]. Эти материалы характеризуются высокой атмосферостойкостью, но в, то, же время непригодны для получения покрытий на металлических и пластиковых субстратах. Традиционно для решения таких задач используются системы на основе эпоксидных смол с добавлением органических растворителей и пластификаторов, что обеспечивает высокую твердость и адгезию. В то же время, эпоксидные материалы оказываются недостаточно атмосферостойкими [2].

Таким образом, формируется потребность в материалах, которые бы обладали преимуществами как акриловых, так и эпоксидных полимерных покрытий. Пленкообразователи на основе водных дисперсий акриловых смол являются экономически привлекательными, а совершенствование эксплуатационных параметров этих материалов возможно при условии усовершенствования их состава.

Предложено использовать смешанные материалы на основе стирол-акриловых и эпоксидных водных дисперсий. Задача исследований заключалась в определении условий стабильности смешанных материалов данного типа и установление связи между составом пленкообразующей основы и эксплуатационными свойствами покрытий.

Цель работы – создание новых водно-дисперсионных лакокрасочных материалов наоснове смешанных эпоксидно-акриловых пленкообразователей для покрытий с повышенной твердостью, износостойкостью, эластичностью и адгезией.

Материалы и методы

Основной задачей было установление оптимального соотношения между количеством акриловой и эпоксидиановой дисперсии исходя из физико-химических свойств совмещенных композиций. Варьирование концентраций совмещенных дисперсий происходило с шагом 20 об. %.

В качестве пленкообразующей стирол-акриловой основы нами была выбрана универсальная дисперсия акрилового латекса Ucar D 450 и водная дисперсия эпоксидиановой смолы (пат. Украины 78249). Полученная дисперсия с высокой седиментационной стабильностью (до 240 суток) была смешана в различных соотношениях с указанным стирол-акрилатным материалом.

Показано, что при увеличении содержания латекса Ucar D 450 (таблица 1) происходит повышение пористости композиции, максимальная пористость характерна для пленки на основе смеси 80 об. ч. латекса и 20 об. ч. эпоксидиановой смолы. Форма зависимости пористости от состава композиции позволяет сделать вывод о решающем влиянии кинетики высыхания композиции на структуру лаковой пленки. При совмещении систем происходит повышение общего содержания воды в композиции, и ее загустение. В этих условиях, при высыхании на подкладке процесс удаления воды не успевает завершиться в полной мере до начала гелеобразования, что приводит к образованию пор типа каверн в структуре покрытия при содержании латексной компоненты 80 об. %. При этом пористость такой пленки превышает пористость пленки чистого латекса (таблица 1).

Тем не менее, пористость чистой латексной пленки значительно выше, чем из полученной эпоксидной дисперсии, введение латекса до 20–30 об. % существенно не влияет на общую пористость композиции.

Таблица 1.

Пористость совмещенных композиций и взаимодействие композиций с жидкой и парообразной водой

Table 1.

The porosity of the combined compositions and the interaction of the compositions with liquid and vaporous water

Показатель Indicator	Содержание латексной дисперсии в системе, об. % Content of latex dispersion in the system, vol. %					
	0	20	40	60	80	100
Пористость, об. % Porosity, vol. %	1,30	1,35	1,40	1,55	1,80	1,70
Угол смачивания водой, град. Wetting angle with water, deg.	67	64	62	60	58	56
Водопоглощение, мас. % Water absorption, wt. %	1,18	1,25	1,37	1,45	1,56	1,43
Влагопоглощение, об. % Water absorption, vol. %	0,58	0,63	0,72	0,94	1,16	1,15

Тенденция увеличения дефектности покрытия при увеличении содержания латекса в композиции подтверждается значениями угла смачивания водой, а также водо- и влагопоглощения свободных пленок (таблица 1).

Результаты этих опытов указывают на повышенное родство латексной пленки к воздействию жидкой воды, что обусловлено как наличием в ней остатков большого количества поверхностно-активных веществ, используемых для стабилизации эмульсий подобного типа, так и большим родством к воде стирол-акрилового полимера в сравнении с эпоксидным. Этот факт повышает влагопоглощение латексной пленки по сравнению с эпоксидной, но концентрационная зависимость при этом отличается от зависимости с пористостью (отсутствует характерный максимум), поскольку капиллярной конденсации жидкой воды в крупных порах покрытия не происходит. Зависимость водопоглощения от содержания латекса, полностью повторяет зависимость пористости от этого фактора.

Как и в случае с пористостью, можно заключить, что введение в эпоксидиановую систему дисперсии Ucar D 450 в количестве 20–30 об. % не приводит к существенному снижению устойчивости системы к воздействию жидкой и парообразной воды. Введение латекса влияет на прочностные свойства пленки, что достигается за счет увеличения ее эластичности (таблица 2).

Таблица 2.

Механические свойства покрытий

Table 2.

Mechanical properties of coatings

Показатель	Содержание латексной дисперсии в системе, об. % Content of latex dispersion in the system, vol. %					
	0	20	40	60	80	100
Жесткость, од. Stiffness, od.	80	70	64	59	55	50
Износостойкость, кг/мкм Wear resistance, kg/μm	28	23	21	18	16	12
Эластичность, мм Elasticity, mm	6	3	2	2	1	1
Стойкость к удару, кг/см Impact resistance, kg/cm	60	80	95	110	140	180

Повышение устойчивости пленки к удару объясняется увеличением ее способности к пластической деформации во время действия скоростной нагрузки. За счет введения латекса напряжение в пленке в этот момент релаксирует в большей степени, чем в случае с чистой эпоксидной смолой.

Снижение износостойкости при введении латекса объясняется пониженной жесткостью пленки, таким образом, при контакте мелких частиц абразива с поверхностью выносится большая часть материала, чем в случае сравнительно жесткой эпоксидной смолы.

Введение латексной компоненты значительно увеличивает эластичность покрытия уже при концентрациях последней 20 об. %, при этом жесткость и износостойкость материала остаются на высоком уровне. Таким образом, результаты измерений механических свойств покрытий указывают на оптимальное содержание латексной дисперсии на уровне 20–30 об. %.

Для получения модельных красящих композиций была создана рецептура водно-дисперсной краски, в состав которой входил карбонатный наполнитель (Normcal 20, Somcalcite, Турция), пигмент диоксид титана рутильной модификации (RGU, Kronos, Германия) загуститель (ПБА-22 омут. ПАО «Дашуковские бентониты» Украина), диспергатор анионного типа (Axillat 32-S – натриевая соль полиакриловой кислоты) [2, 6]. Выбор компонентов был обусловлен необходимостью сравнения стабильности и потребительских свойств модельной композиции с уже существующими импортными аналогами. После смешивания в состав композиции была введена водная дисперсия отвердителя (полиэтиленполиамина) в количестве 8 масс. % от содержания эпоксидиановой смолы в системе и получение водно-дисперсионной краски с различным соотношением пленкообразователей, которые не содержат летучих органических растворителей (таблица 3).

Таблица 3.

Рецептуры водно-дисперсионных эпоксидно-акриловых композиций

Table 3.

Formulations of water-dispersed epoxy-acrylic compositions

Компонент Component	Номер композиции				
	1	2	3	4	5
ДисперсияUcarD 450 DispersionUsarD 450	20	15	10	5	0
Дисперсия ЕД-20 Dispersion UD 20	0	5	10	15	20
Наполнитель Normcal 20 Filler Nomaxal 20	30	30	30	30	30
Пигментдиоксид титана Pigment titanium dioxide	7	7	7	7	7
Загуститель ПБА-22 Thickener PBA 22	3	5	5	8	8
Диспергатор Axillat 32 S Dispersant Ahillat 32 S	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Вода | Water	38,5	36,5	36,5	33,5	33,5
Отвердитель | Hardener	0	0,4	0,8	1,2	1,6
Итого | Total	100	100,4	100,8	101,2	101,6

При совмещении эпоксидной и акриловой основы астабилизации или загустения композиции не происходит. После смешивания полимерных дисперсий и приготовления полуфабриката материал может храниться до введения отвердителя до полугода, что приближает его по этой характеристике к стирол-акриловой дисперсии. Физико-химические и эксплуатационные характеристики покрытий на основе смеси дисперсий определяли стандартными методами [7–14].

Результаты и обсуждение

Отверждения покрытия происходит за счет удаления воды за короткий промежуток времени (от 20 мин. до 1 ч), исключается пожароопасность при проведении окрасочных работ, повышается экологическая безопасность и безопасность этих покрытий для здоровья человека вследствие отсутствия органических растворителей в рецептуре. Второй причиной может служить то, что покрытие на водной основе по эксплуатационным свойствам не уступает покрытиям на основе органических растворителей, а наоборот, обладают высокой атмосферостойкостью, паропроницаемостью (что является важным для фасадных материалов), декоративными свойствами, легкостью колерования, возможность получения рельефа и текстурных покрытий и т. д.

Выходной (полуфабрикатной) формой водно-дисперсионных пленкообразователей является эмульсия или дисперсия полимеров в водной среде. Наиболее часто дисперсный полимер находится в состоянии частиц сферической формы со средним диаметром 0,05–0,3 мкм [1]. Коагуляционная и седиментационная стабильность системы достигается за счет стерической и электростатической стабилизации при использовании поверхностно-активных веществ, которые адсорбируются на поверхности капель мономера в случае использования конденсационных методов получения систем, или вводятся в систему во время получения вторичных дисперсий [2].

Формирование пленки из такой дисперсии происходит вследствие ряда процессов [3]: 1) удаление до 70–80% дисперсионной среды вследствие высыхания системы и дестабилизации эмульсии (образование геля); 2) приближения и контакта между частицами диспергированной фазы; 3) удаления остаточной воды, слипание и деформация частиц полимера под действием капиллярных сил, что приводит к образованию сплошной пленки. При этом стабилизирующее дисперсию поверхностно-активное вещество выдавливается на поверхность пленки, либо остается в ее объеме [4].

В случае использования термопластических материалов (которые не образуют после отверждения пространственной молекулярно-сшитой полимерной сетки) процесс прекращается на третьей стадии. В тех случаях, когда используются реактопластические материалы (на основе эпоксидных, алкидных или полиуретановых систем или их смесей) возникает дополнительная стадия формирования пленки, которая происходит за счет сшивания полимерных частиц, преимущественно за межфазными границами, под влиянием соответствующих отвердителей. При этом важным фактором для образования сплошной пленки является предварительное удаление жидкой воды из системы, что гарантирует отсутствие пустот, заполненных воздухом в готовом покрытии. Системы с дополнительным отверждением, таким образом, обязательно должны быть спроектированы с учетом определенной задержки действия сшивающего отвердителя. Особенностью реактопластических пленкообразователей является тот факт, что они могут использоваться в виде суспензий, то есть получения твердых пленок на их основе будет происходить не путем сливания частиц, а путем создания связей между отдельными твердыми частичками полимера под действием отвердителя. Свойства отвержденных покрытий могут гибко регулироваться за счет использования смешанных пленкообразователей.

В ходе работы установлено, что совмещением дисперсий акрилового и эпоксидного типов удается достичь существенного повышения износостойкости композиций (практически в 2 раза) по сравнению с износостойкостью материалов на акриловой основе. В то же время при содержании эпоксидной дисперсии более 75% эластичность покрытий существенно ухудшается, что недопустимо при использовании на гибких поверхностях (пластиковых и др.). Адгезия покрытий к подложкам различной природы (кроме кирпичной) возрастает с увеличением содержания эпоксидиановой компоненты. Для смешанных систем значение этого показателя выше, чем для отдельно акриловой и эпоксидной эмульсий. Особого внимания заслуживает показатель адгезии к пластикам, что может быть мерой способности материала образовывать покрытие без необходимости полной зачистки уже окрашенной подложки, а также с целью ремонта старых покрытий на основе различных полимеров. Эта способность с увеличением содержания эпоксидной составляющей повышается [15–20].

С точки зрения эксплуатационных свойств, покрытие на основе эпоксидно-акрилового материала может быть более эффективнее,

чем акриловое, использоваться в условиях повышенной влажности, быть более стойкими к влажной уборке и т. п. При введении эпоксидной компоненты повышенная температура размягчения свидетельствует о снижения "липкости" покрытия в летних условиях, что обычно приводит к уменьшению пылеудержания и склонности к контактным деформациям.

С точки зрения эксплуатационных свойств, оптимальными являются: композиция № 3 – пригодна преимущественно для механических нагрузок динамического характера (покрытия полов и др.); № 4 – для статических нагрузок (покрытия подоконников, оконных рам и т. п.).

Заключение

В работе представлены результаты получения износостойких композиционных материалов, себестоимость которых, включая стоимость компонентов, значительно ниже приблизительно до 50% по сравнению с чисто акриловыми композициями. Полученные системы могут служить основой различных лакокрасочных покрытий, наноситься на поверхности различными способами (ручным, пневматическим и безвоздушным) и быть востребованными при покрытии любой подложки (металл, полимер, дерево).

Литература

1 Халецкий В. Водно-дисперсионные лакокрасочные материалы на основе акриловых полимеров для минеральных поверхностей. 2014.

2 Хорохордин А. М., Хорохордина Е. А., Рудаков О. Б. Эпоксидные композиции в строительстве (обзор) // Научный Вестник ВГАСУ. 2017. №. 1. С. 14.

3 Яковлев А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий. Химиздат, 2017. 446 с.

4 Jarray A., Gerbaud V., Hemati M. Polymer-plasticizer compatibility during coating formulation: A multi-scale investigation // Progress in Organic Coatings. 2016. V. 101. P. 195-206. doi: 10.1016/j.porgcoat.2016.08.008

5 Домниченко Р.Г., Вострикова Г.Ю., Никулин С.С. Получение эпоксидно-акриловых водно-дисперсионных покрытий // Химия, физика и механика материалов. 2019. № 3 (22). С. 14–22.

6 Ai D., Mo R., Wang H., Lai Y. et al. Preparation of waterborne epoxy dispersion and its application in 2K waterborne epoxy coatings // Progress in Organic Coatings. 2019. V. 136. P. 105258. doi: 10.1016/j.porgcoat.2019.105258

7 Xu S., Girouard N., Schueneman G., Shofner M.L. et al. Mechanical and thermal properties of waterborne epoxy composites containing cellulose nanocrystals // Polymer. 2013. V. 54. №. 24. P. 6589-6598. doi: 10.1016/j.polymer.2013.10.011

8 ГОСТ 15140–78. Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии (с Изменениями № 1, 2, 3).

9 ГОСТ 6806–73 (СТ СЭВ 2546–80). Материалы лакокрасочные. Метод определения эластичности пленки при изгибе (с Изменениями № 1, 2).

10 ГОСТ 24621–2015 (ISO 868:2003). Пластмассы и эбонит. Определение твердости при вдавливании с помощью дюрометра (твердость по Шору).

11 ГОСТ 20811–75. Материалы лакокрасочные. Методы испытаний покрытий на истирание (с Изменениями № 1, 2, 3).

12 ГОСТ 15088–2014. Пластмассы. Метод определения температуры размягчения термопластов по Вика.

13 Wang Z., Han E., Liu F., Qian Z. et al. Waterborne epoxy nanocoatings modified by nanoemulsions and nanoparticles // Journal of Materials Science & Technology. 2014. V. 30. №. 10. P. 1036-1042. doi: 10.1016/j.jmst.2014.01.004

14 Saldivar-Guerrera E. Handbook of Synthesis, Characterization and Processing of organic Composites. John Wiley and Sons, 2013. 644 p.

15 Вострикова Г.Ю., Никулина Н.С., Дмитренков А.И., Филимонова О.Н. и др. Перспектива применения модифицированной нефтеполимерной смолы для повышения показателей древесных материалов // Промышленное производство и использование эластомеров. 2016. № 4. С. 34–38.

16 Соколов Л.И. Переработка и использование нефтесодержащих отходов. М.: Инфра-Инженерия. 2017. 128 с.

17 Булатов М.А. Комплексная переработка многокомпонентных жидких систем. М.: Мир. 2012. 304 с.

18 Никулина Н.С., Вострикова Г.Ю., Дмитренков А.И., Никулин С.С. Модификация низкомолекулярного сополимера из побочных продуктов производства бутадиенового каучука // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2019. Т. 62. № 1. С. 114–119.

19 Girouard N., Schueneman G.T., Shofner M.L., Meredith J.C. Exploiting colloidal interfaces to increase dispersion, performance, and pot-life in cellulose nanocrystal/waterborne epoxy composites // Polymer. 2015. V. 68. P. 111-121. doi: 10.1016/j.polymer.2015.05.009

20 Никулина Н.С., Никулин С.С. Сополимеризация непредельных соединений, содержащихся в кубовом остатке очистки возвратного растворителя производства полибутадиена в присутствии хлорида алюминия // Промышленное производство и использование эластомеров. 2013. № 4. С. 41–43.

References

1 Khaletskiy V. Water-dispersive paints and varnishes based on acrylic polymers for mineral surfaces. 2014. (in Russian).

2 Horokhordin A.M., Horokhordin E.A., Rudakov O.B. Epoxy compositions in construction (review). Scientific Bulletin of VGASU. 2017. no. 1. pp. 14. (in Russian).

3 Yakovlev A.D. Chemistry and technology of paint and varnish coatings. Khimizdat, 2017. 446 p. (in Russian).

4 Jarray A., Gerbaud V., Hemati M. Polymer-plasticizer compatibility during coating formulation: A multi-scale investigation. Progress in Organic Coatings. 2016. vol. 101. pp. 195-206. doi: 10.1016/j.porgcoat.2016.08.008

5 Domnichenko R.G., Vostrikova G.Yu., Nikulin S.S. Obtaining epoxy-acrylic water-dispersion coatings. Chemistry, physics and mechanics of materials. 2019. no. 3 (22). pp. 14-22. (in Russian).

6 Ai D., Mo R., Wang H., Lai Y. et al. Preparation of waterborne epoxy dispersion and its application in 2K waterborne epoxy coatings. Progress in Organic Coatings. 2019. vol. 136. pp. 105258. doi: 10.1016/j.porgcoat.2019.105258

7 Xu S., Girouard N., Schueneman G., Shofner M.L. et al. Mechanical and thermal properties of waterborne epoxy composites containing cellulose nanocrystals. Polymer. 2013. vol. 54. no. 24. pp. 6589-6598. doi: 10.1016/j.polymer.2013.10.011

8 GOST 15140–78. Paints and varnishes. Methods for determining adhesion (with Amendments No. 1, 2, 3). (in Russian).

9 GOST 6806-73 (ST SEV 2546-80). Paints and varnishes. Method for determining the elasticity of the film in bending (with Amendments No. 1, 2). (in Russian).

10 GOST 24621-2015 (ISO 868: 2003). Plastics and ebonite. Determination of indentation hardness with a durometer (Shore hardness). (in Russian).

11 GOST 20811–75. Paints and varnishes. Abrasion test methods for coatings (with Amendments No. 1, 2, 3). (in Russian).

12 GOST 15088–2014. Plastics. Vicat method for determining the softening temperature of thermoplastics. (in Russian).

13 Wang Z., Han E., Liu F., Qian Z. et al. Waterborne epoxy nanocoatings modified by nanoemulsions and nanoparticles. Journal of Materials Science & Technology. 2014. vol. 30. no. 10. pp. 1036-1042. doi: 10.1016/j.jmst.2014.01.004

14 Saldivar-Guerrera E. Handbook of Synthesis, Characterization and Processing of organic Composites. John Wiley and Sons, 2013. 644 p.

15 Vostrikova G.Yu., Nikulina N.S., Dmitrenkov A.I., Filimonova O.N. et al. Prospects for the use of modified petroleum resin to improve the performance of wood materials. Industrial production and use of elastomers. 2016. no. 4. pp. 34–38. (in Russian).

16 Sokolov L.I. Processing and use of oily waste. Moscow, Infra-Engineering. 2017. 128 p. (in Russian).

17 Bulatov M.A. Complex processing of multicomponent liquid systems. Moscow, Mir. 2012. 304 p. (in Russian).

18 Nikulina N.S., Vostrikova G.Yu., Dmitrenkov A.I., Nikulin S.S. Modification of a low molecular weight copolymer from by-products of butadiene rubber production. Izvestia of higher educational institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology. 2019. vol. 62. no. 1. pp. 114–119. (in Russian).

19 Girouard N., Schueneman G.T., Shofner M.L., Meredith J.C. Exploiting colloidal interfaces to increase dispersion, performance, and pot-life in cellulose nanocrystal/waterborne epoxy composites. Polymer. 2015. vol. 68. pp. 111-121. doi: 10.1016/j.polymer.2015.05.009

20 Nikulina N.S., Nikulin S.S. Copolymerization of unsaturated compounds contained in the distillation residue of the purification of the return solvent of polybutadiene production in the presence of aluminum chloride. Industrial production and the use of elastomers. 2013. no. 4. pp. 41–43. (in Russian).

Сведения об авторах

Раиса Г. Домниченко ст. преподаватель, кафедра товароведения и экспертизы товаров, Луганский государственный университет имени Владимира Даля, кв. Молодежный, 20 А, г. Луганск, 91011, Луганская Народная Республика, raisa-domnichenko@ya.ua

Галина Ю. Вострикова к.х.н., доцент, кафедра химии и химической технологии материалов, Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия, vostr76-08@live.ru

Сергей С. Никулин д.т.н., профессор, кафедра технологии органических соединений и переработки полимеров и техносферной безопасности , Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nikulin_sergey48@mail.ru

Information about authors

Raisa G. Domnichenko senior lecturer, commodity science and examination of goods department, Luhansk State University named after Vladimir Dal, 20A Molodezhny sq., Luhansk, 91011, Luhansk People's Republic, raisa-domnichenko@ya.ua

Galina Yu. Vostrikova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemistry and chemical technology of materials department, Voronezh State Technical University, 84, 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia, vostr76-08@live.ru

Sergey S. Nikulin Dr. Sci. (Engin.), chemistry and chemical technology of materials department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nikulin_sergey48@mail.ru

Вклад авторов

Раиса Г. Домниченко написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат
Галина Ю. Вострикова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты
Сергей С. Никулин консультация в ходе исследования

Contribution

Raisa G. Domnichenko wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Galina Yu. Vostrikova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Sergey S. Nikulin consultation during the study

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest
The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/01/2021 **После редакции** 09/02/2021 **Принята в печать** 02/03/2021

Received 01/06/2019 **Accepted in revised** 10/07/2019 **Accepted** 10/08/2019

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-284-289 Оригинальная статья/Research article
УДК 665.63:66.011 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Повышение эффективности работы колонны частичного отбензинивания нефти

Никита И. Зотов [1] n.z0t@yandex.ru
Сергей В. Попов [1] svpopov2018@ya.ru
Оксана В. Хабибрахманова [1] cathedra_hiht@mail.ru

1 Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия

Аннотация. Рассматривается работа установки первичной переработки нефти. Анализ работы действующей колонны К-1 показал, что имеются заметные колебания режима работы аппарата в летний период и холодное время года, как следствие наблюдалось изменение температуры верха колонны и ухудшение чёткости ректификации фракций. Для исследования способов регулирования параметров отбензинивающей колонны К-1 проведен вычислительный эксперимент с использованием моделирующей системы UniSim Design, в которой сформировали модели аппаратов и в целом модель установки. В качестве математического пакета для расчета термодинамических свойств компонентов смеси использовали метод Peng-Robinson. Сравнивались расчетные показатели работы двух вариантов аппаратурного оформления колонны К-1. По первому варианту моделировали работу колонну К-1, в которой сырьё поступает на 19 тарелку, горячая струя подается в низ колонны на 24 тарелку, нефтяное орошение на 5 тарелку, используется острое орошение и парциальный конденсатор. У данного варианта в промышленных условиях наблюдались нестабильные технологические режимы верха колонны. Для оценки принципиальной возможности изменения аппаратурного оформления колонны К-1 был выбран другой вариант, в котором отсутствуют острое орошение и орошение нефтью, вместе с тем введено верхнее циркуляционное орошение с 5-ой на 1-ую тарелку с охлаждением потока и сохранена технологическая схема формирования и подачи горячей струи. Сравнение фракционных составов отбензиненной нефти показало, что для рассмотренных вариантов наблюдаются практически близкие расчетные оценки, при этом использование верхнего циркуляционного орошения позволяет не только разгрузить верхнюю часть ректификационной колонны от тепловой нагрузки, но и использовать значительный тепловой поток холодильника верхнего циркуляционного орошения для предварительного подогрева нефтяного сырья, что также позволит снизить потребление жидкого топлива для печей.

Ключевые слова: переработка нефти, колонна частичного отбензинивания нефти, энергопотребление, нефть, UniSim Design

Increasing the efficiency of the partial oil removal column

Nikita I. Zotov [1] n.z0t@yandex.ru
Sergey V. Popov [1] svpopov2018@ya.ru
Oksana V. Khabibrakhmanova [1] cathedra_hiht@mail.ru

1 Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia

Abstract. The operation of the primary oil refining unit is considered. An analysis of the operation of the operating column K-1 showed that there are noticeable fluctuations in the operating mode of the apparatus in the summer and cold season, as a result, a change in the temperature of the column top and a deterioration in the clarity of fraction rectification were observed. To study the methods of adjusting the parameters of the K-1 topping column, a computational experiment was carried out using the UniSim Design modeling system, in which the models of the apparatus and the installation model as a whole were formed. The Peng-Robinson method was used as a mathematical package for calculating the thermodynamic properties of the mixture components. Comparison of the calculated performance of the two options for the equipment of the column K-1. According to the first version, the operation of the K-1 column was simulated, in which the raw material enters the 19 tray, the hot stream is fed to the bottom of the column to the 24 tray, oil reflux to the 5 tray, acute irrigation and a partial condenser are used. Unstable technological regimes of the column top were observed in this variant in industrial conditions. To assess the fundamental possibility of changing the hardware design of the K-1 column, another option was chosen, in which there is no acute irrigation and oil irrigation, at the same time, upper circulating irrigation was introduced from the 5th to the 1st tray with cooling the flow and the technological scheme of forming and feeding the hot jet was preserved. Comparison of the fractional compositions of the topped oil showed that for the considered options, there are practically similar calculated estimates, while the use of upper circulating irrigation allows not only to unload the upper part of the distillation column from the heat load, but also to use a significant heat flow of the cooler of the upper circulating irrigation for preheating oil , which will also reduce the consumption of liquid fuel for furnaces.

Keywords: oil refining, oil partial topping tower, energy consumption, oil, UniSim Design

Введение

Технико-экономические показатели нефтеперерабатывающего предприятия во многом определяются эффективностью работы установок первичной переработки нефти, в технологической схеме которых наиболее распространенным вариантом предусматривается предварительное частичное выделение бензиновой фракции в отбензинивающей колонне с последующим фракционированием нефти в основной атмосферной и вакуумной колоннах [1]. Совершенствование технологической схемы и улучшение показателей работы тепло – массообменных аппаратов и оптимизация их конструкционных параметров,

Для цитирования
Зотов Н.И., Попов С.В., Хабибрахманова О.В. Повышение эффективности работы колонны частичного отбензинивания нефти // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 284–289. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-284-289

For citation
Zotov N.I., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V. Increasing the efficiency of the partial oil removal column. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 284–289. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-284-289

© 2021, Зотов Н.И. и др. / Zotov N.I. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

а также вопросы энергосбережения рассматриваются в ряде работ [2, 3].

Цель работы – анализ работы функционирующего узла конденсации и оценка принципиальной возможности использования других способов регулирования параметров отбензинивающей колонны К-1 для достижения стабильной и экономически эффективной работы блока частичного отбензинивания нефти.

Методы

На рисунке 1 показана «типовая» колонна К-1 [4] с входящими и выходящими технологическими потоками. Сырьем установки является нефть различных месторождений или смесь нефти и газового конденсата. Анализ работы действующей колонны К-1 показал, что имеются заметные колебания режима работы аппарата в летний период и холодное время года (рисунок 2), как следствие наблюдалось изменение температуры верха колонны и ухудшение чёткости ректификации фракций. Вероятной причиной отмеченного могло быть отсутствие запаса по мощности конденсационной аппаратуры.

Дальнейшие исследования проводили с использованием моделирующей системы UniSim Design [5], в которой сформировали две модели аппаратов (рисунок 1 и рисунок 3) и в целом модель установки. В качестве математического пакета для расчета термодинамических свойств компонентов смеси использовали метод Peng-Robinson.

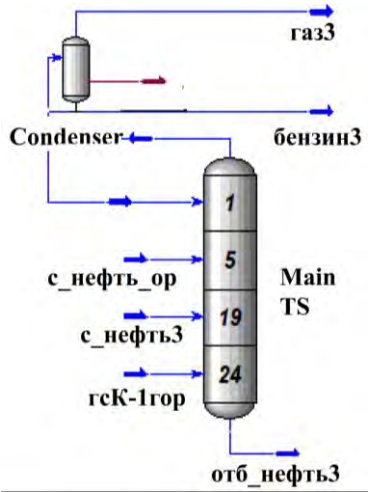


Рисунок 1. Модель колонны К-1 (вариант 1): с_нефть3 – поток сырой нефти на питание колонны; с_нефть_ор – орошение потоком нефти; гсК-1гор – горячая струя; газ3 – газовая фракция; бензин3 – бензиновая фракция; отб_нефть3 – фракция частично отбензиненной нефти; Condenser – парциальный конденсатор (распечатка в среде UniSim Design)

Figure 1. Column model K-1 (option 1)

Оценка адекватности модели выполнялась по технологическим параметрам колонны и анализам фракционного состава сырья и продуктов сравнением расчетных и промышленных данных [6–10]. В состав газовой части сырья входили углеводороды метан, этан, пропан, i-бутан, n-бутан, нефтяная смесь представлена фракциями с температурой конца кипения от 40 до 1124 °С. На рисунке 4 приведен график ИТК разгонки нефти.

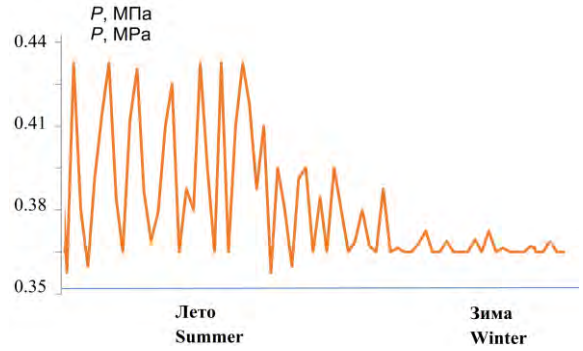


Рисунок 2. График изменения давления верха колонны К-1 (промышленные данные)

Figure 2. Graph of pressure change at the top of column K-1 (industrial data)

По первому варианту моделировали работу колонну К-1, в которой сырьё поступает на 19 тарелку, горячая струя подается в низ колонны на 24 тарелку, нефтяное орошение на 5 тарелку, используется острое орошение и парциальный конденсатор. Как отмечено выше, для данного варианта в промышленных условиях наблюдались нестабильные технологические режимы верха колонны. Для оценки принципиальной возможности изменения аппаратурного оформления колонны К-1 был выбран вариант (рисунок 3), в котором отсутствуют острое орошение и орошение нефтью, вместе с тем введено верхнее циркуляционное орошение (ВЦО1) с 5-ой на 1-ую тарелку с охлаждением потока и сохранена технологическая схема формирования и подачи горячей струи, показанная на рисунке 5. Схема горячей струи содержит отбор из колонны, насос, делитель потоков на поток горячей струи и балансовый остаток (отбензиненная нефть) и печь. Рецикловый поток сформирован в среде UniSim Design с помощью recycle logic.

Результаты и обсуждение

Для моделирования работы колонны К-1 в обоих вариантах использовали режимные технологические параметры промышленной установки: температура верха и низа колонны $T_{верх}$ = 140.5 °С и $T_{низ}$ = 245 °С, давление верха и низа колонны $P_{верх}$ = 3.28 кг/см^2 и $P_{низ}$ = 3.4 кг/см^2, температура сырья $T_{пит}$ = 250 °С, расход сырья $G_{пит} \approx 500$ т/час, поток горячей струи $G_{гс} \approx 320$ т/час. Сходимость расчетных процессов, выполняемых средой моделирования для колонны, получена

по следующим активным спецификациям: температура конца кипения бензиновой фракции ИТК разгонки, выходящей с верха колонны, $T_{кк}$_TBP_100%vol = 180 °C и температура начала кипения уходящей с нижней части аппарата отбензиненной нефти $T_{нк}$_TBP_0%vol = 38 °C. Рассчитанные оценки температур потоков ВЦО1 с 5-ой на 1-ую тарелки составляют 159 и 99 °C соответственно, то есть обеспечивалось охлаждение потока примерно на 60 °C.

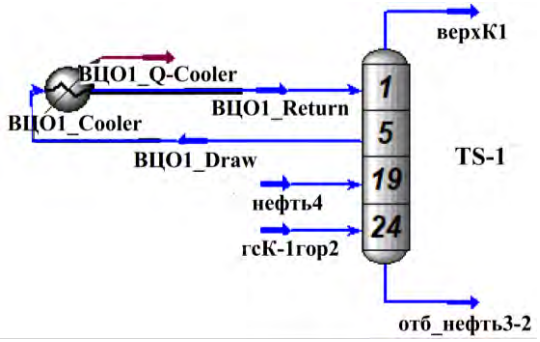


Рисунок 3. Модель колонны К-1 (вариант 2): нефть4 – поток сырой нефти на питание колонны; гсК-1гор2 – горячая струя; верхК1 – газовая плюс бензиновая фракции верха колонны; отб_нефть3–2 – фракция частично отбензиненной нефти; ВЦО1_Draw и ВЦО1_Return – потоки верхнего циркуляционного орошения; ВЦО1_Cooler – холодильник (распечатка в среде UniSim Design)

Figure 3. Column model K-1 (option 2)

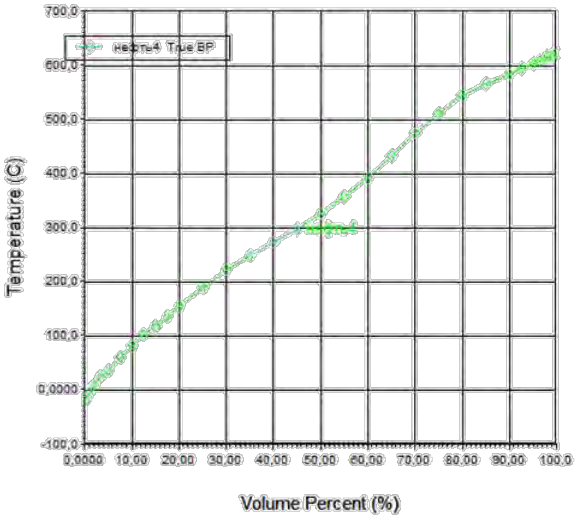


Рисунок 4. ИТК разгонка нефти (распечатка в среде UniSim Design)

Figure 4. TBP oil distillation (printout in the UniSim Design environment)

Для сравнения достигаемых показателей процесса по исследуемым вариантам далее сопоставляли соответствующие полученные расчетные значения [11–20]. На рисунке 6 показан характерный для обоих вариантов температурный профиль по высоте колонны. Видно, что в исчерпывающей части колонны в обоих вариантах наблюдаются практически близкие

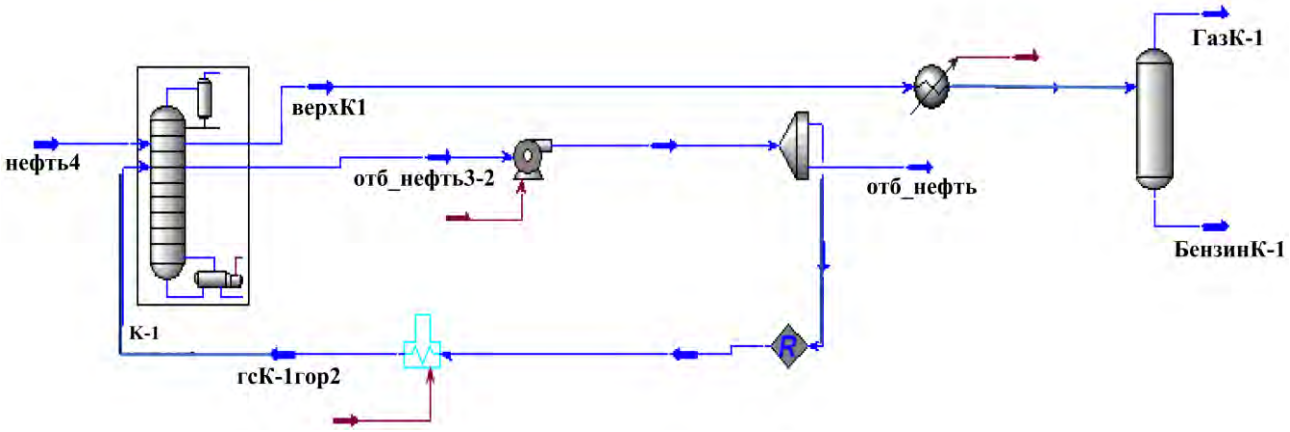
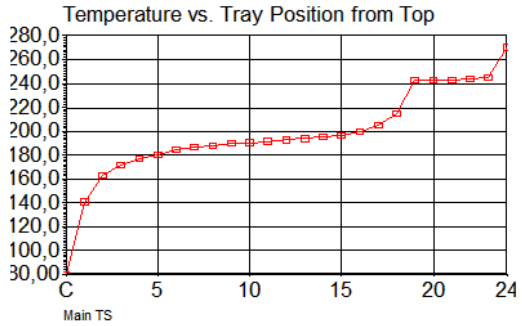


Рисунок 5. Технологическая обвязка колонны К-1 (вариант 2) (UniSim Design)

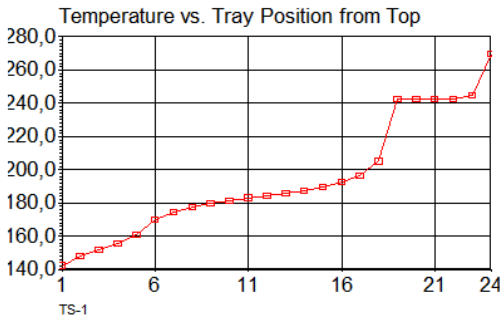
Figure 5. Technological piping of column K-1 (option 2) (UniSim Design)

температуры, в то время как в укрепляющей части оптимальные температурные профили по высоте аппарата заметно различаются, что связано с организацией в рассматриваемых вариантах различающихся орошений.

На рисунке 7 сравниваются фракционные составы потоков частично отбензиненной нефти, наблюдаются практически близкие расчетные оценки.



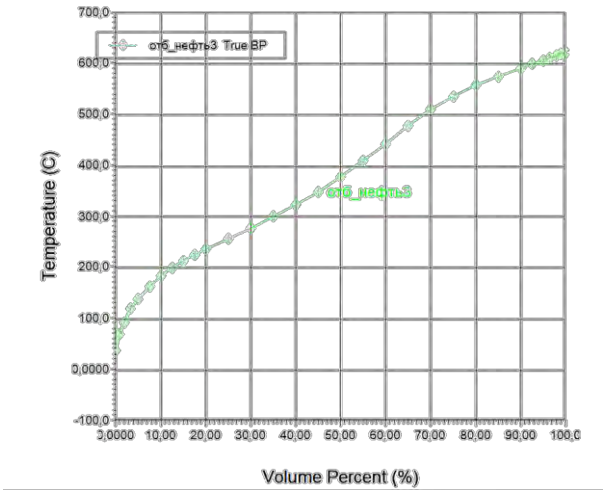
(a)



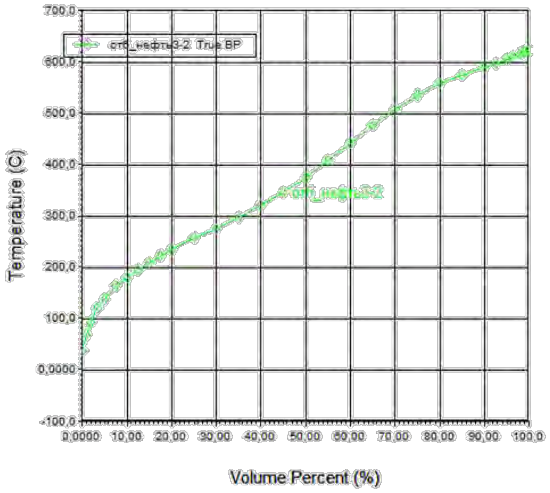
(b)

Рисунок 6. Профиль изменения температуры по высоте колонны К-1: (a) – для варианта 1; (b) – для варианта 2 (UniSim Design)

Figure 6. Temperature change profile for column height K-1: (a) - for option 1; (b) - for option 2 (UniSim Design)



(a)



(b)

Рисунок 7. ИТК разгонка отбензиненной нефти колонны К-1: (a) – для варианта 1; (b) – для варианта 2 (UniSim Design)

Figure 7. TBP distillation of topped oil from column K-1: (a) - for option 1; (b) - for option 2 (UniSim Design)

Заключение

Приведенные результаты показывают, что для организации стабильной работы колонны К-1 возможно использование верхнего циркуляционного орошения, что позволяет не только разгрузить верхнюю часть ректификационной колонны от тепловой нагрузки, но и использовать значительный тепловой поток (ВЦО1_Q-Cooler) для предварительного подогрева нефтяного сырья на блоке ЭЛОУ, что также позволит снизить потребление жидкого топлива для печей.

Литература

1 Волосов И.В., Леденев С.М. Анализ работы установки первичной переработки нефти // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. №. 6-2. С. 217-218.

2 Глаголева О. Ф., Капустин В. М. Повышение эффективности процессов подготовки и переработки нефти (обзор) // Нефтехимия. 2020. Т. 60. №. 6. С. 745-754. doi: 10.31857/S002824212006009X

3 Долгополова В.Л., Кривошеев В.П., Ануфриев А.В. Моделирование установки первичной перегонки нефти в режиме энергосбережения // Молодой ученый. 2016. № 24. С. 59–68.

4 Глаголева О.Ф., Капустин В.М. Физико-химические аспекты технологии первичной переработки нефти (обзор) // Нефтехимия. 2018. Т. 58. №. 1. С. 3-10. doi: 10.7868/S002824211801001X

5 Еренков О.Ю., Богачев А.П., Гречихина Н.А. К вопросу о повышении эффективности процесса первичной переработки нефти //Новые материалы и технологии в машиностроении. 2013. №. 17. С. 116-118.

6 Чуракова С.К., Нестеров И.Д., Богатых К.Ф. Способы снижения энергозатрат на стадии частичного отбензинивания нефти // Химия и технология топлив и масел. 2013. №. 1. С. 6-9.

7 Саяпина Е. С., Сарилов М. Ю. Задачи отбензинивающих колонн при переработке нефти //Научно-техническое творчество аспирантов и студентов. 2017. С. 969-971.

8 Бабкин В.А., Бурюкин Ф.А., Киселёва А.С., Григорьев А.В. и др. Увеличение энергоэффективности в процессе атмосферной перегонки нефти // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2014. Т. 325. №. 3.

9 Власов С.С., Шумихин А.Г. Моделирование процесса отбензинивания нефти при прогнозировании показателей качества бензина // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2012. Т. 1. №. 1.

10 Савченков А.Л., Мозырев А.Г., Маслов А.А. Влияние степени извлечения ключевой фракции на показатели процесса ректификации при отбензинивании нефти // Фундаментальные исследования. 2018. №. 2. С. 34-38.

11 Mamudu O.A., Igwe G.J., Okonkwo E., Okocha S.I. et al. Modular Crude Oil Topping Refinery: The Total Utilization of All Distilled Cuts // Ewemen Journal of Petrochemical Research & Innovation. 2016. V. 1. №. 2.

12 Speight J.G. Heavy and extra-heavy oil upgrading technologies. Gulf Professional Publishing, 2013.

13 Bridge G., Le Billon P. Oil. John Wiley & Sons, 2017.

14 Ulyev L.M., Kapustenko P.O., Melnykovskaya L.A., Nechyporenko D.D. The Precise Definition of the Payload Tube Furnaces for Units of Primary Oil Refining. 2013.

15 Jing L., El-Houjeiri H.M., Monfort J.C., Brandt A.R. et al. Carbon intensity of global crude oil refining and mitigation potential // Nature Climate Change. 2020. V. 10. №. 6. P. 526-532. doi: 10.1038/s41558-020-0775-3

16 Pinheiro Pires A.P., Arauzo J., Fonts I., Domine M.E. et al. Challenges and opportunities for bio-oil refining: A review // Energy & Fuels. 2019. V. 33. №. 6. P. 4683-4720. doi: 10.1021/acs.energyfuels.9b00039

17 Gulyamov S.M., Khojieva N.J., Isakova S. Oxergy analysis of the installation of primary oil refining // Chemical Technology, Control and Management. 2020. V. 2020. №. 5. P. 116-123. doi: 10.34920/2020.5-6.116-122

18 Primo A., Garcia H. Zeolites as catalysts in oil refining // Chemical Society Reviews. 2014. V. 43. №. 22. P. 7548-7561.

19 Ferella F., Innocenzi V., Maggiore F. Oil refining spent catalysts: A review of possible recycling technologies // Resources, Conservation and Recycling. 2016. V. 108. P. 10-20. doi: 10.1016/j.resconrec.2016.01.010

20 Chuzlov V., Nazarova G., Ivanchina E., Ivashkina E. et al. Increasing the economic efficiency of gasoline production: Reducing the quality giveaway and simulation of catalytic cracking and compounding // Fuel Processing Technology. 2019. V. 196. P. 106139. doi: 10.1016/j.fuproc.2019.106139

References

1 Volosov I.V., Ledenev S.M. Analysis of the operation of the primary oil refining unit. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2017. no. 6-2. pp. 217-218. (in Russian).

2 Glagoleva O.F., Kapustin V.M. Increasing the efficiency of oil preparation and processing (review). Neftekhimiya. 2020. vol. 60. no. 6. pp. 745-754. doi: 10.31857/S002824212006009X (in Russian).

3 Dolgopolova V.L., Krivosheev V.P., Anufriev A.V. Modeling of a primary oil distillation unit in the energy saving mode. Young scientist. 2016. no. 24. pp. 59–68. (in Russian).

4 Glagoleva O.F., Kapustin V.M. Physicochemical aspects of the technology of primary oil refining (review). Neftekhimiya. 2018. vol. 58. no. 1. pp. 3-10. doi: 10.7868/S002824211801001X (in Russian).

5 Erenkov O.Yu., Bogachev A.P., Grechikhina N.A. On the issue of increasing the efficiency of the process of primary oil refining. New materials and technologies in mechanical engineering. 2013. no. 17. pp. 116-118. (in Russian).

6 Churakova S.K., Nesterov I.D., Bogatykh K.F. Methods of reducing energy consumption at the stage of partial topping of oil. Chemistry and technology of fuels and oils. 2013. no. 1. pp. 6-9. (in Russian).

7 Sayapina E.S., Sarilov M.Yu. Tasks of topping columns in oil refining. Scientific and technical work of graduate students and students. 2017. pp. 969-971. (in Russian).

8 Babkin V.A., Buryukin F.A., Kiseleva A.S., Grigoriev A.V. and others. Increasing energy efficiency in the process of atmospheric distillation of oil. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources. 2014. vol. 325. no. 3. (in Russian).

9 Vlasov S.S., Shumikhin A.G. Modeling the process of oil topping when predicting the quality indicators of gasoline. Bulletin of the Saratov State Technical University. 2012. vol. 1. no. 1. (in Russian).

10 Savchenkov A.L., Mozyrev A.G., Maslov A.A. Influence of the degree of extraction of the key fraction on the indicators of the rectification process during topping of oil. Fundamental research. 2018. no. 2. pp. 34-38. (in Russian).

11 Mamudu O.A., Igwe G.J., Okonkwo E., Okocha S.I. et al. Modular Crude Oil Topping Refinery: The Total Utilization of All Distilled Cuts. Ewemen Journal of Petrochemical Research & Innovation. 2016. vol. 1. no. 2.

12 Speight J.G. Heavy and extra-heavy oil upgrading technologies. Gulf Professional Publishing, 2013.

13 Bridge G., Le Billon P. Oil. John Wiley & Sons, 2017.

14 Ulyev L.M., Kapustenko P.O., Melnykovskaya L.A., Nechyporenko D.D. The Precise Definition of the Payload Tube Furnaces for Units of Primary Oil Refining. 2013.

15 Jing L., El-Houjeiri H.M., Monfort J.C., Brandt A.R. et al. Carbon intensity of global crude oil refining and mitigation potential. Nature Climate Change. 2020. vol. 10. no. 6. pp. 526-532. doi: 10.1038/s41558-020-0775-3

16 Pinheiro Pires A.P., Arauzo J., Fonts I., Domine M.E. et al. Challenges and opportunities for bio-oil refining: A review. Energy & Fuels. 2019. vol. 33. no. 6. pp. 4683-4720. doi: 10.1021/acs.energyfuels.9b00039

17 Gulyamov S.M., Khojieva N.J., Isakova S. Oxergy analysis of the installation of primary oil refining. Chemical Technology, Control and Management. 2020. vol. 2020. no. 5. pp. 116-123. doi: 10.34920/2020.5-6.116-122

18 Primo A., Garcia H. Zeolites as catalysts in oil refining. Chemical Society Reviews. 2014. vol. 43. no. 22. pp. 7548-7561.

19 Ferella F., Innocenzi V., Maggiore F. Oil refining spent catalysts: A review of possible recycling technologies. Resources, Conservation and Recycling. 2016. vol. 108. pp. 10-20. doi: 10.1016/j.resconrec.2016.01.010

20 Chuzlov V., Nazarova G., Ivanchina E., Ivashkina E. et al. Increasing the economic efficiency of gasoline production: Reducing the quality giveaway and simulation of catalytic cracking and compounding. Fuel Processing Technology. 2019. vol. 196. pp. 106139. doi: 10.1016/j.fuproc.2019.106139

Сведения об авторах

Никита И. Зотов магистрант, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, n.z0t@yandex.ru

Сергей В. Попов к.т.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, svpopov2018@ya.ru

Оксана В. Хабибрахманова к.х.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, cathedra_hiht@mail.ru

Information about authors

Nikita I. Zotov master student, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, n.z0t@yandex.ru

Sergey V. Popov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.ru

Oksana V. Khabibrakhmanova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, cathedra_hiht@mail.ru

Вклад авторов

Никита И. Зотов обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент

Сергей В. Попов разработал модели и провел вычислительный эксперимент

Оксана В. Хабибрахманова консультация в ходе исследования

Contribution

Nikita I. Zotov review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment

Sergey V. Popov developed models and conducted a computational experiment

Oksana V. Khabibrakhmanova consultation during the study

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/01/2021	**После редакции** 17/02/2021	**Принята в печать** 03/03/2021

Received 18/01/2021	**Accepted in revised** 17/02/2021	**Accepted** 03/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-290-296 Оригинальная статья/Research article
УДК 64 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Исследование свойств бромированной фталатсодержащей системы и определение областей ее применения

Раиса Н. Плотникова [1] yy@vsuet.ru 0000-0001-9559-4443
1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Изучена структура многокомпонентной системы, включающей сложные эфиры фталевой кислоты, с помощью методов инфракрасной спектроскопии и протонного магнитного резонанса. Проведен анализ полученных спектрограмм, свидетельствующий о наличии пиков, соответствующих определенным радикалам, присутствующим в предполагаемой структуре основных органических соединений многокомпонентной системы. Установлено наличие атомов брома в радикалах молекул, входящих в состав фталатсодержащей системы. Показана структура молекул базовой составляющей бромированной системы. Спектральными исследованиями подтверждена классическая модель присоединения брома по месту двойных углерод-углеродных связей в радикале фталата. Установлено, что бромированная многокомпонентная физико-химическая система представлена в большей степени сложными эфирами о-фталевой кислоты. Расчетным методом установлен параметр растворимости исследуемой системы. Экспериментально подтвержден для бромированной фталатсодержащей системы параметр растворимости. Показано, что формула Смолла, используемая для расчета показателей индивидуальных веществ, может быть применена для оценки параметров сложных многокомпонентных систем. Определены полимерные материалы с минимальными значениями отклонений по параметру растворимости с исследуемой системой, для которых он составляет ~±1.5. Установлено, что исследуемая система может быть использована в качестве эффективного пластификатора полибутилакрилата, полиизопрена, поливинилхлорида, поливинилацетата.

Ключевые слова: свойства фталатов, ИК-спектроскопия, ПМР-спектроскопия, совместимость полимеров, пластификатор

Investigation of the properties of the brominated phthalate-containing system and determination of its application areas

Raisa N. Plotnikova [1] yy@vsuet.ru 0000-0001-9559-4443
1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The structure of a multicomponent system including phthalic acid esters has been studied using the methods of infrared spectroscopy and proton magnetic resonance. The obtained spectrograms are analyzed, indicating the presence of peaks corresponding to certain radicals present in the assumed structure of the main organic compounds of the multicomponent system. The presence of bromine atoms in the radicals of the molecules that make up the phthalate-containing system is established. The structure of the molecules of the basic component of the brominated system is shown. Spectral studies have confirmed the classical model of bromine addition at the site of double carbon-carbon bonds in the phthalate radical. It is established that the brominated multicomponent physico-chemical system is represented to a greater extent by esters of o-phthalic acid. The solubility parameter of the system under study is determined by the calculation method. The solubility parameter 35.3 (kJ/m3)0.5 was experimentally confirmed for a brominated phthalate-containing system. It is shown that the Small formula used to calculate the parameters of individual substances can be used to estimate the parameters of complex multicomponent systems. Polymer materials with the minimum values of deviations in the solubility parameter with the system under study, for which ~±1.5, are determined. It is established that the system under study can be used as an effective plasticizer of polybutyl acrylate, polyisoprene, polyvinyl chloride, and polyvinyl acetate.

Keywords: properties of phthalates, infrared spectroscopy, PMR spectroscopy, the compatibility of the polymers, plasticizer

Введение

Фталатсодержащие системы, содержащие диэтилгексилфталаты и диэтилгексенфталаты (система ДЭГФ), получили широкое распространение в различных областях промышленного производства [1]. Известно использование фталатсодержащих систем с непредельностью в радикале в качестве сырья для получения их бромированных аналогов (система БДЭГФ). Любая вновь получаемая модификация известных фталатсодержащих систем не должна исключать привычные области применения, напротив, расширять их и повышать эффективность использования. Поэтому при бромировании непредельных фталатсодержащих систем свободным бромом нельзя допускать резкого изменения состава исходного сырья и молекулярной структуры его компонентов.

Основные изменения по логике исследования должны состоять в образовании изомерных эфиров о-фталевой кислоты вследствие присоединения брома по двойным углерод-углеродным связям [2].

Методы

Установление структуры органических соединений, в том числе идентификация отдельных компонентов многокомпонентной смеси является длительной и трудоемкой работой [3–6], требующей специального приборного обеспечения. Для определения состава многокомпонентной смеси и подтверждения предполагаемой структуры, входящих в нее органических соединений, образцы исходных и бромированных фталатсодержащих систем подвергали ИК- и ПМР-спектроскопическим исследованиям по установленным методикам.

Для цитирования

Плотникова Р.Н. Исследование свойств бромированной фталатсодержащей системы и определение областей ее применения // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 290–296. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-290-296

For citation

Plotnikova R.N. Investigation of the properties of the brominated phthalate-containing system and determination of its application areas. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 290–296. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-290-296

© 2021, Плотникова Р.Н. / Plotnikova R.N.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Исследования были проведены на спектрометре ИКС-29 в области 3900–400 $см^{-1}$.

Анализ бромированной фталатсодержащей системы БДЭГФ по определению массовой доли брома проводили по разработанной методике, основанной на «методе Степанова» для определения галогенов в органических соединениях [7]. Образец БДЭГФ массой 0,2–0,4 г растворяли в 25 $см^3$ н-бутанола, добавляли 0,2–0,4 г металлического натрия и кипятили в течение 0,5–1,0 ч в колбе с обратным холодильником. После остывания к содержимому колбы добавляли 10–25 $см^3$ раствора нитрата серебра с содержанием основного компонента 0,1 моль/$дм^3$ (объем раствора нитрата серебра зависит от предполагаемой массовой доли брома), 2–4 $см^3$ раствора азотной кислоты с концентрацией 6 моль/$дм^3$, встряхивали в течение 1 мин, добавляли 1–1,5 $см^3$ индикатора железо-аммонийных квасцов и титровали роданидом аммония с концентрацией 0,1 моль/$дм^3$ до появления слабого оранжевого окрашивания.

Массовую долю брома (%) рассчитывали по формуле:

$$C_{Br} = \frac{\left(V_{AgNO_3} - V_{NH_4SCN}\right)0,8}{g},$$

где V_{AgNO_3} – объем нитрата серебра (0,1 моль/$дм^3$), $см^3$, взятого для анализа; V_{NH_4SCN} – объем роданида аммония (0,1 моль/$дм^3$), $см^3$, поглощенного при титровании; g – навеска бромированного образца, г; 0,008 • 100% – эквивалент брома, соответствующий 1 $см^3$ нитрата серебра.

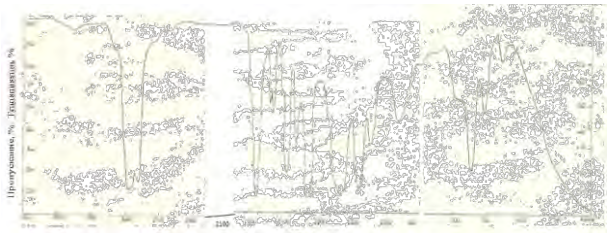


Рисунок 1. ИК-спектр непредельной системы

Figure 1. IR spectrum of an unsaturated system

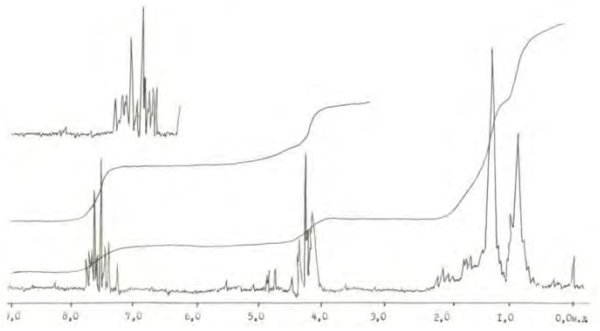


Рисунок 3. ПМР-спектр непредельной системы

Figure 3. PMR spectrum of an unsaturated system

Для определения возможных областей применения бромированная фталатсодержащая система БДЭГФ была оценена в соответствии с ГОСТ 8728–77 «Пластификаторы» [8].

Результаты и обсуждение

В ИК-спектрах образцов ДЭГФ и БДЭГФ, снятых на спектрометре ИКС-29 в области 3900–400 $см^{-1}$, проявляются полосы поглощения, характерные для сложных эфиров (1250–1740 $см^{-1}$) фталевой кислоты (дуплет 1580–1600 $см^{-1}$). Спектры исходного ДЭГФ и бромированного БДЭГФ представлены на рисунки 1–2. В исходном ДЭГФ непредельность выходит при частоте 965 $см^{-1}$, характеризующей транс-положение. При бромировании БДЭГФ полоса 965 $см^{-1}$ исчезает, одновременно появляется полоса 570 $см^{-1}$, характеризующая связь C-Br в аксиальном положении [9], что дает право считать, что присоединение брома происходит по месту двойной углерод-углеродной связи в радикале.

Более детально о структуре органического соединения можно судить по результатам исследований с применением ПМР-спектроскопии [9–11]. Для выявления эффекта бромирования проведены более глубокие аналитические исследования, выполненные с применением метода ПМР-спектроскопии. ПМР-спектры, соответствующие фталатсодержащим системам ДЭГФ и БДЭГФ приведены на рисунках 3–4.

Отнесения сигналов представлены в таблице 1.

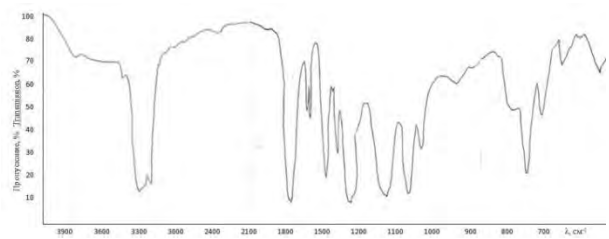


Рисунок 2. ИК-спектр бромированной системы

Figure 2. IR spectrum of the brominated system

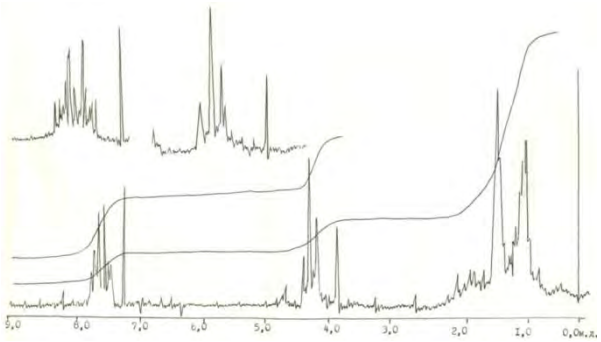


Рисунок 4. ПМР-спектр бромированной системы

Figure 4. PMR spectrum of the brominated system

Таблица 1.

Отнесение сигналов в ПМР-спектрах ДЭГФ и БДЭГФ

Table 1.

The assignment of signals in the PMR spectra of DEHP and BDEHP

Химические сдвиги сигналов образцов The chemical shifts of the signals of samples		Обозначения сигналов Designation of signals	Спектральная группа Spectral group
ДЭГФ DEHP	БДЭГФ BDEHP		
0,90 – 1,05	0,90 – 1,05	H_1	CH_3
1,30	1,30	H_2	CH_2
1,60; 1,65	1,60; 1,65	H_3	CH
4,20; 4,30; 4,40	4,20; 4,30; 4,40	H_4	-O-CH_2-
4,70; 4,85	-	H_5	CH = CH
-	4,75	H_6	CHBr-CHBr
7,60; 7,70	7,60; 7,70	H_7	Протоны ароматические The aromatic protons

Обе фталатсодержащие системы имеют в основном общие сигналы протонного магнитного резонанса, за исключением области химических сдвигов 4–5 м. д. При этом отнесение сигналов к различным спектральным группам должно соответствовать следующему распределению, м. д.: 0–3,0 – протоны групп CH, CH_2, CH_3; 3,0–4,5 – протоны групп CH, CH_2, CH_3 рядом с атомом кислорода; 4,5–6,5 – протоны при ненасыщенных С-атомах (алкены); 6,5–8,5 – протоны при ненасыщенных С-атомах (бензол, другие ароматические соединения); 8,5–10,5 – протоны при ненасыщенных С-атомах, связанных с кислородом (альдегиды) [5].

Общие сигналы в спектрах образцов соответствуют протонам метиленовых, метильных и метиновых групп (H_1 – H_3), а также метильных групп, непосредственно связанных с кислородом – H_4 в сложноэфирной группировке и ароматическим – H_7 – в дизамещенно бензольном кольце.

ПМР-спектр системы ДЭГФ содержит, кроме того, сигналы H_6, соответствующие протонам при двойной углерод-углеродной связи, пропадающие в ПМР-спектре образца системы БДЭГФ. Это можно объяснить присоединением брома по месту двойной углерод-углеродной связи. Присутствие протонов, соседних с бромом, подтверждается наличием в ПМР-спектре системы БДЭГФ нового сигнала 4,75 м. д., отсутствующего в спектре образца системы ДЭГФ.

На этом основании можно сделать вывод о протекании реакции бромирования непредельного диэтилгексилфталата по месту двойной углерод-углеродной связи.

Метод ПМР-спектроскопии позволил идентифицировать только 2-этлгексил-3,4-дибром-2-этилгексилфталат. Его изомер 2-этилгексил-2,3-дибром-2-этилгексилфталат можно идентифицировать только методом ЯМР-спектроскопии на C_{13} – изотопах углерода [13], что не представилось возможным в рамках эксперимента. Однако о наличии последнего изомера в системе БДЭГФ можно судить по полному исчезновению в ней непредельных соединений, учитывая при этом, что в состав исходной системы ДЭГФ входит 2-этилгексил-2-этил-3ен-фталат и 2-этилгексил-2-этил-2ен-фталат. Спектроскопическими исследованиями никаких дополнительных изменений состава исходной системы ДЭГФ не обнаружено. Следовательно, в результате бромирования исходной системы ДЭГФ получен продукт, в состав которого входят эфиры, соответствующие структурным формулам:

$$\begin{array}{l} COOCH_2\ CH(C_2H_5)\ (CH_2)_3\ CH_3 \\ / \\ C_6H_4 \\ \backslash \\ COOCH_2\ C(C_2H_5)CHBr\ CHBr\ CH_2\ CH_3 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} COOCH_2\ CH(C_2H_5)\ (CH_2)_3\ CH_3 \\ / \\ C_6H_4 \\ \backslash \\ COOCH_2\ C(C_2H_5)Br\ CHBr\ (CH2)_2\ CH_3 \end{array}$$

Приведенные структурные формулы отвечают всем структурным группам, указанным в таблице 1 отнесения сигналов в ПМР-спектрах фталатсодержащих систем и данными ИКС-спектроскопии указанных образцов.

Полученный результат имеет значение для обоснования классической модели бромирования.

Состав бромированной фталатсодержащей системы рассчитан на основе химического анализа, по определению содержания массовой доли брома, таблица 2.

Характеристики физико-химических показателей БДЭГФ приведены в таблице 3.

Таблица 2.

Состав бромированной фталатсодержащей системы

Table 2.

Composition of the brominated phthalate-containing system

Компонент| Component	Массовая доля,%| Mass fraction,%
Ди-2-этилгексилфталат| Di-2-ethylhexyl phthalate	19,3 – 74,6
2-этигексил-2-этил-дибром-гексилфталат| 2-ethyhexyl-2-ethyl-dibromo-hexyl phthalate	20,3 – 75,7
Дибутилфталат| Dibutyl phthalate	1,4 – 2,5
Примеси| Impurities	1,4 – 2,5

Таблица 3.

Физико-химические показатели системы БДЭГФ

Table 3.

Physical and chemical parameters of the BDEGP system

Наименование показателя| Indicators name	Единица измерения Unit of measurement	Величина показателя Indicators value
Плотность при 293 К | Density at 293 K	кг/м^3| kg / m^3	1,06 – 1,28
Цветность по иодометрической шкале Chromaticity according to iodometric scale	-	50 – 100
Показатель преломления при 298 К | Refractive index at 298 K	-	1,494 – 1,497
Динамическая вязкость при 298 К | Dynamic viscosity at 298 K	-	75 – 95
Температура кипения | Boiling point	К	503 – 527 (при 0,66 кПа) (at 0,66 kPa)
Температура застывания | Solidification temperature	К	243 – 245
Температура воспламенения | Ignition temperature	К	≥493
Температура вспышки | Flash point	К	≥443
Массовая доля летучих веществ при 373 К за 6 часов Mass fraction of volatiles at 373 K in 6 hours	%	0,2 – 0,5
Кислотное число | Acid number	мг КОН/г | mg KOH/g	≤0,3
Число омыления | Saponification number	мг КОН/г| mg KOH/g	280 – 290
Иодное число | Iodine number	г I_2/100 г.| g I_2/100 g	≤5
Массовая доля брома | Mass fraction of bromine	%	10 – 30
Удельное объемное сопротивление | Specific volumetric resistance	ом • см| ohm • cm	2 • 10^9

Как видно из таблицы 3, массовая доля бромированного компонента в БДЭГФ изменяется в широких пределах при колебании массовой доли брома в пределах 10–30%. Следовательно, свойства бромированной системы могут заметно изменяться, что важно знать при использовании этой системы в производстве в качестве пластификатора.

Важным показателем, позволяющим определить область применения бромированной фталатсодержащей системы в качестве пластификатора полимерных материалов, является параметр растворимости, лежащий в основе теории совместимости органических систем [14].

Значения параметров растворимости соединений, входящих в БДЭГФ, рассчитанные по уравнению Смолла:

$$\delta = \frac{\sum Q}{\vartheta} = \frac{d \sum Q}{M},$$

где $\sum Q$ – сумма констант притяжения отдельных групп; d – плотность вещества; M – молекулярная масса элементарного звена; ϑ – мольный объем, и параметров растворимости некоторых полимеров [15–20] приведены в таблице 4. Экспериментально определенный для бромированной фталатсодержащей системы параметр растворимости $\delta = 35{,}3$ $(кДж/м^3)^{0,5}$. Этому результату соответствует значение δ и для компонентов БДЭГФ. Следовательно, можно утверждать, что формула Смолла, в основном применяемая для индивидуального вещества, дает удовлетворительные результаты для сложных многокомпонентных систем.

Практически этим определяется область и условия применения бромированной многокомпонентной системы и условия применения БДЭГФ как пластификатора полимерных материалов.

Следует отметить, что обеспечить условие совместимости компонентов в виде $\delta_1 \approx \delta_2$ достаточно сложно. Поэтому следует выявить допустимые расхождения между δ_1 и δ_2, при которых созданная при смешении система будет гомогенна и устойчива.

Таблица 4.

Параметры растворимости бромированной системы и некоторых полимерных соединений

Table 4.

Solubility parameters of the brominated system and some polymer compounds

Соединение | Compound	Параметр растворимости, (кДж/м^3)^{0,5} Solubility parameter, (kJ/m^3)^{0,5}
Ди-2-этлгексилфталат | Di-2-ethylhexyl phthalate	35,03*
2-этилгексил-2-этил-3,4-дибромгексилфталат 2-ethylhexyl-2-ethyl-3,4-dibromohexyl phthalate	36,16*
2-этилгексил-2-этил-2,3-дибромгексилфталат 2-ethylhexyl-2-ethyl-2,3-dibromohexyl phthalate	35,41*
Полибутилакрилат | Polybutylacrylate	36,54
Полиизопрен | Polyisoprene	34,44
Полистирол | Polystyrene	35,70
Поливинилхлорид | Polyvinyl Chloride	39,48
Поливинилацетат | Polyvinyl Acetate	39,48
Диацетат целлюлозы | Cellulose Diacetate	43,68
Нитроцеллюлоза | Nitrocellulose	44,10
Этилцеллюлоза | Ethyl cellulose	41,16
Ацетилцеллюлоза | The acetate	46,62
*Значение параметра растворимости рассчитаны по уравнению Смолла. Они позволяют сделать достаточно определенные выводы о возможности создания термодинамически устойчивой физико-химической системы, включающей полимер и бромированную систему БДЭГФ	

Предельное значение $\Delta\delta = (\delta_1 - \delta_2) \approx \mp 1{,}5$. Исходя из этого планируемая к использованию в качестве пластификатора бромированная система по данным таблицы 4 будет совмещаться с полибутилакрилатом, полиизопреном, поливиниацетатом. С эфирами целлюлозы такой эффект при 298 К невозможен. Однако его можно достичь при изменении условий, определяющих совместимость.

Так потенциал Z смешения можно изменить за счет члена $T\Delta S$ увеличением температуры. При этом можно при необходимости в системе увеличить массовую долю пластификатора, что соответственно приведет к увеличению ΔS. Нами проанализирован и другой путь обеспечения совместимости, в рамках которого полимеры, обладающие повышенным параметром совместимости, предварительно растворить в подходящем промышленном низкомолекулярном растворителе, способном растворять и компоненты БДЭГФ. В этом случае получаем новую термодинамическую систему с более низкой энергией когезии, в которую затем можно ввести систему БДЭГФ без предварительного нагрева.

После сушки полученной композиции низкомолекулярный растворитель удаляется, а система приобретает низкую величину свободной энергии.

Заключение

Бромированная многокомпонентная физико-химическая система, представленная в большей степени сложными эфирами о-фталевой кислоты, может быть использована в качестве эффективного пластификатора полибутилакрилата, полиизопрена, поливинилхлорида, поливинилацетата, образуя со всеми гомогенную термодинамическую систему. Для пластификации эфиров целлюлозы с помощью исследуемой многокомпонентной системы необходимо повышать температуру смешения. Кроме того, полученный пластификатор предпочтительно вводить в раствор полимера в обычном низкомолекулярном растворителе.

Литература

1 Плотникова Р.Н. Исследование процесса нейтрализации бромсодержащих систем фталатного типа // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 4. С. 236–241. doi: 10.20914/2310–1202–2020–4–236–241

2 Искендерова С.А., Садиева Н.Ф., Эфендиева Л.М., Асадова Ш.Н. и др. Новые пластификаторы для эфиров целлюлозы // Пластические массы. 2020. № 1–2. С. 15–16.

3 Shelke M.E. Synthesis and evaluation of newly1-substituted-(2H) – 2-thio-4-(3-substitutedthiocarbamido-1-yl) – 6-(2-imino-4-thio-5 – substitutedbiureto-1-yl) 1, 2-dihydro-S-triazines as potent antimicrobial agents // GSC Biological and Pharmaceutical Sciences. 2020. V. *13*(3). P. 109–112. doi: 10.30574/gscbps.2020.13.3.0245

4 Хрипач Н., Барановский А. Применение спектроскопии в органической химии // Наука и инновации. 2013. № 3 (121). С. 6–9.

5 Elena A., Gozescu I., Dabici A., Sfirloaga P. et al. Organic Compounds FT-IR Spectroscopy // In Macro To Nano Spectroscopy. InTech. 2012. doi: 10.5772/50183

6 Ouhaddouch H., Cheikh A., Idrissi M.O.B., Draoui M. et al. FT-IR spectroscopy applied for identification of a mineral drug substance in drug products: Application to bentonite // Journal of Spectroscopy. 2019. doi: 10.1155/2019/2960845

7 Ермаков С.Н., Кравченко Т.П. Совместимость полимеров. Термодинамические и химические аспекты // Пластические массы. 2012. №. 4. С. 32-39.

8 ГОСТ 8728–88. Пластификаторы. Технические условия.

9 Казицина Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ-, ИК-, ЯМР-спектроскопии в органической химии. М.: Книга по Требованию, 2012. 262 с.

10 Máquina A.D.V., Sitoe B.V., Santana F.B. de, Santos D.Q. et al. Determination of Adulteration of the B10 Blend of Diesel and Crambe Biodiesel Using Proton Nuclear Magnetic Resonance (III NMR) Spectroscopy with a Data Driven Soft Independent Modeling of Class Analogy (DD-SIMCA) Model // Analytical Letters. 2020. doi: 10.1080/00032719.2020.1782928

11 Hardinger S. Proton Nuclear Magnetic Resonance (III-NMR) Spectroscopy // University of California, Los Angeles. 2015. P. 1–10.

12 Maul S., Giegling I., Rujescu D. Proton Magnetic Resonance Spectroscopy in Common Dementias—Current Status and Perspectives // Frontiers in Psychiatry. 2020. V. 11. P. 769. doi: 10.3389/fpsyt.2020.00769

13 Boughendjioua H., Boughendjioua Z. Fourier transformed infrared spectroscopy analysis of constituents of Rosmarinus officinalis L. essential oil from Algeria // Inorganic materials. 2017. V. 14. P. 15. doi: 10.11648/j.ajop.20170503.12

14 Lee B., Yoo J., Kang K. Predicting the chemical reactivity of organic materials using a machine-learning approach // Chemical Science. 2020. V. 11. №. 30. P. 7813-7822. doi: 10.1039/d0sc01328e

15 Воронина Ю.К., Домбров В.А., Кондакова Н.Н., Лотменцев. Ю.М. Термодинамическая совместимость каучуков различной полярности с 1,1’ – бис(диметилсилил)ферроценом // Успехи в химии и химической технологии. 2014. V. 28. №. 2 (151).

16 Habib S., Fayyed E., Shakoor R.A., Kahraman R. et al. Improved self-healing performance of polymeric nanocomposites reinforced with talc nanoparticles (TNPs) and urea-formaldehyde microcapsules (UFMCs) // Arabian Journal of Chemistry. 2021. V. 14. №. 2. P. 102926. doi: 10.1016/j.arabjc.2020.102926

17 Bhat S.A., Zafar F., Mirza A.U., Mondal A.H. et al. NiO nanoparticle doped-PVA-MF polymer nanocomposites: Preparation, Congo red dye adsorption and antibacterial activity // Arabian Journal of Chemistry. 2020. V. 13. №. 6. P. 5724-5739. doi: 10.1016/j.arabjc.2020.04.011

18 Vanyorek L., Sikora E., Balogh T., Román K. et al. Nanotubes as polymer composite reinforcing additive materials–A comparative study // Arabian Journal of Chemistry. 2020. V. 13. №. 2. P. 3775-3782. doi: 10.1016/j.arabjc.2019.01.001

19 Kamoun E.A., Chen X., Eldin M.S.M., Kenawy E.R.S. et al. Crosslinked poly (vinyl alcohol) hydrogels for wound dressing applications: A review of remarkably blended polymers // Arabian Journal of chemistry. 2015. V. 8. №. 1. P. 1-14. doi: 10.1016/j.arabjc.2014.07.005

20 Said F.F., Ali B.F., Richeson D.S., Korobkov I. et al. Supramolecular structure of bis (N, N′, N ″-triisopropylguanidinium) phthalate // Arabian Journal of Chemistry. 2017. V. 10. P. S95-S99. doi: 10.1016/j.arabjc.2012.06.012

References

1 Plotnikova R.N. Investigation of the process of neutralization of bromine-containing phthalate-type systems. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 4. pp. 236–241. doi: 10.20914 / 2310–1202–2020–4–236–241 (in Russian).

2 Iskenderova S.A., Sadieva N.F., Efendieva L.M., Asadova Sh.N. et al. New plasticizers for cellulose ethers. Plastics. 2020. no. 1–2. pp. 15-16. (in Russian).

3 Shelke M.E. Synthesis and evaluation of newly1 substituted-(2H) – 2 thio 4-(3 substitutedthiocarbamido 1 yl) – 6-(2 imino 4 thio 5 – substitutedbiureto 1 yl) 1, 2 dihydro-S-triazines as potent antimicrobial agents. GSC Biological and Pharmaceutical Sciences. 2020. vol. 13(3). pp. 109–112. doi: 10.30574/gscbps.2020.13.3.0245

4 Khripach N., Baranovskiy A. Application of spectroscopy in organic chemistry. Science and innovations. 2013. no. 3 (121). pp. 6-9. (in Russian).

5 Elena A., Gozescu I., Dabici A., Sfirloaga P. et al. Organic Compounds FT-IR Spectroscopy. In Macro To Nano Spectroscopy. InTech. 2012. doi: 10.5772/50183

6 Ouhaddouch H., Cheikh A., Idrissi M.O.B., Draoui M. et al. FT-IR spectroscopy applied for identification of a mineral drug substance in drug products: Application to bentonite. Journal of Spectroscopy. 2019. doi: 10.1155/2019/2960845

7 Ermakov S.N., Kravchenko T.P. Polymer compatibility. Thermodynamic and chemical aspects. Plastics. 2012. no. 4. pp. 32-39. (in Russian).

8 GOST 8728–88. Plasticizers. Technical conditions. (in Russian).

9 Kazitsina L.A., Kupletskaya N.B. Application of UV, IR, NMR spectroscopy in organic chemistry. Moscow, Book on Demand, 2012. 262 p. (in Russian).

10 Máquina A.D.V., Sitoe B.V., Santana F.B. de, Santos D.Q. et al. Determination of Adulteration of the B10 Blend of Diesel and Crambe Biodiesel Using Proton Nuclear Magnetic Resonance (III NMR) Spectroscopy with a Data Driven Soft Independent Modeling of Class Analogy (DD-SIMCA) Model. Analytical Letters. 2020. doi: 10.1080/00032719.2020.1782928

11 Hardinger S. Proton Nuclear Magnetic Resonance (III-NMR) Spectroscopy. University of California, Los Angeles. 2015. pp. 1–10.

12 Maul S., Giegling I., Rujescu D. Proton Magnetic Resonance Spectroscopy in Common Dementias—Current Status and Perspectives. Frontiers in Psychiatry. 2020. vol. 11. pp. 769. doi: 10.3389/fpsyt.2020.00769

13 Boughendjioua H., Boughendjioua Z. Fourier transformed infrared spectroscopy analysis of constituents of Rosmarinus officinalis L. essential oil from Algeria. Inorganic materials. 2017. vol. 14. pp. 15. doi: 10.11648/j.ajop.20170503.12

14 Lee B., Yoo J., Kang K. Predicting the chemical reactivity of organic materials using a machine-learning approach. Chemical Science. 2020. vol. 11. no. 30. pp. 7813-7822. doi: 10.1039/d0sc01328e

15 Voronina Yu.K., Dombrov V.A., Kondakova N.N., Lotmentsev. Yu.M. Thermodynamic compatibility of rubbers of different polarity with 1,1'-bis (dimethylsilyl) ferrocene. Advances in chemistry and chemical technology. 2014. vol. 28. no. 2 (151). (in Russian).

16 Habib S., Fayyed E., Shakoor R.A., Kahraman R. et al. Improved self-healing performance of polymeric nanocomposites reinforced with talc nanoparticles (TNPs) and urea-formaldehyde microcapsules (UFMCs). Arabian Journal of Chemistry. 2021. vol. 14. no. 2. pp. 102926. doi: 10.1016/j.arabjc.2020.102926

17 Bhat S.A., Zafar F., Mirza A.U., Mondal A.H. et al. NiO nanoparticle doped-PVA-MF polymer nanocomposites: Preparation, Congo red dye adsorption and antibacterial activity. Arabian Journal of Chemistry. 2020. vol. 13. no. 6. pp. 5724-5739. doi: 10.1016/j.arabjc.2020.04.011

18 Vanyorek L., Sikora E., Balogh T., Román K. et al. Nanotubes as polymer composite reinforcing additive materials–A comparative study. Arabian Journal of Chemistry. 2020. vol. 13. no. 2. pp. 3775-3782. doi: 10.1016/j.arabjc.2019.01.001

19 Kamoun E.A., Chen X., Eldin M.S.M., Kenawy E.R.S. et al. Crosslinked poly (vinyl alcohol) hydrogels for wound dressing applications: A review of remarkably blended polymers. Arabian Journal of chemistry. 2015. vol. 8. no. 1. pp. 1-14. doi: 10.1016/j.arabjc.2014.07.005

20 Said F.F., Ali B.F., Richeson D.S., Korobkov I. et al. Supramolecular structure of bis (N, N′, N ″-triisopropylguanidinium) phthalate. Arabian Journal of Chemistry. 2017. vol. 10. pp. S95-S99. doi: 10.1016/j.arabjc.2012.06.012

Сведения об авторах

Раиса Н. Плотникова к.х.н., доцент, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, yy@vsuet.ru
https://orcid.org/0000-0001-9559-4443

Information about authors

Raisa N. Plotnikova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, industrial ecology, equipment for chemical and petrochemical plants department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, yy@vsuet.ru
https://orcid.org/0000-0001-9559-4443

Вклад авторов

Раиса Н. Плотникова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Raisa N. Plotnikova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/01/2021	**После редакции** 20/02/2021	**Принята в печать** 02/03/2021

Received 20/01/2021	**Accepted in revised** 20/02/2021	**Accepted** 02/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-297-302 Оригинальная статья/Research article
УДК 620.262 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Технология безопасного и энергоэффективного хранения сжиженного углеводородного газа на объектах стратегического назначения

Сергей А. Шевцов [1] shevtsov_sa@bk.ru
Евгений В. Фетисов [1] mr_907@mail.ru

1 Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, 394064, Россия

Аннотация. Предложена технология безопасного и энергоэффективного хранения сжиженного углеводородного газа (СУГ) на объектах стратегического назначения. Разработана стратегия управления технологическими параметрами процесса конденсации паров СУГ и регазификации жидкой фазы. Особенность технологии заключается в применении парокомпрессионного теплового насоса как источника альтернативной энергии при стабилизации температурных режимов, предотвращающих потери СУГ и обеспечивающих заданную производительность регазификации при подаче потребителю. Компрессор теплового насоса позволяет обеспечить необходимую степень компрессионного сжатия в рабочем диапазоне температур в конденсаторе теплового насоса, а дросселирование хладагента через терморегулирующий вентиль обеспечивает стабилизацию необходимого давления, соответствующего заданному интервалу значений температур кипения хладагента в испарителе. Регулирование этих параметров в условиях случайных возмущений, обусловленных внешними факторами, создает условия для полной конденсации паров СУГ различного состава, образовавшихся в результате его самоиспарения, а также поддерживает производительность процесса регазификации в области заданных значений независимо от климатической зоны. Предлагаемое автоматическое управление позволит обеспечить точность и надежность управления за счет снижения разброса регулируемых параметров, обеспечить их варьирование в заданном диапазоне, что является существенным резервом интенсификации тепловых процессов при снижении величины пожарного риска и повышении экологической безопасности окружающей среды, в том числе за счет использования безвредного, негорючего, взрывобезопасного хладагента. Использование оперативной информации с объекта управления для регулирования температурных режимов конденсации паров сжиженного углеводородного газа в испарителе и его регазификации в конденсаторе парокомпрессионного теплового насоса в пределах заданных значений создает оптимальные условия хранения и отпуска газа в резервуарах большой вместимости с минимальными энергетическими затратами.

Ключевые слова: углеводородный газ, хранение, регазификация, тепловой насос, безопасность, управление

Technology for safe and energy-efficient storage of liquefied petroleum gas at strategic facilities

Sergey A. Shevtsov [1] shevtsov_sa@bk.ru
Evgeny V. Fetisov [1] mr_907@mail.ru

1 Military Training and Scientific Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin», st. Old Bolsheviks, 54a, Voronezh, 394064, Russia

Abstract. A technology for safe and energy efficient storage of liquefied petroleum gas (LPG) at strategic facilities has been proposed. A strategy for controlling the technological parameters of the process of condensation of LPG vapors and regasification of the liquid phase has been developed. The peculiarity of the technology lies in the use of a vapor compression heat pump as a source of alternative energy with stabilization of temperature regimes, preventing LPG losses and providing a given regasification performance when supplied to the consumer. The compressor of the heat pump allows to provide the required degree of compression in the operating temperature range in the heat pump condenser, and throttling of the refrigerant through the thermostatic valve ensures the stabilization of the required pressure corresponding to the set range of values of the boiling points of the refrigerant in the evaporator. The regulation of these parameters under conditions of random disturbances caused by external factors creates conditions for the complete condensation of LPG vapors of various compositions formed as a result of its self-evaporation, and also maintains the productivity of the regasification process in the range of specified values, regardless of the climatic zone. The proposed automatic control will ensure the accuracy and reliability of control by reducing the spread of controlled parameters, ensuring their variation in a given range, which is a significant reserve for the intensification of thermal processes while reducing the magnitude of the fire risk and increasing the environmental safety of the environment, including through the use of harmless, non-flammable, non-explosive refrigerant. The use of operational information from the control object to regulate the temperature regimes of condensation of vapors of liquefied hydrocarbon gas in the evaporator and its regasification in the condenser of a vapor compression heat pump within the specified values creates optimal conditions for storing and dispensing gas in large-capacity tanks with minimal energy costs.

Keywords: hydrocarbon gas, storage, regasification, heat pump, safety, management

Для цитирования
Шевцов С.А., Фетисов Е.В. Технология безопасного и энергоэффективного хранения сжиженного углеводородного газа на объектах стратегического назначения // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 297–302. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-297-302

For citation
Shevtsov S.A., Fetisov E.V. Technology for safe and energy-efficient storage of liquefied petroleum gas at strategic facilities. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 297–302. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-297-302

© 2021, Шевцов С.А. и др. / Shevtsov S.A. et al.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Сжиженный углеводородный газ (СУГ) занимает ключевые позиции в топливно-энергетических балансах Российской Федерации и многих зарубежных странах и является важным сырьём для химической промышленности, что обусловлено рядом преимуществ данного вида топлива: минимум вредных выбросов при сгорании; высокая теплотворная способность; удобство хранения и транспортировки; низкая стоимость по сравнению с традиционными источниками энергии; увеличение ресурса работы двигателя, использующего СУГ в качестве топлива, в 1,5–2 раза и т. д.

Помимо значительного расширения применения СУГ в различных отраслях хозяйства, в России действует государственная программа «Развитие рынка газомоторного топлива», которая предусматривает глобальный перевод транспорта различного назначения на «голубое топливо» [6–20].

Все это приводит к росту мощностей газодобывающих и газоперерабатывающих предприятий и, конечно, предприятий хранения СУГ, сеть которых расположена повсеместно на территории Российской Федерации, в том числе и на объектах стратегического назначения.

В качестве оборудования для хранения СУГ в больших объёмах используются изотермические резервуары. К основным недостаткам СУГ относится повышенная взрывопожароопасность, что объясняется его *физико-химическими свойствами,* а хранение в больших объемах в случае нештатной ситуации может привести к авариям с катастрофическими последствиями.

Одна из последних аварий на объектах хранения СУГ произошла 12 июня 2020 года на казанской газораспределительной станции ООО «Газпром сжиженный газ».

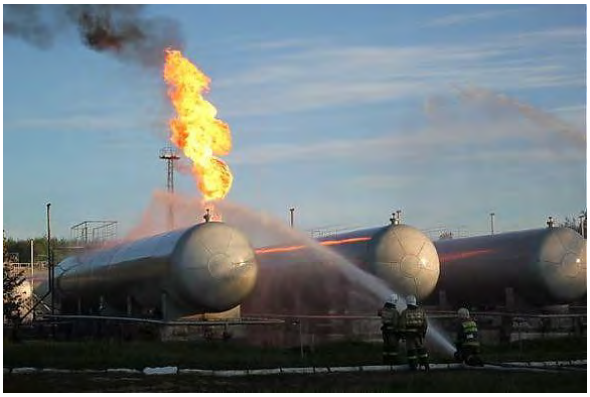


Рисунок 1. Пожар на казанской газораспределительной станции ООО «Газпром сжиженный газ» 12.06.2020 г.

Figure 1. Fire at the Kazan gas distribution station , of Gazprom liquefied gas LLC on 12.06.2020

Казанская база СУГ является поставщиком СУГ для регионального рынка и является крупнейшим хранилищем сжиженного газа в Европе. Ежемесячно со станции реализуется 1–2 тыс. тонн сжиженных газов.

При совершении штатных технологических операций произошел взрыв одной из емкостей с СУГ. Взрывная волна обрушила здание операторной (один человек погиб). Затем начался пожар – горел резервуар с сжиженным газом. Факел пламени поднимался на 50 м это высота 14-этажного дома. Ликвидацией аварии занимались 199 сотрудников экстренных служб, 58 единиц техники, в том числе два пожарных поезда. Было обеспечено оцепление в радиусе 1,5 км.

Существовал риск взрыва других резервуаров с газом, которых на станции 24 штуки, поэтому пожарные непрерывно охлаждали стенки цистерн, чтобы они не нагревались. При реализации данного неблагоприятного сценария или при распространении пожара по разветвлённой сети трубопроводов на близлежащее предприятие «Казаньоргсинтез», то это привело бы к крупнейшей техногенной катастрофе в Татарстане.

Полностью горение было ликвидировано лишь спустя почти 18 часов после начала, путем выгорания топлива из резервуара и охлаждения водой оборудования.

Эта и подобные аварии показывают, что безопасность объектов хранения СУГ в изотермических резервуарах должна основываться на контролировании и предупреждении аварий, а не в тушении пожара, а разработка инновационных решений в этом направлении, основанных на автоматизации и механизации технологических процессов, является основой энергетической неуязвимости страны.

Метод повышения безопасности хранения сжиженного углеводородного газа

Предлагается технология хранения СУГ в изотермическом резервуаре с автоматическим управлением технологическими параметрами процессов конденсации паров в резервуаре и регазификации СУГ в замкнутых термодинамических циклах по тепловым и материальным потокам с использованием парокомпрессионного теплового насоса (рисунок 2).

Исходный СУГ (пропан-бутановую смесь) по линии *11* подается в изотермический резервуар *1*, где он хранится при постоянной температуре, не превышающей температуру кипения СУГ (от -40 °С до – 10 °С в зависимости от состава СУГ).

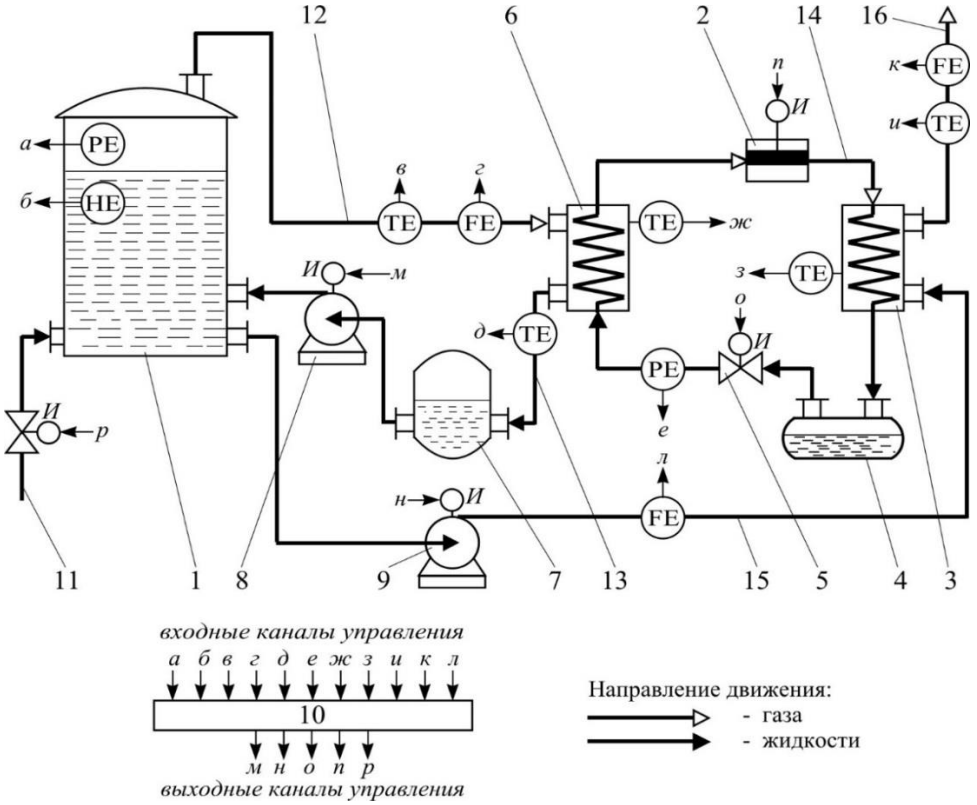


Рисунок 2. Схема автоматического управления процессами конденсации паров в изотермическом резервуаре и регазификации сжиженного углеводородного газа: 1 – изотермический резервуар с СУГ; 2 – компрессор, 3 – конденсатор, 4 – ресивер, 5 – терморегулирующий вентиль, 6 – испаритель; 7 – промежуточный сборник; 8, 9 – насосы; 10 – микропроцессор; линии: 11 – наполнения резервуара СУГ; 12 – отвода паров СУГ из изотермического резервуара 1 в испаритель 6; 13 – подачисконденсированных паров СУГ из испарителя 6 через промежуточный сборник 7 в изотермический резервуар 1; 14 – рециркуляции хладагента; 15 – подачиСУГ из изотермического резервуара 1 в конденсатор 3; 16 – подачипаров СУГ из конденсатора 3 потребителю; датчики: *TE* – температуры; *FE* – расхода; *HE* – уровня; *PE* – давления; *И* – исполнительные механизмы

Figure 2. Scheme of automatic control of vapor condensation processes in an isothermal tank and regasification of liquefied hydrocarbon gas: 1 – isothermal tank with LHG; 2 – compressor, 3 – condenser, 4 – receiver, 5 – thermostatic expansion valve, 6 – evaporator; 7 – intermediate collector; 8, 9 – pumps; 10 – microprocessor; lines: 11 – LPG tank filling; 12 – LPG vapor removal from isothermal tank 1 to evaporator 6; 13 – LPG condensed vapor supply from evaporator 6 through intermediate collector 7 to isothermal tank 1; 14 – refrigerant recirculation; 15 – LPG supply from isothermal tank 1 to condenser 3; 16 – LPG vapor supply from condenser 3 to consumer; sensors: TE – temperature; FE – flow; HE – level; PE – pressure; И – actuators

Хранение СУГ в изотермическом резервуаре *1* осуществляется при постоянной температуре, соответствующей заданному давлению паров СУГ, которое поддерживается в резервуаре за счет их отвода по линии *12* в испаритель *6* теплового насоса. Сконденсированные пары СУГ в испарителе *6* по линии *13* отводят сначала в накопительный сборник *7*, а затем с помощью насоса *8* по линии *13* направляют в изотермический резервуар в режиме замкнутого цикла.

По мере необходимости СУГ по линии *15* насосом *9* подается в конденсатор *3* парокомпрессионного теплового насоса, где происходит процесс регазификации газа за счет тепла выделяемого при конденсации хладагента, после чего образовавшуюся газовую фазу СУГ подается потребителю по линии *16*.

В соответствии с термодинамическим циклом парокомпрессионного теплового насоса хладагент всасывается компрессором *2*, сжимается до давления конденсации и по контуру рециркуляции *14* направляется в конденсатор *3*, где конденсируясь, он отдает теплоту нарегазификацию СУГ.

Затем хладагент направляется в ресивер *4*, что позволяет сбалансировать возможные пульсации хладагента в контуре рециркуляции, и далее в терморегулирующий вентиль *5*, где дросселируется до заданного давления. С этим давлением хладагент поступает в испаритель *10*, где он испаряется с выделением холода. Пары хладагента по замкнутому контуру направляются в компрессор *2*, сжимаются до давления конденсации и термодинамический цикл повторяется.

Информация о ходе процессов конденсации паров СУГ в испарителе и их регазификации в конденсаторе теплового насоса с помощью датчиков передается в микропроцессор *10*, который по заложенному в него программно-логическому алгоритму осуществляет оперативное управление технологическими параметрами посредством исполнительных механизмов с учетом накладываемых на них ограничений, обусловленных как снижением величины пожарного риска, так и экономической целесообразностью.

Фактическое количество СУГ в изотермическом резервуаре, подаваемое по линии *11*, микропроцессор определяет по уровню с помощью датчика уровня и устанавливает в соответствии с нормативными документами 80…85 % от объема резервуара.

По текущим значениям расхода и температуры паров СУГ, образовавшихся в результате самоиспарения в изотермическом резервуаре *1*, микропроцессор *10* определяет тепловой поток с парами СУГ, подаваемый в испаритель *6* по линии *12*, в соответствии с которым устанавливают коэффициент теплопередачи на охлаждающей поверхности испарителя *6* парокомпрессионного теплового насоса. В процессе теплопередачи между парами СУГ и хладагентом микропроцессор осуществляет воздействие на температуру кипения хладагента путем регулирования давления хладагента перед испарителем *6*, дросселирующего через терморегулирующий вентиль *5*.

По температуре и расходу паров сжиженного углеводородного газа на входе в испаритель *6*, температуре сконденсированного сжиженного углеводородного газа после испарителя и температуре кипения хладагента в испарителе микропроцессор устанавливает текущее значение коэффициента теплопередачи на охлаждающей поверхности испарителя, которое определяет по формуле: $k = Q/F\Delta t_{\_\text{р}}$, где $Q = Vc\rho t_1$ – количество теплоты, подаваемое с потоком паров СУГ из изотермического резервуара в испаритель парокомпрессионного теплового насоса, кДж/ч; c, ρ – средние значения теплоемкости, кДж/(кг·К), плотности, кг/м^3 паров СУГ соответственно; V – объемный расход паров СУГ, подаваемый в испаритель, м^3/ч; F – площадь теплообменной поверхности испарителя, м^2; $\Delta t_{c\text{р}} = (t_1 - t_2)/\ln\left[(t_1 - t_3)/(t_2 - t_3)\right]$ – среднелогарифмический температурный напор, $^{\text{o}}$C; t_1, t_2 – температура паров СУГ на входе и выходе из испарителя, С; t_3 – температура кипения хладагента в испарителе,$^{\text{o}}$C.

Полученное значение коэффициента теплопередачи на охлаждающей поверхности испарителя непрерывно корректируется по величине давления паров СУГ в изотермическом резервуаре, причем при увеличении давления паров СУГ микропроцессор снижает расход дросселирующего хладагента через терморегулирующий вентиль *5*, а следовательно, и давление перед испарителем, обеспечивая снижение температуры испарения хладагента. Как следствие, интенсифицируется процесс рекуперативного теплообмена на охлаждающей поверхности испарителя и повышается скорость конденсации паров СУГ с одновременным снижением давления в изотермическом резервуаре.

По расходу СУГ в линии *15* перед конденсатором *3* парокомпрессионного теплового насоса, подаваемого насосом *9*, микропроцессор устанавливает температуру конденсации хладагента в конденсаторе воздействием на степень компрессии паров хладагента путем регулирования мощности привода компрессора *2* с коррекцией по расходу паров СУГ, подаваемых потребителю по линии *16*. Исходя из балансовых соотношений, количество газовой фазы в линии *16* должно строго соответствовать расходу СУГ в линии *15*. Отклонение расхода паров СУГ от заданного значения в сторону уменьшения свидетельствует о неполном фазовом переходе СУГ в пары, что требует коррекции температуры конденсации хладагента путем увеличения мощности привода компрессора.

Для реализации способа предлагается использовать хладагент, например, Хладон 13В1 CF_3Br с температурой кипения -57,8 °С и критической температурой 66,9 °С. При этом компрессор обеспечит необходимую степень компрессионного сжатия в рабочем диапазоне температур конденсации хладагента в конденсаторе теплового насоса до 35 °С, а дросселирование хладагента через терморегулирующий вентиль 5 обеспечит стабилизацию необходимого давления, соответствующего заданному интервалу значений температур кипения хладагента в испарителе теплового насоса –55…–20 °С. Регулирование этих параметров в условиях случайных возмущений, обусловленных внешними факторами, позволит обеспечить полную конденсацию паров сжиженного газа различного состава, образовавшихся в результате его самоиспарения паров из изотермического резервуара, а также регулировать производительность процесса регазификации независимо от климатической зоны.

Заключение

Предлагаемое автоматическое управление позволит обеспечить точность и надежность управления за счет снижения разброса регулируемых параметров, обеспечить их варьирование в заданном диапазоне, что является существенным резервом интенсификации тепловых процессов при снижении величины пожарного риска

и повышении экологической безопасности окружающей среды, в том числе за счет использования безвредного, негорючего, взрывобезопасного хладагента.

Использование оперативной информации с объекта управления для регулирования температурных режимов конденсации паров сжиженного углеводородного газа в испарителе и его регазификации в конденсаторе парокомпрессионного теплового насоса в пределах заданных значений создает оптимальные условия хранения и отпуска газа в резервуарах большой вместимости с минимальными энергетическими затратами.

Литература

1 Пожар на газораспределительной станции в Казани. URL: https://tass.ru/proisshestviya/8716257

2 Yadav B.C., Yadav A., Shukla T., Singh S. et al. Solid-state titania-based gas sensor for liquefied petroleum gas detection at room temperature // Bulletin of Materials Science. 2011. V. 34. №. 7. P. 1639-1644. doi: 10.1007/s12034-011-0370-3

3 Shevtsov S.A., Kargashilov D.V., Shutkin A.N. Fire and explosion safe technology of storage and regasification of liquefied petroleum gas // Chemical and Petroleum Engineering. 2018. V. 54. № 1–2. P. 38–40. doi: 10.1007/s10556-018-0435-x

4 Shevtsov S.A., Kargashilov D.V., Zenin A.Y. Control system for the process of storing liquefied petroleum gas in an isothermal tank within the range of fireproof and explosionproof operating parameters // Chemical and Petroleum Engineering. 2020. V. 56. № 1–2. P. 105–108. doi: 10.1007/s10556-020-00746-3

5 Пат. № 2681559, RU, F17C 9/02, F17C9/02. Способ управления процессами конденсации паров в изотермическом резервуаре и регазификации сжиженного углеводородного газа / Шевцов С.А., Каргашилов Д.В., Шуткин А.Н., Усачев Д.К., ФедорищевВ.Р. № 2017136522; Заявл. 16.10.2017; Опубл. 11.03.2019, Бюл. № 8.

6 Moura L.G. et al. Steam reforming of liquefied petroleum gas using catalysts supported on ceria-silica // International Journal of Hydrogen Energy. 2021. V. 46. №. 2. P. 1801-1814. doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.10.021

7 Feng J. et al. Emissions of nitrogen oxides and volatile organic compounds from liquefied petroleum gas-fueled taxis under idle and cruising modes // Environmental Pollution. 2020. V. 267. P. 115623. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115623

8 Wang M. et al. On-road tailpipe emission characteristics and ozone formation potentials of VOCs from gasoline, diesel and liquefied petroleum gas fueled vehicles // Atmospheric Environment. 2020. V. 223. P. 117294. doi: 10.1016/j.atmosenv.2020.117294

9 Lee I. et al. Rapid synthesis of graphene by chemical vapor deposition using liquefied petroleum gas as precursor // Carbon. 2019. V. 145. P. 462-469. doi: 10.1016/j.carbon.2019.01.004

10 Shen G. et al. Evaluating the performance of household liquefied petroleum gas cookstoves // Environmental science & technology. 2018. V. 52. №. 2. P. 904-915. doi: 10.1021/acs.est.7b05155

11 Buchanan A.H., Abu A.K. Structural design for fire safety. John Wiley & Sons, 2017.

12 Purkiss J.A., Li L.Y. Fire safety engineering design of structures. CRC press, 2013.

13 Olawoyin R. Nanotechnology: The future of fire safety // Safety science. 2018. V. 110. P. 214-221. doi: 10.1016/j.ssci.2018.08.016

14 De Boer J., Stapleton H.M. Toward fire safety without chemical risk // Science. 2019. V. 364. №. 6437. P. 231-232. doi: 10.1126/science.aax2054

15 Paltrinieri N., Tugnoli A., Cozzani V. Hazard identification for innovative LNG regasification technologies // Reliability Engineering & System Safety. 2015. V. 137. P. 18-28. doi: 10.1016/j.ress.2014.12.006

16 Gómez M.R., Garcia R.F., Gómez J.R., Carril J.C. Review of thermal cycles exploiting the exergy of liquefied natural gas in the regasification process // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. V. 38. P. 781-795. doi: 10.1016/j.rser.2014.07.029

17 Mehrpooya M., Sharifzadeh M.M.M., Katooli M.H. Thermodynamic analysis of integrated LNG regasification process configurations // Progress in Energy and Combustion Science. 2018. V. 69. P. 1-27. doi: 10.1016/j.pecs.2018.06.001

18 Atienza-Márquez A., Bruno J.C., Coronas A. Cold recovery from LNG-regasification for polygeneration applications // Applied Thermal Engineering. 2018. V. 132. P. 463-478. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.12.073

19 La Rocca V. Cold recovery during regasification of LNG part two: Applications in an Agro Food Industry and a Hypermarket // Energy. 2011. V. 36. №. 8. P. 4897-4908. doi: 10.1016/j.energy.2011.05.034

20 Park J., Lee I., You F., Moon I. Economic process selection of liquefied natural gas regasification: power generation and energy storage applications // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2019. V. 58. №. 12. P. 4946-4956. doi: 10.1021/acs.iecr.9b00179

References

1 Fire at a gas distribution station in Kazan. Available at: https://tass.ru/proisshestviya/8716257 (in Russian).

2 Yadav B.C., Yadav A., Shukla T., Singh S. et al. Solid-state titania-based gas sensor for liquefied petroleum gas detection at room temperature. Bulletin of Materials Science. 2011. vol. 34. no. 7. pp. 1639-1644. doi: 10.1007/s12034-011-0370-3

3 Shevtsov S.A., Kargashilov D.V., Shutkin A.N. Fire and explosion safe technology of storage and regasification of liquefied petroleum gas. Chemical and Petroleum Engineering. 2018. vol. 54. no. 1–2. pp. 38–40. doi: 10.1007/s10556-018-0435-x

4 Shevtsov S.A., Kargashilov D.V., Zenin A.Y. Control system for the process of storing liquefied petroleum gas in an isothermal tank within the range of fireproof and explosionproof operating parameters. Chemical and Petroleum Engineering. 2020. vol. 56. no. 1–2. pp. 105–108. doi: 10.1007/s10556-020-00746-3

5 Shevtsov S.A., Kargashilov D.V., Shutkin A.N., Usachev D.K., Fedorishchev V.R. Method for controlling the processes of vapor condensation in an isothermal reservoir and regasification of liquefied hydrocarbon gas. Patent RF, no. 2681559, 2019.

6 Moura L.G. et al. Steam reforming of liquefied petroleum gas using catalysts supported on ceria-silica. International Journal of Hydrogen Energy. 2021. vol. 46. no. 2. pp. 1801-1814. doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.10.021

7 Feng J. et al. Emissions of nitrogen oxides and volatile organic compounds from liquefied petroleum gas-fueled taxis under idle and cruising modes. Environmental Pollution. 2020. vol. 267. pp. 115623. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115623

8 Wang M. et al. On-road tailpipe emission characteristics and ozone formation potentials of VOCs from gasoline, diesel and liquefied petroleum gas fueled vehicles. Atmospheric Environment. 2020. vol. 223. pp. 117294. doi: 10.1016/j.atmosenv.2020.117294

9 Lee I. et al. Rapid synthesis of graphene by chemical vapor deposition using liquefied petroleum gas as precursor. Carbon. 2019. vol. 145. pp. 462-469. doi: 10.1016/j.carbon.2019.01.004

10 Shen G. et al. Evaluating the performance of household liquefied petroleum gas cookstoves. Environmental science & technology. 2018. vol. 52. no. 2. pp. 904-915. doi: 10.1021/acs.est.7b05155

11 Buchanan A.H., Abu A.K. Structural design for fire safety. John Wiley & Sons, 2017.

12 Purkiss J.A., Li L.Y. Fire safety engineering design of structures. CRC press, 2013.

13 Olawoyin R. Nanotechnology: The future of fire safety. Safety science. 2018. vol. 110. pp. 214-221. doi: 10.1016/j.ssci.2018.08.016

14 De Boer J., Stapleton H.M. Toward fire safety without chemical risk. Science. 2019. vol. 364. no. 6437. pp. 231-232. doi: 10.1126/science.aax2054

15 Paltrinieri N., Tugnoli A., Cozzani V. Hazard identification for innovative LNG regasification technologies. Reliability Engineering & System Safety. 2015. vol. 137. pp. 18-28. doi: 10.1016/j.ress.2014.12.006

16 Gómez M.R., Garcia R.F., Gómez J.R., Carril J.C. Review of thermal cycles exploiting the exergy of liquefied natural gas in the regasification process. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. vol. 38. pp. 781-795. doi: 10.1016/j.rser.2014.07.029

17 Mehrpooya M., Sharifzadeh M.M.M., Katooli M.H. Thermodynamic analysis of integrated LNG regasification process configurations. Progress in Energy and Combustion Science. 2018. vol. 69. pp. 1-27. doi: 10.1016/j.pecs.2018.06.001

18 Atienza-Márquez A., Bruno J.C., Coronas A. Cold recovery from LNG-regasification for polygeneration applications. Applied Thermal Engineering. 2018. vol. 132. pp. 463-478. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.12.073

19 La Rocca V. Cold recovery during regasification of LNG part two: Applications in an Agro Food Industry and a Hypermarket. Energy. 2011. vol. 36. no. 8. pp. 4897-4908. doi: 10.1016/j.energy.2011.05.034

20 Park J., Lee I., You F., Moon I. Economic process selection of liquefied natural gas regasification: power generation and energy storage applications. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2019. vol. 58. no. 12. pp. 4946-4956. doi: 10.1021/acs.iecr.9b00179

Сведения об авторах

Сергей А. Шевцов д.т.н., доцент, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, 394064, Россия, shevtsov_sa@bk.ru

Евгений В. Фетисов к.т.н., доцент, начальник кафедры эксплуатации авиационной техники, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, 394064, Россия, mr_907@mail.ru

Information about authors

Sergey A. Shevtsov Dr. Sci. (Engin.), associate Professor, associate Professor of the Department of Aviation Equipment Operation, Military Training and Scientific Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», st. Old Bolsheviks, 54a, Voronezh, 394064, Russia, shevtsov_sa@bk.ru

Evgeny V. Fetisov candidate of technical sciences, associate Professor, head of the Department of Aviation Equipment Operation, Military Training and Scientific Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», st. Old Bolsheviks, 54a, Voronezh, 394064, Russia, mr_907@mail.ru

Вклад авторов

Сергей А. Шевцов написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Евгений В. Фетисов консультация в ходе исследования

Contribution

Sergey A. Shevtsov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Evgeny V. Fetisov consultation during the study

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author's declares no conflict of interest.

Поступила 21/01/2021	**После редакции** 17/02/2021	**Принята в печать** 03/03/2021

Received 21/01/2021	**Accepted in revised** 17/02/2021	**Accepted** 03/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-303-308 Обзорная статья/Review article
УДК 661.842 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Дисперсный наполнитель на основе синтетического карбоната кальция – требования к качеству применения

Екатерина С. Натарова [1] natarovaekaterina@ya.ru 0000-0002-6031-0786
Юлия М. Нечёсова [2] malyavina.yulya@ya.ru 0000-0001-5700-3841

1 Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, ул. Студенческая, 10, г. Воронеж, 394036, Россия
2 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Ведение наполнителей в различные материалы способствует улучшению его технологических, физико-механических свойств, приводит к снижению их стоимости. Основными областями применения природного и синтетического карбоната кальция в качестве высокодисперсных наполнителей являются: строительная отрасль, производство портландцемента, минеральных удобрений, стекла, бумаги, полимерных композиционных материалов, лакокрасочных материалов, резин. Перспективным направлением является использование в качестве наполнителей побочных продуктов производств, например, конверсионного карбоната кальция – отхода производства сложного минерального удобрения – нитроаммофоски. Однако, его использование в вышеперечисленных областях ограничено содержанием водорастворимых азотсодержаших примесей, примесей тяжелых металлов, карбоната стронция, фосфатов и др. Проведен анализ научно-технической и патентной литературы по способам очистки конверсионного карбоната кальция. Данные способы основаны на извлечении примесей из исходного продукта получения карбоната кальция – плава тетрагидрата нитрата кальция осаждением различными реагентами с последующим выделением нерастворимого осадка (примесей) и переработкой очищенного плава в карбонат кальция и нитроаммофоску. Предложен способ извлечения кислотонерастворимых железосодержащих примесей из исходного плава нитрата кальция с целью получения более чистого побочного продукта – конверсионного карбоната кальция, что позволит расширить области его применения. Эффективным способом является разбавление исходного плава нитрата кальция 60 %-ным раствором аммиачной селитры до содержания кальция 12-13% с последующим выделением кислотонерастворимого осадка в вакуум-фильтре, конверсией очищенного раствора нитрата кальция карбонатом аммония и разделением образовавшейся суспензии в барабанном фильтре. Описанным способом можно уменьшить количество железосодержащих примесей более чем на 50%.

Ключевые слова: карбонат кальция, нитрат кальция, нитроаммофоска, очистка от примесей, наполнители

Dispersed filler based on synthetic calcium carbonate – requirements for applications quality

Ekaterina S. Natarova [1] natarovaekaterina@ya.ru 0000-0002-6031-0786
Yulia M. Nehcesova [2] malyavina.yulya@ya.ru 0000-0001-5700-3841

1 Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko
2 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The introduction of fillers into various materials improves its technological, physical and mechanical properties, and leads to a decrease in cost. The main areas of application of natural and synthetic calcium carbonate as highly dispersed fillers are: the construction industry, the production of Portland cement, mineral fertilizers, glass, paper, polymer composite materials, paints and varnishes, and rubbers. A promising direction at present is the use of production by-products as fillers, for example, conversion calcium carbonate - a waste product from the production of a complex mineral fertilizer - nitroammophoska. However, its use in the above areas is limited by the content of water-soluble nitrogen-containing impurities, impurities of heavy metals, strontium carbonate, phosphates, etc. The analysis of scientific, technical and patent literature on methods of purification of conversion calcium carbonate has been carried out. These methods are based on the extraction of impurities from the initial product of calcium carbonate production - a melt of calcium nitrate tetrahydrate by precipitation with various reagents, followed by the isolation of an insoluble precipitate (impurities) and processing of the purified melt into calcium carbonate and nitroammofoska. A method is proposed for the extraction of acid-tonic-soluble iron-containing impurities from the initial calcium nitrate melt in order to obtain a cleaner by-product - conversion calcium carbonate, which will expand the scope of its application. An effective method is to dilute the initial calcium nitrate melt with a 60% solution of ammonium nitrate to a calcium content of 12-13%, followed by the isolation of an acid-insoluble precipitate in a vacuum filter, conversion of the purified calcium nitrate solution with ammonium carbonate and separation of the resulting suspension in a drum filter. The described method can reduce the amount of iron-containing impurities by more than 50%.

Keywords: calcium carbonate, calcium nitrate, nitroammophoska, purification from impurities, fillers

Введение

По своей экономической значимости карбонат кальция является одним из важнейших неорганических наполнителей, широко применяемых в различных отраслях промышленности. Это обусловлено как совокупностью его физико-химических свойств, так и распространенностью в природе.

Основными направлениями применения карбоната кальция являются [1–5]:

- строительная отрасль – используется более ¾ общего количества добываемого природного карбоната кальция;
- производство неорганических вяжущих веществ, изготовление портландцемента;
- химическая промышленность: получение кальцинированной соды, кормовых фосфатов и кальцийсодержащих удобрений (преципитат, известково-аммиачной селитры и др.), синтетических моющих средств, карбида кальция, хлорной извести;

Для цитирования
Натарова Е.С., Нечёсова Ю.М. Дисперсный наполнитель на основе синтетического карбоната кальция – требования к качеству применения // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 303–308. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-303-308

For citation
Natarova E.S., Nehcesova Yu.M. Dispersed filler based on synthetic calcium carbonate – requirements for applications quality. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 303–308. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-303-308

© 2021, Натарова Е.С. и др. / Natarova E.S. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

- сельское хозяйство, в виде известняковой муки или молотого мела как высокоэффективный мелиорант закислённых почв;
- производство стекла, бумаги;
- металлургия (носитель катализаторов, адсорбент для очистки отходящих газов, фильтрующий материала, компонент электродов).

Особую значимость для промышленности имеют высокодисперсные формы карбоната кальция, широко используемые в качестве дешёвого и качественного наполнителя при изготовлении полимерных композиционных и лакокрасочных материалов, резин. В настоящее время производство дисперсных форм карбоната кальция рассматривается как отдельная отрасль промышленности, что связанно с особенностями его применения и требованиями к качественным характеристикам.

Используемый в качестве наполнителя карбонат кальция производится при тонком измельчении природного или синтетически – путем осуществления химических реакций осаждения.

Перспективным направлением в настоящее время является использование в качестве наполнителей побочных продуктов производств, например, конверсионного карбоната кальция – отхода производства нитроаммофоски.

Блок-схема процесса производства нитроаммофоски с получением конверсионного карбоната кальция представлена на рисунке 1.

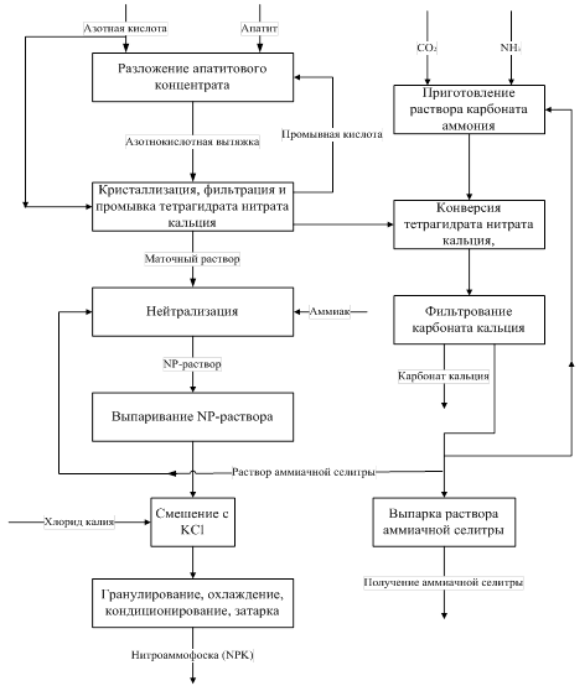


Рисунок 1. Принципиальная блок-схема производства нитроаммофоски

Figure 1. Basic block diagram of nitroammophoska production

Крупные предприятия в России, выпускающие нитроаммофоску по представленной схеме, (ОАО «Уралхим» (г. Кирово-Чепецк), ОАО «Минудобрения» (г. Россошь), ОАО «Акрон» (г. Великий Новгород), ОАО «Дорогобуж») суммарно образуют более 1 млн. т в год побочного конверсионного карбоната кальция.

С момента освоения производства NPK-удобрений остро встал вопрос о направлении дальнейшего применения конверсионного карбоната кальция.

Известно его использование для выпуска кальцийсодержащих удобрений и, прежде всего, известково-аммиачной селитры. Предложен вариант применения КК как мелиоранта и раскислителя почв в сельском хозяйстве [6].

Однако данные способы утилизации отходов карбоната кальция не получили широкого распространения в силу ряда объективных причин экономического, технологического и экологического характера. В настоящее время получаемый в России конверсионный карбонат кальция используется вместо природного карбоната кальция при подготовке стекольной шихты в производстве стекла [7].

Ведутся исследования по применению конверсионного карбоната кальция в строительных смесях, при изготовлении цемента, а также при производстве керамических и силикатных материалов [8].

Проблемами, мешающими использованию конверсионного карбоната кальция в качестве наполнителя, являются содержание водорастворимых азотсодержаших примесей, примесей тяжелых металлов, карбоната стронция, фосфатов [6].

Обсуждение

В научно-технической и патентной литературе для увеличения качества конверсионного карбоната кальция рассматриваются множество способов.

Так, согласно [10], предлагается проводить очистку плава тетрагидрата нитрата кальция путем нейтрализации плава газообразным аммиаком до pH 6,1–7,6. Предварительно исходный плав разбавляется раствором аммиачной селитры концентрацией 0,5–60%. Выпавшие в осадок нерастворимые примеси выделяются одностадийным отстаиванием с использованием анионного полиэлектролита и утилизируются. Очищенный плав может перерабатываться в карбонат кальция или использоваться в виде самостоятельного продукта. В этом случае степень очистки плава нитрата кальция от фтора составляет 60–98,5%, фосфора – 60–99,5%, железа – 85–99,9%.

К недостаткам данного способа можно отнести возможное загрязнение получаемого в дальнейшем раствора аммиачной селитры полиэлектролитом органической структуры. Как правило, раствор аммиачной селитры после выделения кристаллов карбоната кальция упаривают и гранулируют при высоких температурах, при этом присутствие органического полиэлектролита в составе перерабатываемого раствора недопустимо по причине возможного повышения взрыво- и пожаробезопасности плава аммиачной селитры при его высокой температуре.

При проведении частичной конверсии плава нитрата кальция происходит совместное осаждение карбоната кальция с выделением фтора, фосфора, железа и других примесей [11]. При этом первоначально осаждают 5–20% кальция, содержащегося в плаве, по стехиометрической норме раствора карбоната аммония. При увеличении значения pH вместе с карбонатом кальция происходит осаждение и нежелательных соединений фтора, фосфора и железа, которые выделяют в виде осадка. А из полученного очищенного раствора нитрата кальция получают карбонат кальция и аммиачную селитру. Предлагаемый способ достаточно прост, но его существенными недостатками являются: невысокая фильтруемость осадка на первой стадии и недостаточно полное выделение примесей (фтор – 78,3–89,2%, фосфор – 78,4–90,2%). Кроме того, при этом возникает проблема утилизации большого количества карбоната кальция, загрязненного примесями.

Довольно простой способ очистки плава тетрагидрата нитрата кальция предложен в работе [12]. Плав нейтрализуется карбонатом кальция или его водной суспензией (при $t > 20$ °C) до pH 3–5. В качестве карбоната кальция используется конверсионный, образуемый при конверсии неочищенного плава нитрата кальция. Перед выделением осадка полученную суспензию промывают щелочным реагентом (чаще используется известковое молоко) до pH 6–8. Концентрацию в очищенном таким образом растворе нитрата кальция поддерживают 35–45%.

Недостатком данного способа является внесение дополнительного количества воды в очищенный раствор с известковым молоком, которую при переработке получаемого раствора в карбонат кальция и аммиачную селитру по существующей схеме производства нитроаммофоски придется выпаривать. Достоинство – достаточно высокая степень очистки от примесей раствора нитрата кальция.

Авторами [13] предложен другой способ очистки плава тетрагидрата нитрата кальция от соединений фтора и фосфора. Кристаллы тетрагидрата нитрата кальция, выделенные на фильтре из азотнокислотного раствора разложения фосфатного сырья, промываются охлажденным раствором аммиачной селитры концентрацией 0,5–60% с расходом 0,1–0,25 масс. частей на 1 масс. часть кристаллов плава нитрата кальция. Способ основан на повышении растворимости плохо растворимой в воде и азотнокислых растворах соли $CaSiF_6$ в растворе, содержащем ионы NH_4^+, т. к. $CaSiF_6$ является основной формой присутствия фтора в выделяемых вымораживанием кристаллах нитрата кальция.

Недостаток предложенного способа заключается в невысокой степени очистки нитрата кальция только от фтора, но не фосфора, железа, стронция и др. примесей.

Исследована степень очистки плава тетрагидрата нитрата кальция от фтора и стронция при частичной (5–20% от стехиометрии) его конверсии раствором карбоната аммония в карбонат кальция [14]. Показано, что при увеличении степени конверсии выход ионов фтора в твердую фазу существенно возрастает, содержание же ионов стронция в твердой фазе, наоборот, уменьшается. Производительность фильтрации осадка при увеличении степени конверсии снижается. Предложено проводить очистку плава тетрагидрата нитрата кальция от стронция путем фильтрации исходного расплавленного нитрата кальция, а от фтора – путем фильтрации осадка после 10%-ой степени конверсии. Заявлено, что при этом получается очищенный карбонат кальция с содержанием 0,3–0,4% Sr^{2}+ и 0,12–0,15% F-. Как видно, данный способ не позволяет достичь высокой степени очистки получаемого карбоната кальция от фтора. При этом осадок примесей трудно фильтруется, что отрицательно может сказаться на общей производительности по карбонату кальция.

Предлагается проводить очистку исходного плава тетрагидрата нитрата кальция осажденным карбонатом кальция или его суспензией (концентрация 1–50%, $t = 20 – 110$ °C) до значения pH 1–5,5. Карбонат кальция, используемый для обработки, осаждается из очищенного раствора нитрата кальция, далее осадок, содержащий примеси, отделяется от целевого продукта [15].

Недостатком предложенного способа является сложность его применения в промышленных условиях, а также невысокая степень очистки плава при pH, близких к нижнему заявленному пределу.

Кроме представленных выше способов, существует и другие, более сложные и труднореализуемые методы, повышающие качество конверсионного карбоната кальция путем очистки исходного плава тетрагидрата нитрата кальция.

На основании проведенного анализа научно-технической литературы предложена эффективная схема по извлечению кислотонерастворимого железосодержащего осадка из плава тетрагидрата нитрата кальция: в исходный плав нитрата кальция подается 60%-ый раствор аммиачной селитры, растворы перемешиваются до достижения массовой доли кальция 12%. Полученный раствор направляется на выделение кислотнонерастворимого осадка в вакуум-фильтр. После фильтрации очищенный раствор нитрата кальция поступает на конверсию карбонатом аммония. Процесс протекает при температуре 55–70^{o} С и атмосферном давлении. Образованная суспензия в барабанном фильтре разделяется на твердый осадок – конверсионный карбонат кальция и раствор – аммиачная селитра. Описанным способом можно уменьшить количество железосодержащих примесей более чем на 50% и повысить белизну конечного продукта [16–20].

Заключение

Проанализированы способы очистки конверсионного карбоната кальция от примесей соединений железа, фосфора, фтора, стронция из исходного продукта – плава тетрагидрата нитрата кальция, обладающие своими достоинствами и недостатками. Для достижения высокой степени очистки плава нитрата кальция от примесей предлагается достаточное усложнение технологической схемы путем использования дополнительных реагентов или введения в схему ряда вспомогательных стадий.

Предложен способ извлечения кислотонерастворимых железосодержащих примесей из исходного плава нитрата кальция с целью получения более чистого побочного продукта – конверсионного карбоната кальция, что позволит расширить области его применения.

Литература

1 Тарчигина Н.Ф., Боровицкая Н.И. Вовлечение отходов производства минеральных удобрений в товарную продукцию // Успехи современной науки 2016. № 2. С. 63–66.

2 Харичев О.Е., Ефремов Г.И., Тарчигина Н.Ф., Чернова О.И Получение фосфорных удобрений с добавками конверсионного карбоната кальция // Химическая технология 2015. Т. 16. № 3. С. 142–147.

3 Tolouei M., Nazari H., Naderan A., Nejad F. Effects of Calcium Carbonate Nanoparticles and Fly Ash on Mechanical and Permeability Properties of Concrete // Advances in Civil Engineering Materials 2018. V. 7. P. 253–258. doi: 10.1520/ACEM20180066

4 Thriveni Thenepalli. A strategy of precipitated calcium carbonate ($CaCO_3$) fillers for enhancing the mechanical properties of polypropylene polymers // Korean Journal of Chemical Engineering. 2015. V. 32. P. 1009–1022. doi: 10.1007/s11814-015-0057-3

5 Xiaolei Huang. Ten-year long-term organic fertilization enhances carbon sequestration and calcium-mediated stabilization of aggregate-associated organic carbon in a reclaimed Cambisol // Geoderma 2019. V. 355 P. 799–815. doi: 10.1016/j.geoderma.2019.113880

6 Прудников А.Д., Прудникова А.Г., Яненков Д.А. Эффективность внесения мелиорантов под кормовые культуры // Кормопроизводство 2014. № 8. С. 22–25.

7 Курбангалеева М.Х. Использование твердого отхода содового производства в качестве сырья для получения товарной продукции // Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии: сборник трудов конференции. Москва, 2015. С. 59–62.

8 Чернышов Е.М., Черных Д.И., Потамошнева Н.Д Композиты на основе утилизации техногенного (конверсионного) карбоната кальция: модели и возможные механизмы структурообразования // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура 2014. № 3 (35). С. 38–50

9 Рудакова Л.И., Нифталиев С.И., Натарова Е.С. Конверсионный карбонат кальция как наполнитель термопластов // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2017. Т. 60 № 4. С. 100–107

10 Пат. № 2459765, RU, C01F 11/36. Способ очистки нитрата кальция и полученные продукты / Эриксен Ф.Р., Эустад Х.К. № 2009137487/05; Заявл. 28.03.08; Опубл. 28.03.08, Бюл. № 13.

11 Пат. № 2228906, RU, C01F 11/36, C05C 5/04, C05B 11/06. Способ очистки расплава или раствора нитрата кальция / Таук М.В., Черкасова Т.Н., Николаева И.И., Горшкова Н.В., № 2003114400/15; Заявл. 19.05.03; Опубл. 19.05.03, Бюл. № 14.

12 Пат. № 2239601, RU, C01F 11/36, C05C 5/04. Способ получения очищенного раствора нитрата кальция / Сеземин В.А., Абрамов О.Б., Захарова О.М. № 2003133785/15; Заявл. 20.11.03; Опубл. 10.11.04, Бюл. № 31.

13 Пат. № 2414425, RU, C01F 11/18. Способ получения карбоната кальция высокой чистоты / Факеев А.А., Вендило А.Г. № 2009125154/05; Заявл. 01.07.09; Опубл. 20.03.11, Бюл. № 8.

14 Пат. № 2507154, RU, C01F 11/36, C05C 5/04. Способ получения очищенного раствора нитрата кальция / Мухачева Т.Е., Медянцева Д.Г., Захарова О.М., Климова О.С. и др. № 2012134849/05; Заявл. 14.08.12; Опубл. 20.02.14, Бюл. № 5.

15 Тарчигина Н.Ф., Харичев О.Е., Капралова Н.С., Шаймурзина К.И. Некоторые аспекты технологических решений производства нитроаммофоски и повышения эффективности использования вторичных ресурсов посредством введения карбоната кальция в плав // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Т. 7. № 5. С. 163–177.

16 Рудакова Л.И., Нифталиев С.И., Нечёсова Ю.М., Натарова Е.С. Аспекты применения конверсионного карбоната кальция – решение экологической проблемы утилизации // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 10. С. 14–19

17 Holcomb M., DeCarlo T.M., Schoepf V., Dissard D. et al. Cleaning and pre-treatment procedures for biogenic and synthetic calcium carbonate powders for determination of elemental and boron isotopic compositions // Chemical Geology. 2015. V. 398. P. 11-21. doi: 10.1016/j.chemgeo.2015.01.019

18 Schenk A.S., Zope H., Kim Y.Y., Kros A. et al. Polymer-induced liquid precursor (PILP) phases of calcium carbonate formed in the presence of synthetic acidic polypeptides—relevance to biomineralization // Faraday Discussions. 2012. V. 159. №. 1. P. 327-344. doi: 10.1039/C7RA07783A

19 Ihli J., Wong W.C., Noel E.H., Kim Y.Y. et al. Dehydration and crystallization of amorphous calcium carbonate in solution and in air // Nature communications. 2014. V. 5. №. 1. P. 1-10. doi: 10.1038/ncomms4169

20 Okhrimenko D.V., Nissenbaum J., Andersson M.P., Olsson M.H.M. et al. Energies of the adsorption of functional groups to calcium carbonate polymorphs: the importance of− OH and− COOH groups // Langmuir. 2013. V. 29. №. 35. P. 11062-11073. doi: 10.1021/la402305x

References

1 Tarchigina N.F., Borovitskaya N.I. Involvement of wastes from the production of mineral fertilizers in marketable products. Successes of modern science 2016. no. 2. pp. 63–66. (in Russian).

2 Kharichev O.E., Efremov G.I., Tarchigina N.F., Chernova O.I. Obtaining phosphorus fertilizers with additives of conversion calcium carbonate. Chemical technology. 2015. vol. 16. no. 3. pp. 142–147. (in Russian).

3 Tolouei M., Nazari H., Naderan A., Nejad F. Effects of Calcium Carbonate Nanoparticles and Fly Ash on Mechanical and Permeability Properties of Concrete. Advances in Civil Engineering Materials 2018. vol. 7. pp. 253–258. doi: 10.1520/ACEM20180066

4 Thriveni Thenepalli. A strategy of precipitated calcium carbonate (CaCO3) fillers for enhancing the mechanical properties of polypropylene polymers. Korean Journal of Chemical Engineering 2015. vol. 32. pp. 1009–1022. doi: 10.1007/s11814-015-0057-3 (in Korean)

5 Xiaolei Huang. Ten-year long-term organic fertilization enhances carbon sequestration and calcium-mediated stabilization of aggregate-associated organic carbon in a reclaimed Cambisol. Geoderma. 2019. vol. 355. pp. 799–815. doi: 10.1016/j.geoderma.2019.113880 (in Korean)

6 Prudnikov A.D., Prudnikova A.G., Yanenkov D.A. Efficiency of ameliorants introduction for fodder crops. Feed production. 2014. no. 8. pp. 22–25. (in Russian).

7 Kurbangaleeva M.Kh. The use of solid waste of soda production as a raw material for obtaining marketable products. Cities of Russia: problems of construction, engineering, improvement and ecology: proceedings of the conference. Moscow, 2015. pp. 59–62. (in Russian).

8 Chernyshov E.M., Chernykh D.I., Potamoshneva N.D. Composites based on the utilization of technogenic (conversion) calcium carbonate: models and possible mechanisms of structure formation. Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture 2014. no. 3 (35). pp. 38–50. (in Russian).

9 Rudakova L.I., Niftaliev S.I., Natarova E.S. Conversion calcium carbonate as a filler for thermoplastics. Izvestiya vuzov. Chemistry and chemical technology. 2017. vol. 60. no. 4. pp. 100–107. (in Russian).

10 Eriksen F.R., Eustad H.K. Method of purification of calcium nitrate and obtained products. Patent RF, no. 2459765, 2008.

11 Tauk M.V., Cherkasova T.N., Nikolaeva I.I., Gorshkova N.V. Method of purification of a melt or solution of calcium nitrate. Patent RF, no. 2228906, 2003.

12 Sezemin V.A., Abramov O.B., Zakharova O.M. Method of obtaining a purified solution of calcium nitrate. Patent RF, no. 2239601, 2004.

13 Fakeev A.A., Vendilo A.G. Method of obtaining high purity calcium carbonate. Patent RF, no. 2414425, 2011.

14 Mukhacheva T.E., Medyantseva D.G., Zakharova O.M., Klimova O.S. et al. Method of obtaining a purified solution of calcium nitrate. Patent RF, no. 2507154, 2014.

15 Tarchigina N.F., Kharichev O.E., Kapralova N.S., Shaimurzina K.I. Some aspects of technological solutions for the production of nitroammophos and increasing the efficiency of the use of secondary resources by introducing calcium carbonate into the melt. Internet journal "Science Science". 2015. vol.7. no. 5. pp. 163–177. (in Russian).

16 Rudakova L.I., Niftaliev S.I., Nechesova Yu.M., Natarova E.S. Aspects of using conversion calcium carbonate – solving the ecological problem of disposal. Ecology and Industry of Russia. 2018. vol. 22. no. 10. pp. 14–19. (in Russian)

17 Holcomb M., DeCarlo T.M., Schoepf V., Dissard D. et al. Cleaning and pre-treatment procedures for biogenic and synthetic calcium carbonate powders for determination of elemental and boron isotopic compositions. Chemical Geology. 2015. vol. 398. pp. 11-21. doi: 10.1016/j.chemgeo.2015.01.019

18 Schenk A.S., Zope H., Kim Y.Y., Kros A. et al. Polymer-induced liquid precursor (PILP) phases of calcium carbonate formed in the presence of synthetic acidic polypeptides—relevance to biomineralization. Faraday Discussions. 2012. vol. 159. no. 1. pp. 327-344. doi: 10.1039/C7RA07783A

19 Ihli J., Wong W.C., Noel E.H., Kim Y.Y. et al. Dehydration and crystallization of amorphous calcium carbonate in solution and in air. Nature communications. 2014. vol. 5. no. 1. pp. 1-10. doi: 10.1038/ncomms4169

20 Okhrimenko D.V., Nissenbaum J., Andersson M.P., Olsson M.H.M. et al. Energies of the adsorption of functional groups to calcium carbonate polymorphs: the importance of− OH and− COOH groups. Langmuir. 2013. vol. 29. no. 35. pp. 11062-11073. doi: 10.1021/la402305x

Сведения об авторах

Екатерина С. Натарова ассистент, кафедра фармацевтической химии и фармацевтической технологии, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, ул. Студенческая, 10, г. Воронеж, 394036, Россия, natarovaekaterina@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-6031-0786

Юлия М. Нечёсова к.т.н., кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, malyavina.yulya@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-5700-3841

Вклад авторов

Екатерина С. Натарова написала рукопись
Юлия М. Нечёсова консультация в ходе исследования, корректировка рукописи до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Ekaterina S. Natarova assistant, pharmaceutical chemistry and pharmaceutical technology department, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Studencheskaya st., 10, Voronezh, 394036, Russia, natarovaekaterina@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-6031-0786

Yulia M. Nehcesova Dr. Sci. (Engin.), organic compounds technology, polymer processing and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, malyavina.yulya@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-5700-3841

Contribution

Ekaterina S. Natarova wrote a manuscript
Yulia M. Nehcesova consultation during the research, correcting the manuscript before submitting it to the editor and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 21/01/2021	**После редакции** 18/02/2021	**Принята в печать** 03/03/2021

Received 21/01/2021	**Accepted in revised** 18/02/2021	**Accepted** 03/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-309-315 Оригинальная статья/Research article
УДК 64 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Получение и исследование алюмосиликатного сорбента

Ирина В. Кузнецова [1] kuznetsovaiv@mail.ru 0000-0001-6666-6292
Марина В. Гетманская [1] getmanskayamarina1998@ya.ru
Сергей С. Черненко [1] sergey.x.173.mail.ru

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Разработана технологическая схема синтеза алюмосиликатного сорбента в лабораторных условиях с использованием глины Семилукского месторождения. При нагревании образца сорбента в интервале 30-225°С происходит потеря свободной влаги, в интервале температур 405-550 °С начинает испаряться связанная вода и происходит разложение органических веществ. Исследована сорбция сульфида натрия поверхностью сорбента. Определены постоянные ß и n в уравнение Фрейндлиха $A=1{,}38\times C^{1.19}$. Формируемая площадь удельной поверхности S=12,8 м^2/г. Проведено сравнительное исследование кислотно-основных свойств поверхности синтезируемого алюмосиликатного сорбента и диатомита Celite 545 60/80 MESH индикаторным методом. Адсорбция на кислотно-основных центрах поверхности синтезируемого алюмосиликатного сорбента выше адсорбции на поверхности диатомита. На поверхности синтезируемого алюмосиликатного сорбента находятся как кислотные (pK=1,7; 3,46), так и основные (pK=18,8; 9,2) центры Бренстеда. Объем пор синтезируемого алюмосиликатного сорбента равен 0,25 см^3/г. Это значение меньше, чем объем пор диатомита 1,86 см^3/г.

Ключевые слова: алюмосиликатный сорбент, кислотно-основные центры, объем пор, удельная поверхность, получение сорбента

Obtaining and research of aluminosilicate sorbent

Irina V. Kuznetsova [1] kuznetsovaiv@mail.ru 0000-0001-6666-6292
Marina V. Getmanskaya [1] getmanskayamarina1998@ya.ru
Sergey S. Chernenko [1] sergey.x.173.mail.ru

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. A technological scheme for the synthesis of an aluminosilicate sorbent in laboratory conditions using clay from the Semilukskoye deposit has been developed. When the sorbent sample is heated in the range of 30-225 ° C, a loss of free moisture occurs, in the temperature range of 405-550 ° C, bound water begins to evaporate and decomposition of organic substances occurs. The sorption of sodium sulfide by the sorbent surface has been studied. The constants *β* and *n* are determined in the Freundlich equation $A = 1.38 \times C^{1.19}$. Formed specific surface area S = 12.8 m^2 / g. A comparative study of the acid-base properties of the surface of the synthesized aluminosilicate sorbent and diatomite Celite 545 60/80 MESH by the indicator method has been carried out. The adsorption on the acid-base centers of the synthesized aluminosilicate sorbent surface is higher than the adsorption on the diatomite surface. On the surface of the synthesized aluminosilicate sorbent, there are both acidic (pK = 1.7; 3.46) and basic (pK = 18.8; 9.2) Bronsted centers The pore volume of the synthesized aluminosilicate sorbent corresponds to 0.25 cm^3 / g. This value is less than the pore volume of diatomite 1.86 cm^3 / g.

Keywords: aluminosilicate sorbent, acid-base centers, pore volume, specific surface area, sorbent production

Введение

Актуальность применения алюмосиликатных сорбентов на сегодняшний день велика: крекинг нефти, получение чистого кислорода, увеличение прочности строительных материалов [1]. Кислотостойкие природные алюмосиликатные сорбентов используются для защиты окружающей среды от ряда промышленных выбросов, очистки сточных вод, морской воды от нефти [2, 3].

Этот материал обладает поистине уникальными физико-химическими свойствами. Кристалличность обеспечивает механическую и химическую стабильность, одинаковый и контролируемый размер пор, каналов, полостей [4]. Ключевую роль в протекании сорбционных и каталитических явлений играют дефекты структуры, представляющие собой для алюмосиликатов кислотно-основные центры различной природы (силанольные группы, ненасыщенные атомы алюминия, подвижные протоны, являющиеся противоионами тетраэдров $[AlO_4]^-$, или центры, образующиеся при смещении отрицательного заряда в $[AlO_4]^-$). Информация о количестве поверхностных кислотно-основных центров алюмосиликатов позволяет дать прогнозную оценку их физико-химических свойств [5].

Анализ литературных и патентных источников показывает, что широко варьируемый химический состав алюмосиликатного сорбента позволяет модифицировать физико-химические свойства материалов. Нано размеры полостей,

Для цитирования
Кузнецова И.В., Гетманская М.В., Черненко С.С. Получение и исследование алюмосиликатного сорбента // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 309–315. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-309-315

For citation
Kuznetsova I.V., Getmanskaya M.V., Chernenko S.S. Obtaining and research of aluminosilicate sorbent. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 309–315. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-309-315

© 2021, Кузнецова И.В. и др. / Kuznetsova I.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

возможность упорядоченного расположения активных центров, селективность и направленность воздействия на химические группы молекул делают алюмосиликатные сорбенты не только инструментом нано технологий, но и их объектом [6]. База данных о синтезированных алюмосиликатных сорбентах регулярно обновляется и публикуется под названием «Atlas of Zeolite Structures».

Цель работы – получение алюмосиликатного сорбента с использованием глины ПГБ (г. Семилуки), исследование его физико-химических свойств. А также сравнительное исследование кислотно-основных свойств алюмосиликатного сорбента и диатомита.

Материалы и методы

Материалами данного исследования являлись: сухой диатомит Celite 545 60/80 MESH и синтезируемый алюмосиликатный сорбент.

Диатомит (кизельгур. инфузорная земля. горная мука. цеолит) – осадочная горная порода белого цвета, состоящая преимущественно из останков диатомовых водорослей, их скелетов. Химически диатомит на 80% состоит из водного кремнезёма. Диатомит обладает большой пористостью, способностью к адсорбции, кислотостойкостью [7]. Плотность природных диатомитов колеблется от 0,960 до 1,250 г/см^3, и зависит, главным образом, от количества глинистых примесей. Содержание примесей не велико, но они значительно влияют на температуру плавления жидкой фазы в диатомитовом материале при нагревании.

Результаты химического анализа диатомита Celite 545 60/80 MESH показали, что в нем содержится: SiO_2 91,4%; Al_2O_3 4,7%; Fe_2O_3 1,9%, CaO 0,5%. Суммарное содержание TiO_2, Na_2O, K_2O, P_2O_5 – 1,5%.

Для получения алюмосиликатного сорбента смешивали 25 г. глинозема из боксита с 3,125 мл 56% HNO_3 и 75 мл воды. Полученный материал сушили при температуре 150 ℃ в течении часа. 3 г высушенного продукта перемешивали с 51 г. глины ПГБ (Семилуки) и водой. Полученную смесь пластичной консистенции с содержанием влаги 55% формовали в виде гранул 5 мм, сушили при температуре 120–140 ℃ в течении 6 часов и прокаливали при 500–600 ℃ в течении 2-х часов с постепенным повышением температуры до 750 ℃ в течении 4-х часов (рисунок 2). Получили вещество белого цвета с размерами гранул 5 мм. Температуру термообработки определяли по данным термического анализа (рисунок 3).



Рисунок 1. Диатомит Celite 545 60/80 MESH

Figure 1. Diatomite Celite 545 60/80 MESH



Рисунок 2. Образец синтезируемого алюмосиликатного сорбента

Figure 2. Sample of synthesized aluminosilicate sorbent

Изучение процесса дегидратации синтезируемого алюмосиликатного сорбента проводили методом термогравиметрического анализа. Термогравиметрия является ценным методом количественного анализа. По кривой ТГ можно определить потерю массы образца при нагревании (Δm). Каждый пик на дифференциальной кривой (кривая ДТГ) соответствует максимальной скорости изменения массы, то есть истинной температуре химической реакции [8]. Исследования проводились на приборе модели Netzsch STA 449 F3 Jupiter при нагревании образцов в платиновых тиглях от 30 до 1000 °С со скоростью 10 К/мин в атмосфере азота. По результатам синхронного термического анализа определяли температурные интервалы процессов, происходящих при нагревании синтезированного алюмосиликатного сорбента.

Для определения сорбционных свойств синтезированного алюмосиликатного сорбента были приготовлены семь растворов различных концентраций сульфида натрия (по 100 см^3), смешивая указанные в таблица 1 объёмы 0,05 М раствора сульфида натрия с дистиллированной водой [9, 10].

Таблица 1.

Объёмы сульфида натрия и дистиллированной воды

Table 1.

Volumes of sodium sulfide and distilled water

Образец Sample	1	2	3	4	5	6	7
Кислота, см^3 Acid, cm^3	100	75	50	25	15	7	5
Вода, см^3 Water, cm^3	0	25	50	75	85	93	95

Каждый раствор делили на две равных части по 50 см^3. Одну часть используют для определения концентрации растворов до адсорбции.

Во вторую часть растворов добавляли по 3 г адсорбента и выдерживали при периодическом встряхивании в течение 40 мин. Затем алюмосиликатный сорбент из растворов отфильтровывали через бумажные складчатые фильтры и определяли концентрации растворов после

адсорбции. Концентрации исследуемых растворов до и после адсорбции (С) определяли титрованием аликвотной части раствора (10 см^3) 0,05М раствором сульфида натрия в присутствии крахмала до устойчивой синей окраски.

Сорбционную емкость (А, ммоль/г) вычисляли по формуле:

$$A = \frac{(C - Cp) * V}{m}$$

где С, Ср – исходная и равновесная концентрация ионов исследуемых металлов в растворе соответственно, ммоль/дм^3; V – объем раствора, дм^3; m – масса сорбента, г.

Экспериментальные методы оценки кислотно-основных свойств поверхности твердого тела многочисленны и разнообразны: ИК-, УФ- и видимая спектроскопия, ЭПР, адсорбционно-химические (адсорбция на границе раздела фаз), индикаторный метод, ЯМР – спектроскопия [11, 12]. Индикаторный метод основан на селективной адсорбции кислотно-основных индикаторов с заданными значениями рКа кислотно-основного перехода и спектрофотометрическом определении изменения оптической плотности их растворов. При этом силу кислотно-основных центров поверхности характеризуют рКа индикатора, адсорбирующегося в сопряженной форме, а количество адсорбированного индикатора определяет количество центров данной силы.

Вещества и реактивы, которые использовались для приготовления растворов индикаторов, а также массы индикаторов представлены в таблице 2.

Для каждого индикатора готовились пять проб.

Таблица 2.

Основные характеристики использованных индикаторов

Table 2.

The main characteristics of the indicators used

Название индикатора Name indicator	Молярная масса, г моль Molar mass, g mol	Формула Formula	Масса навески Hinge weight	Растворитель Solvent	pKa	Длина волны максимального поглощения, λ, нм Maximum absorption wavelength, λ, nm /
Метиловый фиолетовый Methyl violet	393,94	$C_{23}H_{28}N_3Cl$	0,1	60% этанол ethanol	1,7	540
Фуксин основной Fuchsin basic	323,83	$C_{20}H_{20}N_3Cl$	0,1	50% этанол ethanol	2,1	540
Метиловый оранжевый Methyl orange	327,32	$C_{14}H_{14}N_3O_3SNa$	0,1	Вода Water	3,46	464
Тимоловый синий Thymol blue	466,59	$C_{27}H_{30}O_5S$	0,1	20% этанол ethanol	8,8	440
Нейтральный красный Neutral red	288,78	$C_{15}H_{17}ClN_4$	0,1	60% этанол ethanol	9,2	490

Три параллельных пробы (0,1 г порошка анализируемого оксида + 3 мл индикатора), холостая проба (0,1 г порошка анализируемого оксида + 2 мл воды дистиллированной), раствор чистого индикатора объемом 3 мл.

Пробы хорошо перемешивались и выдерживались в течение суток при температуре 20 °С. Затем перед измерением в три параллельные пробы и пробы чистого индикатора добавлялось по 2 мл воды и пробы перемешивались, а в холостую пробу добавлялось 3 мл индикатора и проба также перемешивалась. Полученные растворы, содержащие навеску синтезированного алюмосиликатного сорбента, центрифугировались в течение 3 минут при 9000 об / мин. Исследуемые растворы изучались с помощью метода фотоколориметрии (колориметр КФК-2МП) в кюветах толщиной 1 мм относительно дистиллированной воды при длине волны, соответствующей максимуму поглощения каждого индикатора (таблица 2).

По полученным данным проводился расчет удельной адсорбции и строилась ее зависимость от рКа.

Расчет удельной адсорбции g, моль / г:

$$g = \frac{cV}{D_0} \cdot \left| \frac{D_0 - D_1}{a_1} \pm \frac{D_0 - D_2}{a_2} \right|$$

где с – концентрация индикатора, моль/дм^3; V – объем пробы, дм^3; D_0 – оптическая плотность исходного индикатора; D_1 – оптическая плотность индикатора после сорбции образцом; D_2 – оптическая плотность холостой пробы (растворитель + образец материала); α_1, α_2 – навески образца, г.

Данная методика позволяет проводить оценку общих кислотно-основных свойств поверхности синтезируемого алюмосиликатного сорбента с дифференциацией реакционных центров по силе в зависимости от pKa используемых индикаторов.

Плотность твердых образцов определяется путем погружения их в жидкость с известным значением плотности ρ_0. В качестве вспомогательной жидкости обычно используют воду или этанол, а для пород, содержащих водорастворимые соли и набухаемые в воде глины, а также карбонаты, в качестве рабочей жидкости используется очищенный керосин или ацетон. Удаление воздуха из образца производится путем вакуумирования.

Для работы с синтезируемым алюмосиликатным сорбентом, диатомитом и рабочей жидкостью (ацетон) использовали пикнометр (колба Рейшауэра). Определение пористости по ацетону проводили в соответствии с ГОСТ 6217–52 [13].

Результаты и обсуждение

В процессе нагревания предварительно высушенного сорбента от 30 до 1000 ℃ происходит уменьшение массы (кривая ТГ). Наибольшая потеря массы происходит до 550 ℃. На кривой ДТГ (рисунок 3) присутствуют два тепловых эффекта: первый в области температур 30–225 ℃ с минимумом при 91 ℃; второй – в зоне температур 405–550 ℃ с минимумом при 409 ℃.

При нагревании образца в интервале 30–225 ℃ происходит потеря свободной влаги 2,65%. В интервале температур 405–550 ℃– потеря массы 6,72%, испаряется связанная вода из алюмосиликата $zAl_2O_3nSiO_2mH_2O$ и происходит разложение органических веществ из глины, присутствующей в сорбенте. Общая потеря массы составляет 9,37% (кривая ТГ). Значит термообработку синтезированного алюмосиликата надо вести при температуре свыше 550 ℃.

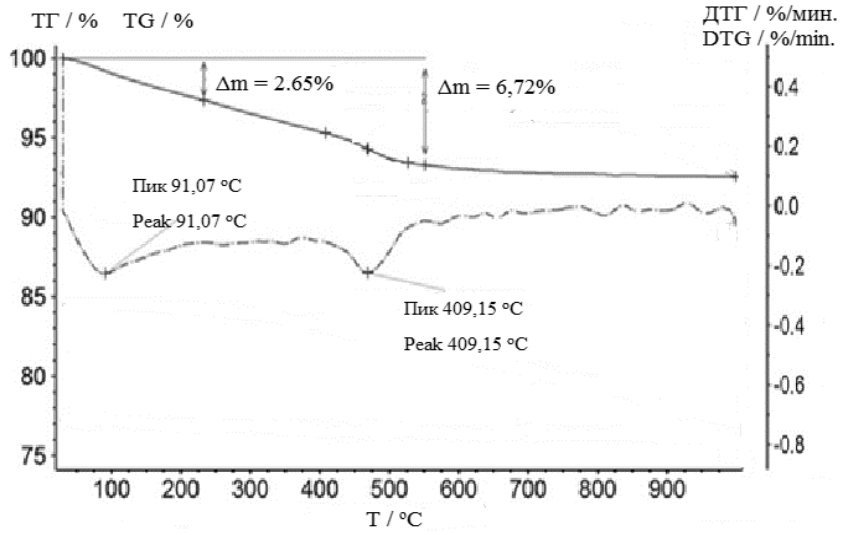


Рисунок 3. Термограмма нагревания образца от 30 до 1000 ℃

Figure 3. Thermogram of heating the sample from 30 to 1000 ℃

По результатам исследования сорбционных свойств синтезируемого алюмосиликатного сорбента по поглощению сульфида натрия была построена изотерма адсорбции (рисунок 4). Ее вид соответствует кривой сорбции на пористом твердом теле [9, 10].

Определили постоянные ß и n в уравнение Фрейндлиха из графика, построенного в координатах lgA= f(1/C) (рисунок 5). Уравнение Фрейндлиха для данного процесса выглядит так: $A=1{,}38\times C^{1.19}$.

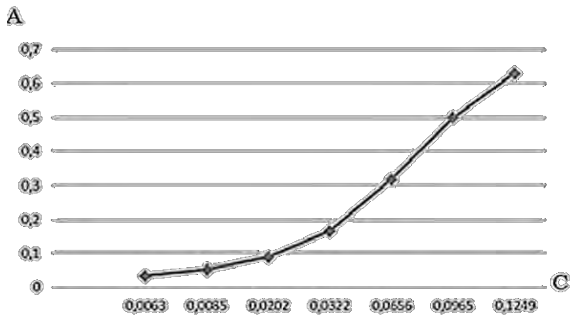


Рисунок 4. Изотерма адсорбции

Figure 4. Isotherm of adsorption

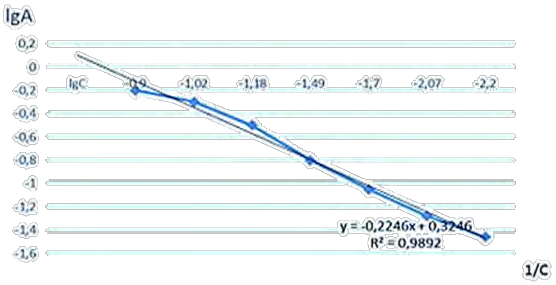


Рисунок 5. Зависимость lg A от 1/C

Figure 5. Dependence of lg A on 1/C

Определили значение предельной адсорбции A_{max}= 0.085 моль/кг. Вычислили удельную активную поверхность сорбента по формуле $S_{уд} = A_{max} \times Na \times S_0$, где $S_0 = 2{,}51 \times 10^{-19}$ м^2 - площадь занимаемой одной молекулой адсорбата Na_2 S в насыщенном адсорбционном слое. Площадь удельной поверхности синтезируемого сорбента $S_{уд}$=12,8 м^2/г.

Было проведено сравнительное исследование кислотно-основных свойств поверхности синтезируемого алюмосиликатного сорбента и диатомита (рисунок 6,7). На поверхности синтезируемого алюмосиликатного сорбента находятся как кислотные, так и основные центры Бренстеда, которые играют определяющую роль в сорбционных процессах и гетерогенном катализе для реакций полимеризации олефинов, диспропорционирования и изомеризации. Адсорбция на кислотно-основных центрах поверхности полученного сорбента (рК= 1,7; 3,46; 8,8; 9,2) выше адсорбции диатомита. Сорбция на кислотном центре с рК =3,5 диатомита выше, чем на таком же центре алюмосиликатного сорбента. Авторами [5] также было доказано присутствие как кислотных, так и основных центров на поверхности природного алюмосиликата титриметрическим методом.

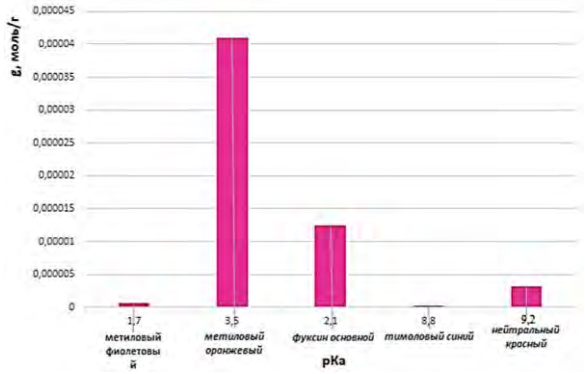


Рисунок 6. Зависимость удельной адсорбции диатомита от значения pKa индикатора

Figure 6. Dependence of the specific adsorption of diatomaceous earth on the pKa value of the indicator

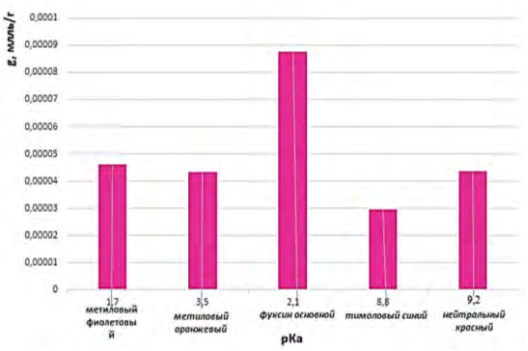


Рисунок 7. Зависимость удельной адсорбции синтезируемого алюмосиликатного сорбента от значения pKa индикатора

Figure 7. Dependence of the specific adsorption of the synthesized aluminosilicate sorbent on the pKa value of the indicator

Общий объем пор для синтезируемого алюмосиликатного сорбента 0,25 см^3/г, а диатомита – 1,86 см^3/г. Объем пор синтезируемого алюмосиликатного сорбента меньше, чем диатомита. Известно, что диатомит в связи с присутствием в его структуре кремниевых панцирей одноклеточных водорослей обладает большой внутренней поверхностью, содержит до 80–90% пустот. Этот материал имеет в основном макропористую структуру, поры с радиусом 4–40 мкм составляют около 15% суммарного объема пор [1]. То есть диатомит обладает высоким значением объема пор, но низкой кислотно-основной активностью, а синтезируемый алюмосиликат, напротив, показал высокие кислотно-основные свойства и среднее значение объема пор. Как известно [12], для увеличения кислотно-основной активности поверхности сорбента дополнительно необходима ее модификация химическим способом в зависимости от поставленных задач. В процессе синтеза алюмосиликата параллельно происходит и химическая модификация его поверхности.

Заключение

Предложена технологическая схема синтеза алюмосиликатного сорбента в лабораторных условиях с использованием глины (г. Семилуки). Методом синхронного термического анализа определены температурные интервалы процессов дегидратации и разложения органических веществ синтезируемого алюмосиликатного сорбента. По результатам исследования сорбционных свойств синтезируемого алюмосиликатного сорбента по отношению к сульфиду натрия была построена изотерма адсорбции. Определили постоянные ß и n в уравнение Фрейндлиха. Показано, что адсорбция на поверхности кислотно-основных центров синтезируемого алюмосиликатного сорбента выше адсорбции диатомита. Объем пор синтезируемого алюмосиликатного сорбента меньше, чем диатомита.

Литература

1 Шуктомова И.И., Рачкова Н.Г. Свойства цеолитов и их применение // Журн. Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2010. № 8. С. 9–11

2 Bandura L., Woszuk A., Kołodyńska D., Franus W. Application of Mineral Sorbentsfor Removal of Petroleum Substances // A Review Minerals. 2017. V. 7. P. 37. doi: 10.3390/min7030037

3 Abdugaffarova K.K. et al. New Sorption Materials on the Basis of Aluminosilicates for Wasterwater Treatment // Nano Hybrids and Composites. 2017. V. 13. P. 190–196. doi: 10.4028/www.scientific.net/nhc.13.190

4 Treto-Suárez M.A., Prieto-García J.O., Mollineda-Trujillo Á. et al. Kinetic study of removal heavy metal from aqueous solution using the synthetic aluminum silicate // Sci Rep 2020. № 10. P. 10836. doi: 10.1038/s41598–020–67720–0

5 Грибанов Е.Н., Оскотская Э.Р., Кузьменко А.П. Особенности строения, морфологии и кислотно-основных свойств поверхности алюмосиликата Хотынецкого месторождения. Конденсированные среды и межфазные границы // 2018. Т.20. № 1. С. 42–49. doi: 10.17308/kcmf.2018.20/475

6 Agliullin M.R., Talzi V.P., Filippova N.A. et al. Two-step sol–gel synthesis of mesoporous aluminosilicates: highly efficient catalysts for the preparation of 3,5 – dialkylpyridines // Appl Petrochem Res. 2018. V. 8. P. 141–151. doi: 10.1007/s13203–018–0202–0

7 Косарев А.В., Атаманова О.В., Тихомирова Е.И., Истрашкина М.В. Моделирование структуры композиционных адсорбентов “алюмосиликат-неионное ПАВ” в решении задач повышения эффективности водоочистки // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2017. Т. 17. №. 8. С. 116-120.

8 Нифталиев С.И., Кузнецова И.В., Лыгина Л.В., Саранов И.А. Термический анализ (теория и практика). Воронеж: ВГУИТ. 2018. 56 с.

9 Комендантова Е.А., Кваша Д.Ю. Адсорбция в водоочистке. Возможности природных адсорбентов // Синергия Наук. 2017. №. 11. С. 913-930.

10 Шилина А.С., Милинчук В.К. Сорбционная очистка природных и промышленных вод от катионов тяжелых металлов и радионуклидов новым типом высокотемпературного алюмосиликатного адсорбента // Журн. Сорбционные и хроматографические процессы. 2010. № 2. С. 240–241

11 Федосеева В. И., Миронова А. А. Влияние активации бентонита на его адсорбционные свойства // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. МК Аммосова. 2017. №. 4 (60).

12 Бельчинская Л.И., Ходосова Н.А., Новикова Л.А., Стрельникова О.Ю., Росснер Ф., Петухова А.В., Жабин А.В. Определение соотношения активных центров // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2016. № 4. С. 363–370.

13 Евсина Е.М. ГОСТ 6217–52 Пористость по ацетону // Журн. Научный потенциал регионов на службу модернизации. 2012. № 2. С. 150–151.

14 Белецкая М. Г., Богданович Н. И. Формирование адсорбционных свойств нанопористых материалов методом термохимической активации // Химия растительного сырья. 2013. №. 3.

15 Belchinskaya L., Novikova L., Khokhlov V., Ly Tkhi J. Contribution of ion-exchange and non-ion-exchange reactions to sorption of ammonium ions by natural and activated aluminosilicate sorbent // J. Appl. Chem. 2013. V. 9. doi: 10.1155/2013/789410

16 Akpomie K.G., Onyeabor C.F., Ezeofor C.C., Ani J.U. et al. Natural aluminosilicate clay obtained from south-eastern Nigeria as potential sorbent for oil spill remediation // Journal of African Earth Sciences. 2019. V. 155. P. 118-123. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2019.04.013

17 Semenyutina A.V., Semenyutina V.A., Khuzhakhmetova A.S., Svintsov I.P. The Decrease in the Concentration of formaldehyde in the environment of Aluminosilicate Sorbents // Key Engineering materials. Trans Tech Publications Ltd, 2019. V. 802. P. 57-68. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.802.57

18 Caliskan N., Kul A.R., Alkan S., Sogut E.G., Alacabey I. Adsorption of Zinc (II) on diatomite and manganese-oxide-modified diatomite: A kinetic and equilibrium study // Journal of hazardous materials. 2011. V. 193. P. 27-36. doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.06.058

19 Sheng G., Dong H., Li Y. Characterization of diatomite and its application for the retention of radiocobalt: role of environmental parameters // Journal of environmental radioactivity. 2012. V. 113. P. 108-115. doi: 10.1016/j.jenvrad.2012.05.011

20 Ibrahim S.S., Selim A.Q. Heat treatment of natural diatomite // Physicochem. Probl. Miner. Process. 2012. V. 48. №. 2. P. 413-424.

References

1 Shuktomova I.I., Rachkova N.G. Properties of zeolites and their application. Zhurn. Bulletin of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2010. no. 8. pp. 9–11. (in Russian).

2 Bandura L., Woszuk A., Kołodyńska D., Franus W. Application of Mineral Sorbentsfor Removal of Petroleum Substances. A Review Minerals. 2017. vol. 7. pp. 37. doi: 10.3390/min7030037

3 Abdugaffarova K.K. et al. New Sorption Materials on the Basis of Aluminosilicates for Wasterwater Treatment. Nano Hybrids and Composites. 2017. vol. 13. pp. 190–196. doi: 10.4028/www.scientific.net/nhc.13.190

4 Treto-Suárez M.A., Prieto-García J.O., Mollineda-Trujillo Á. et al. Kinetic study of removal heavy metal from aqueous solution using the synthetic aluminum silicate. Sci Rep 2020. no. 10. pp. 10836. doi: 10.1038/s41598–020–67720–0

5 Gribanov E.N., Oskotskaya E.R., Kuzmenko A.P. Features of the structure, morphology and acid-base properties of the surface of the aluminosilicate of the Khotynetsk deposit. Condensed media and interphase boundaries. 2018. vol. 20. no. 1. pp. 42–49. doi: 10.17308/kcmf.2018.20/475

6 Agliullin M.R., Talzi V.P., Filippova N.A. et al. Two-step sol–gel synthesis of mesoporous aluminosilicates: highly efficient catalysts for the preparation of 3,5 – dialkylpyridines. Appl Petrochem Res. 2018. vol. 8. pp. 141–151. doi: 10.1007/s13203–018–0202–0

7 Kosarev A.V., Atamanova O.V., Tikhomirova E.I., Istrashkina M.V. Modeling the structure of composite adsorbents "aluminosilicate-nonionic surfactant" in solving problems of increasing the efficiency of water treatment. Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University. 2017. vol. 17. no. 8. pp. 116-120. (in Russian).

8 Niftaliev S.I., Kuznetsova I.V., Lygina L.V., Saranov I.A. Thermal analysis (theory and practice). Voronezh: VSUET. 2018. 56 p. (in Russian).

9 Komendantova E.A., Kvasha D.Yu. Adsorption in water treatment. Possibilities of natural adsorbents. Synergy of Science. 2017. no. 11. pp. 913-930. (in Russian).

10 Shilina A.S., Milinchuk V.K. Sorption purification of natural and industrial waters from cations of heavy metals and radionuclides by a new type of high-temperature aluminosilicate adsorbent. Zh. Sorption and chromatographic processes. 2010. no. 2. pp. 240–241. (in Russian).

11 Fedoseeva V.I., Mironova A.A. Effect of activation of bentonite on its adsorption properties. Bulletin of the North-Eastern Federal University. MK Ammosov. 2017. no. 4 (60). (in Russian).

12 Belchinskaya L.I., Khodosova N.A., Novikova L.A., Strelnikova O.Yu., Resner F., Petukhova A.V., Zhabin A.V. Determination of the ratio of active centers. Physicochemistry of surfaces and protection of materials. 2016. no. 4. pp. 363–370. (in Russian).

13 Evsina E.M. GOST 6217–52 Acetone porosity. Zhurn. The scientific potential of the regions for the service of modernization. 2012. no. 2. pp. 150–151. (in Russian).

14 Beletskaya MG, Bogdanovich NI Formation of adsorption properties of nanoporous materials by thermochemical activation. Chemistry of vegetable raw materials. 2013. no. 3. (in Russian).

15 Belchinskaya L., Novikova L., Khokhlov V., Ly Tkhi J. Contribution of ion-exchange and non-ion-exchange reactions to sorption of ammonium ions by natural and activated aluminosilicate sorbent. J. Appl. Chem. 2013. vol. 9. doi: 10.1155/2013/789410

16 Akpomie K.G., Onyeabor C.F., Ezeofor C.C., Ani J.U. et al. Natural aluminosilicate clay obtained from south-eastern Nigeria as potential sorbent for oil spill remediation. Journal of African Earth Sciences. 2019. vol. 155. pp. 118-123. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2019.04.013

17 Semenyutina A.V., Semenyutina V.A., Khuzhakhmetova A.S., Svintsov I.P. The Decrease in the Concentration of formaldehyde in the environment of Aluminosilicate Sorbents. Key Engineering materials. Trans Tech Publications Ltd, 2019. vol. 802. pp. 57-68. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.802.57

18 Caliskan N., Kul A.R., Alkan S., Sogut E.G., Alacabey I. Adsorption of Zinc (II) on diatomite and manganese-oxide-modified diatomite: A kinetic and equilibrium study. Journal of hazardous materials. 2011. vol. 193. pp. 27-36. doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.06.058

19 Sheng G., Dong H., Li Y. Characterization of diatomite and its application for the retention of radiocobalt: role of environmental parameters. Journal of environmental radioactivity. 2012. vol. 113. pp. 108-115. doi: 10.1016/j.jenvrad.2012.05.011

20 Ibrahim S.S., Selim A.Q. Heat treatment of natural diatomite. Physicochem. Probl. Miner. Process. 2012. vol. 48. no. 2. pp. 413-424.

Сведения об авторах

Ирина В. Кузнецова к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kuznetsovaiv@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6666-6292

Марина В. Гетманская магистр, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий , пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, getmanskayamarina1998@ya.ru

Сергей С. Черненко студент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, sergey.x.173.mail.ru

Information about authors

Irina V. Kuznetsova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, Russia, kuznetsovaiv@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6666-6292

Marina V. Getmanskaya master student, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies , Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia , getmanskayamarina1998@ya.ru

Sergey S. Chernenko student, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia , sergey.x.173.mail.ru

Вклад авторов

Ирина В. Кузнецова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат
Марина В. Гетманская предложила методику проведения эксперимента
Сергей С. Черненко обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчеты

Contribution

Irina V. Kuznetsova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Marina V. Getmanskaya proposed a methodology for conducting an experiment
Sergey S. Chernenko review of literary sources on the problem under study, conducted an experiment, performed calculations

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 27/01/2021	**После редакции** 16/02/2021	**Принята в печать** 02/03/2021

Received 27/01/2021	**Accepted in revised** 16/02/2021	**Accepted** 02/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-316-322 Оригинальная статья/Research article
УДК 64 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Особенности высоконаполненных композитов на основе различных марок поливинилового спирта

Любовь Н.Студеникина [1] lubov-churkina@ya.ru 0000-0001-6613-4974
Светлана Ю. Домарева [1] domarevasveta@gmail.com 0000-0003-0524-8948
Юлия Е. Голенских [1] yu.golenskih@ya.ru 0000-0002-0151-3479
Анна В. Матвеева [1] super-friks2016@yandex.ru 0000-0002-8410-8275

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Композиты на основе поливинилового спирта (ПВС) и полисахаридов (ПС) имеют значительный потенциал для применения в качестве компостируемых упаковочных материалов, а также в различных областях растениеводства. ПВС выпускаются промышленностью различных марок, отличающихся молекулярной массой (ММ) и остаточным содержанием винилацетатных (ВА) групп, и как следствие - степенью гидролиза. В зависимости от марки ПВС и природы наполнителя такие свойства композитов на их основе, как водостойкость, прочность, степень биоконверсии и т.д. будут существенно различаться. Цель работы: комплексная оценка свойств высоконаполненных композитов на основе ПВС различных марок, отличающихся степенью гидролиза, и полисахаридов. Объекты исследования: композиты, полученные с помощью прямого совмещения 5%- го раствора ПВС (марок 1799, ВС-05, ВР-05, KurarayPoval 3-83) и порошка ПС (древесной микроцеллюлозы - МЦД, кукурузного нативного крахмала - КК), с добавлением и без добавления пластификатора (П) - глицерина, с последующим обезвоживанием на воздухе либо в вакуум-сушильном шкафу. Исходя из наличия внешних дефектов после обезвоживания и прочностных показателей материала было установлено, что для ПВС-1799 возможно достичь степени наполнения 80 об.%, а для ПВС ВР-05, ВС-05 и KurarayPoval 3-83 - не более 50 об.% без пластификатора и до 70 об.% в присутствии пластификатора. Отмечено, что при наполнении ПВС крахмалом до 50 об.% обезвоженные композиты являются прозрачными или полупрозрачными, что дает им дополнительные преимущества в качестве упаковочных материалов (в т.ч. пленочных). Для композитов на основе ПВС-1799 установлено, что максимальное водопоглощение (250% масс.), имеет ПВС, наполненный МЦД (20:80 об.%), причем введение пластификатора (5 об.%) существено снижает степень водопоглощения (до 150% масс.), что не характерно для данной марки ПВС, наполненного КК (водопоглощение составило около 50 % масс. с пластификатором и без). Композиты на основе ПВС марок ВС-05, ВР-05, KurarayPoval 3-83 растворяются в воде при комнатной температуре за 5-10 минут. При предварительной оценке биодеградации исследуемых композитов на основе ПВС-1799 установлено, что в полимерной матрице при микроскопировании после 6 месяцев компостирования и почвенного теста наблюдались микротрещины и участки с иммобилизованной микробиотой, однако, значительных разрушений целостности полимера данной марки за указанный период компостирования не произошло, что подчеркивает сложный характер биодеградации ПВС с высокой ММ и низким содержанем ВА-групп.

Ключевые слова: композит, поливиниловый спирт, полисахарид, микроцеллюлоза, крахмал, компостируемый пластик

Features of high-filled composites based on various brands of polyvinyl alcohol

Lyubov N. Studenikina [1] lubov-churkina@ya.ru 0000-0001-6613-4974
Svetlana Yu. Domareva [1] domarevasveta@gmail.com 0000-0003-0524-8948
Yulia E. Golenskikh [1] yu.golenskih@ya.ru 0000-0002-0151-3479
Anna V. Matveeva [1] super-friks2016@yandex.ru 0000-0002-8410-8275

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Composites based on polyvinyl alcohol (PVA) and polysaccharides (PS) have significant potential for use as compostable packaging materials, as well as in various fields of crop production. PVS are produced by the industry of various brands that differ in molecular weight (MM) and the residual content of vinyl acetate (BA) groups, and as a result - the degree of hydrolysis. Depending on the brand of PVA and the nature of the filler, such properties of composites based on them as water resistance, strength, degree of bioconversion, etc.will differ significantly. The purpose of the work: a comprehensive assessment of the properties of high-filled composites based on PVA of various brands, differing in the degree of hydrolysis, and polysaccharides. Objects of research: composites obtained by direct combination of a 5% solution of PVA (grades 1799, VS-05, BP-05, KurarayPoval 3-83) and PS powder (wood microcellulose - MCD, corn native starch - KK), with and without the addition of a plasticizer (P) - glycerin, followed by dehydration in air or in a vacuum drying cabinet. Based on the presence of external defects after dehydration and the strength characteristics of the material, it was found that for PVA-1799 it is possible to achieve a filling degree of 80 vol.%, for a PVA BP-05, VS-05 KurarayPoval and 3-83-no more than 50 vol.% without plasticizer and up to 70 vol.% in the presence of a plasticizer. It is noted that when filling PVA with starch up to 50 vol.% dehydrated composites are transparent or semi-transparent, which gives them additional advantages as packaging materials (including film). For composites based on PVA-1799, it was found that the maximum water absorption (250% by weight) has a PVA filled with MCD (20: 80 vol.%), and the introduction of a plasticizer (5 vol.%) significantly reduces the degree of water absorption (up to 150% by weight), which is not typical for this brand of PVA filled with CC (water absorption was about 50% by weight with and without plasticizer). Composites based on PVA grades VS-05, BP-05, KurarayPoval 3-83 dissolve in water at room temperature for 5-10 minutes. During the preliminary assessment of the biodegradation of the studied PVA-1799 composites, it was found that micro-cracks and areas with immobilized microbiota were observed in the polymer matrix during microscopy after 6 months of composting and soil testing, however, no significant damage to the integrity of the polymer of this brand occurred during the specified composting period, which emphasizes the complex nature of the biodegradation of PVA with high MM and low content of VA groups.

Keywords: composite, polyvinyl alcohol, polysaccharide, microcellulose, starch, compostable plastic

Введение

При существующих темпах роста объемов твердых коммунальных отходов (ТКО), составляющих 1–2% в год, в 32 регионах РФ мощности полигонов для размещения отходов будут исчерпаны до 2024 года, а в 17 – до 2022 года [1]. Несмотря на начатую в 2019 году реформу обращения с ТКО, ситуация в этой сфере пока

Для цитирования
Студеникина Л.Н., Домарева С.Ю., Голенских Ю.Е., Матвеева А.В. Особенности высоконаполненных композитов на основе различных марок поливинилового спирта // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 316–322. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-316-322

For citation
Studenikina L.N., Domareva S.Yu., Golenskikh Yu.E., Matveeva A.V. Features of high-filled composites based on various brands of polyvinyl alcohol. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 316–322. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-316-322

© 2021, Студеникина Л.Н. и др. / Studenikina L.N. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

остается неблагополучной: уровень переработки отходов не превышает 7%, а более 90% по-прежнему направляется на полигоны и свалки, которые часто не отвечают требованиям природоохранного законодательства.

Значительная часть ТКО – это органические (пищевые, растительные) отходы, которые можно утилизировать в полезные продукты (компосты, почвогрунты и пр.) методами компостирования, а также различные упаковочные материалы, большинство из которых может подвергаться вторпереработке. Но, к сожалению, для значительной доли пластиковых отходов вторпереработка является слаболиквидной, и в этой связи целесообразно заменить такие пластики на биоразлагаемые (компостируемые) аналоги [2].

Биопластики (биополимеры) – это обобщающее название нескольких видов материалов, среди которых различают биоосно́вные полимеры (bio-basedplastic, т. е. полученные на основе биологического сырья) и биоразлагаемые/компостируемые полимеры (biodegradableplastic, т. е. подвергаемые биораспаду по окончанию жизненного цикла). Следует отметить, что биоосновные пластики не всегда поддаются биологическому разложению, а компостируемые пластики не обязательно изготавливаются из биологического сырья (например, компостируемый пластик PBAT делают из нефтепродуктов).

Технологии получения биоразлагаемых пластиков (БРП) развиваются уже более 20 лет. Однако, такие БРП, как полилактид (PLA), полигидроксибутират (PGB) и прочие продукты микробиологического синтеза, а также сшитые природные полимеры, до сих пор не получили массового распространения из-за высокой стоимости, сложности получения, отсутствия производства на территории РФ, специфических свойств. Оксоразлагаемые пластмассы хоть и являются возможным решением проблемы пластикового мусора, но до сих пор не ясны механизмы их конечной биодеградации, а также известно, при их деструкции могут выделяться токсичные вещества, в частности, формальдегид [3].

Чтобы достичь полного рыночного потенциала, БРП должны обладать большей функциональностью и производительностью, авторы [4] прогнозируют, что в дальнейшем развитии рынка решающую роль будет играть разработка новых продуктов и улучшение свойств ранее разработанных.

В последнее время активно развиваются исследования в области разработки технологий получения композитных БРП, включающих различные полимерные матрицы синтетического происхождения, подвергаемые гидролитической или ферментативной деструкции, и наполнители для удешевления и придания необходимых свойств материалу.

Поливиниловый спирт (ПВС) – один из немногих синтетических термопластов, способный к биоразложению, он вдвое дешевле БРП, полученных микробиологическим синтезом, производится в РФ и включен в перечень биоразлагаемых пластиков по ГОСТ Р 57432–2017. Однако стоимость ПВС вдвое превышает стоимость распространенных упаковочных полиолефинов (полиэтилена, полипропилена и др.), а его низкая водо- и атмосферостойкость ограничивают спектр применения. Поэтому актуальным является вопрос модификации ПВС различными наполнителями для снижения стоимости и улучшения потребительских свойств.

ПВС (рисунок 1) выпускаются промышленностью различных марок, отличающихся молекулярной массой (ММ) и остаточным содержанием винилацетатных (ВА) групп, и как следствие – степенью гидролиза.

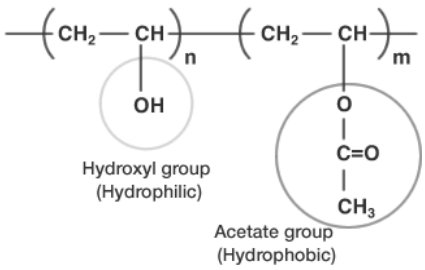


Рисунок 1. Химическое строение ПВС

Figure 1. Chemicalstructureof PVA

Содержание остаточных ВА-звеньев в пределах 1,0–1,5 масс. % практически не отражается на химических и физико-химических свойствах ПВС, эффект их влияния в практическом аспекте ощущается, начиная, примерно, с 4,0–5,0 масс.%. Поливиниловый спирт, содержащий 8–10% остаточных ацетатных групп, уже растворяется в воде при комнатной температуре.

Перспективность применения композитов на основе ПВС и полисахаридов (ПС) в качестве БРП отмечают отечественные и зарубежные исследователи [5-11]. В качестве наполнителей могут применяться любые полисахариды и их смеси, удовлетворяющие технологическим и потребительским требованиям [12]. С технико-экономической точки зрения целесообразно использовать целлюлозу и крахмал.

Использование микроцеллюлозы с размером частиц до 200 мкм в полимерных композициях в сравнении с порошковой целлюлозой, размер частиц которой достигает 2000 мкм, имеет ряд преимуществ: получение изделий с высокими прочностными показателями; изготовление тонкостенных изделий и материалов; формование композиций с высоким содержанием полисахаридов и др. [13].

Композиты на основе ПВС и ПС можно получать методом жидкофазного наполнения, что обеспечит равномерное распределение наполнителя в матрице и позволит избежать термомеханической деструкции полисахаридов, однако, такая технология требует дальнейшего обезвоживания материала. В научно-технических источниках крайне недостаточно информации о промышленно применимых способах обезвоживания таких композитов и влиянии технологических параметров процесса на свойства получаемых материалов.

Также известно, что биодеградация ПВС в естественных условиях окружающей среды носит сложный характер, и до настоящего времени установлены далеко не все закономерности влияния биотических и абиотических факторов среды на биоконверсию ПВС с различной степенью полимеризации, различным содержанием ацетатных групп и др., что требует комплексного исследования эффективности биодеградации композитов на основе ПВС и определения условий, сроков и продуктов их деструкции.

Что касается области применения, то следует понимать, что БРП на основе водорастворимых матриц обладают низкой влагостойкостью, поэтому целесообразно их внедрение в такие сегменты, как упаковка сухих и замороженных продуктов продовольственного или непродовольственного назначения. Кроме того, применение компостируемых материалов с регулируемым сроком биодеградации целесообразно не только в индустрии упаковки, но и имеет значительный потенциал в области растениеводства (матрицы удобрений пролонгированного действия, защитные оболочки семян, биоразлагаемые контейнеры пересадки растений и проч.).

Цель работы – комплексная оценка свойств высоконаполненных композитов, полученных по технологии жидкофазного совмещения, на основе ПВС различных марок, отличающихся степенью гидролиза, и полисахаридов.

Материалы и методы

Объекты исследования: композиты, полученные с помощью прямого совмещения 5%-го раствора ПВС (марок 1799, ВС-05, ВР-05, KurarayPoval 3–83) и порошка ПС (древесной микроцеллюлозы – МЦД, кукурузного нативного крахмала – КК), с добавлением и без добавления пластификатора (П) – глицерина, с последующим обезвоживанием на воздухе либо в вакуум-сушильном шкафу.

Методы исследования: дефектообразование при обезвоживании оценивали визуально по наличию трещин, расслоений, деформаций формы и проч., прочностные показатели оценивали по ГОСТ 11262–2017 с помощью разрывной машины РМ-50 с программным обеспечением StretchTest, водопоглощение оценивали по ГОСТ 4650–2014.

ПВС марки 1799 имеет высокую ММ (вязкость 24–26 мПз) и низкое содержание ВА – групп (не более 1,0 масс.%), он не растворяется в холодной воде и является одной из наиболее дешевых марок ПВС. Это делает его привлекательным не только с экономической точки зрения, а также обеспечивает некоторые преимущества потребительских свойств (прочность, лучшая водостойкость и др.), но, однако, может ингибировать его биодеградацию.

ПВС марок ВР-05, ВС-05, KurarayPoval 3–83, напротив, имеют низкую ММ (вязкость 5–6 мПз) и способны достаточно быстро растворяться в холодной воде. Это может несколько ограничивать область применения, однако позволяет прогнозировать полную биоконверсию при компостировании.

Результаты

На первом этапе исследования определяли максимально возможную степень наполнения ПВС полисахаридами. Исходя из наличия внешних дефектов после обезвоживания и прочностных показателей материала было установлено, что для ПВС 1799 возможно достичь степени наполнения 80 об.%, а для ПВС ВР-05, ВС-05 и KurarayPoval 3–83 – не более 50 об.% без пластификатора и до 70 об.% в присутствии пластификатора. Отмечено, что при наполнении ПВС крахмалом до 50 об.% обезвоженные композиты являются прозрачными или полупрозрачными, что дает им дополнительные преимущества в качестве упаковочных материалов (в т. ч. пленочных).

На рисунке 2 показаны примеры дефектообразования при получении высоконаполненных БРП на основе ПВС и ПС (крахмала).

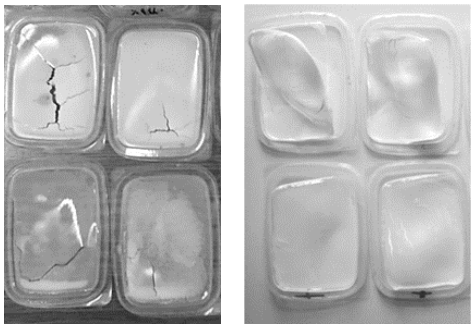


Рисунок 2. Примеры дефектообразования при получении высоконаполненных композитов на основе ПВС и ПС (растрескивание, деформация формы)

Figure 2. Examples of defect formation in the production of high-filled composites based on PVA and PS (cracking, deformation of the shape)

Для композитов на основе ПВС-1799 определяли степень водопоглощения и изменение прочности при влагонасыщении (для БРП на основе ПВС с высоким содержанием ВА-групп такая оценка невозможна ввиду растворимости материала в холодной воде).

На рисунке 3 представлена динамика водопоглощения для композитов, отличающихся природой наполнителя и наличием пластификатора. Видно, что максимальное водопоглощение имеет ПВС, наполненный МЦД, причем введение пластификатора существено снижает степень водопоглощения, что не характерно для ПВС, наполненного КК.

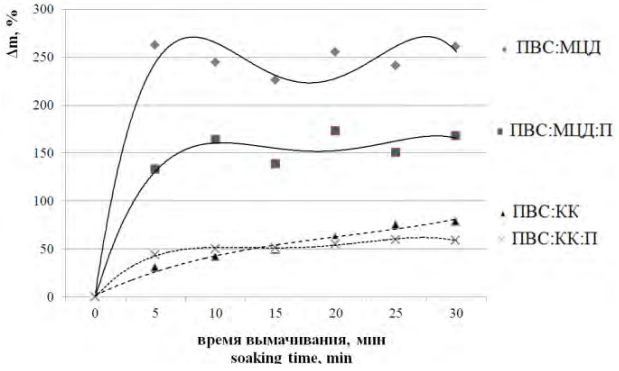


Рисунок 3. Динамика водопоглощения композитов ПВС: ПС (20:80 об.%) и ПВС: ПС:П (20:75:5 об.%)

Figure 3. Dynamics of water absorption of composites PVS: PS (20: 80 vol.%) and PVA:PS:P (20: 75: 5 vol.%)

На рисунке 4. показана кратность снижения прочности при разрыве и кратность повышения удлинения при разрыве для образцов ПВС(1799): ПС: П, 20:75:5 об.%, после экспозиции в воде в течении 1 часа. Через час вымачивания у композита ПВС: МЦД:П резко снизилась прочность и незначительно повысилось удлинение при разрыве, а у композита ПВС: КК:П, напротив, значительно возросло удлинение при незначительной потере прочности, что говорит о взаимодействии компонентов крахмалонаполненного композита в водной среде.

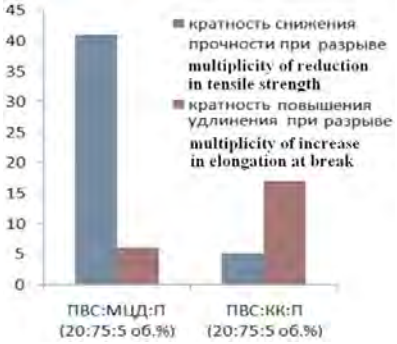


Рисунок 4. Кратность изменения прочностных показателей композита ПВС: ПС:П (20:75:5 об.%) через 1 час экспозиции в воде

Figure 4. Multiplicity of changes in the strength parameters of the composite "PVA:PS:P" (20: 75: 5 vol.%) after 1 hour of exposure in water

Прочностные показатели исследуемых композитов отражены в таблице 1.

Таблица 1.

Прочностные показатели высоконаполненных ПВС различных марок в зависимости от природы полисахарида

Table 1.

Strength characteristics of high-filled PVS of various grades, depending on the nature of the polysaccharide

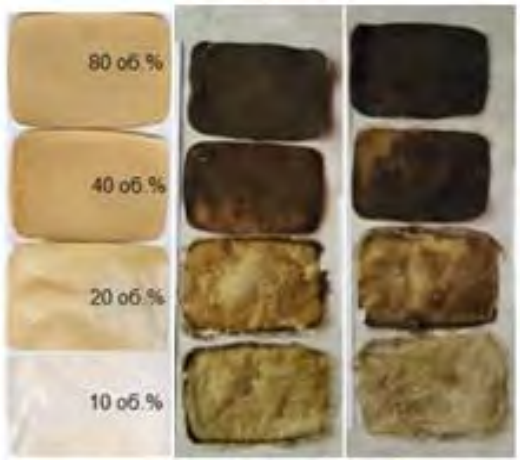
Показатель Indicator	Значения показателей в зависимости от состава композита Values of indicators depending on the composition of the composite					
	ПВС (1799):ПС: ПЛ (20:75:5 об.%)		ПВС(ВР-05): ПС: ПЛ (50:45:5 об.%)		ПВС(ВС-05): ПС: ПЛ (50:45:5 об.%)	
	МЦ	КК	МЦ	КК	МЦ	КК
Прочность при разрыве, Мпа | Tensile strength, MPa	3,2	2,1	0,38	0,73	0,64	0,43
Относительное удлинение, % | Relative elongation, %	6,7	9,8	12,7	5,2	20,5	60,1

Хотя процессы биодеградации протекают в водной среде, однако, высокие значения способности материала к сорбции воды и диффузии водяного пара не гарантируют высокой скорости биодеградации [14]. В исследованиях [15] отмечено, что ПВС с высокой синдиотактичностью (s-PVA) может быть не восприимчив к биодеградации, в отличие от атактического (a-PVA) и изотактического (i-PVA), которые теряют до 60% массы в первые 12 суток биологического воздействия.

Биодеградация полимеров зависит от внешних и внутренних факторов (биотические и абиотические факторы среды, состав и структура полимера или композита). Природные биохимические среды отличаются друг от друга как биотическими (состав биоценоза), так и абиотическими (температура, влажность, химический состав и т. д.) параметрами. Установление характера поведения композитов на основе ПВС в различных биосредах (в первую очередь, таких как почва и компост), позволит оптимизировать условия их утилизации.

Биодеградация ПВС изучалась в работах [16-20]. Известно, что наибольшую роль в микробной атаке на полимеры в окружающей среде играют бактерии *Cytophaga, Bacillus, Streptomyces, Micobacterium, Pseudomonas*,

мицеллярные грибы и дрожжи *Aspergillus, Alternaria, Penicillium, Trichoderma,* и ряд других. В работе [16] установлено, что биодеструкция ПВС осуществляется с помощью ферментов ПВА-оксидазы и алкогольдегидрогеназы, однако бактерия, продуцирующая необходимый фермент (бактерия *Sphingomonassp*, выделенная из активного ила) требует определенных факторов роста и симбиотического взаимодействия с другими представителями биоценоза, что не всегда осуществимо на практике.



(a) (b) (c)

Рисунок 5. Образцы бинарных композитов ПВС (1799): МЦ с различной степенью наполнения: (a) начальные, (b) через 3 месяца инкубации в компосте, (c) через 3 месяца инкубации в черноземе

Figure 5. Samples of binary composites PVA(1799): MC with different degrees of filling : (a) initial, (b) after 3 months of incubation in compost, (c) after 3 months of incubation in chernozem

При предварительной оценке биодеградации исследуемых композитов установлено, что в полимерной матрице ПВС-1799 при микроскопировании после 6 месяцев компостирования и почвенного теста наблюдались микротрещины и участки с иммобилизованной микробиотой, однако, значительных разрушений целостности полимера данной марки за указанный период компостирования не произошло (рисунок 5). Это подчеркивает сложный характер биодеградации ПВС с высокой молекулярной массой и низким содержанием остаточных ацетатных групп в окружающей среде и требует дополнительных исследований для установления условий и сроков компостирования композитов на его основе.

Заключение

Установлено, что ММ и содержание остаточных ВА-групп в составе ПВС различных марок влияет не только на эффективность гидролиза самой полимерной матрицы, но также лимитирует степень наполнения композита, скорость его биодеградации, определяет прочностные свойства материалов.

ПВС с низким содержанием ВА-групп (не более 1,0 масс.%) обладают хорошей водостойкостью и прочностью, но, однако, имеют сложный характер биодеградации.

ПВС с высоким содержанием ВА-групп способны достаточно быстро растворяться в холодной воде, что несколько ограничивает область их применения, однако позволяет прогнозировать полную биоконверсию при компостировании.

Литература

1 Бюллетень Счетной палаты № 9 (274) 2020 г. URL: https://ach.gov.ru/statements/byulleten-schetnoy-palaty-9-274-2020-g

2 Пророкова Н.П. Проблемы биоразлагаемых полимеров. Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (smartex). 2013. №1. С.47-54.

3 Протасов А.В., Студеникина Л.Н., Корчагин В.И., Ахматова Н.Г. и др. Оценка деструкции модифицированного прооксидантами полиэтилена в контексте экобезопасности // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 352–357. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-352-357

4 Просеков А.Ю., Кригер О.В., Миленьтева И.С, Бабич О.О. Основы биотехнологии. Изд-во: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2015. 214 с.

5 Begum M.H.A., Hossain M.M., Gafur M.A. et al. Preparation and characterization of polyvinyl alcohol–starch composites reinforced with pulp // SN Applied Sciences. 2019. V. 1. №. 9. P. 1-9. doi: 10.1007/s42452–019–1111–2

6 Guo B., Zha D., Li B., Yin P. et al. Polyvinyl alcohol microspheres reinforced thermoplastic starch composites // Materials. 2018. V. 11. №. 4. P. 640–643. doi: 10.3390/ma11040640

7 Qiu K., Netravail A.N. Polyvinyl alcohol based biodegradable polymer nano-composites, biodegradable polymers. New York: Nova Science Publishers Inc., 2015. P 325–379.

8 Singha A.S., Singh A., Priya B., Pathania D. Cornstarch/poly (vinyl alcohol) biocomposite blend films: Mechanical properties, thermal behavior, fire retardancy, and antibacterial activity // International Journal of Polymer Analysis and Characterization. 2015. V. 20. № 4. P. 357-366.

9 Папкина В.Ю., Малинкина О.Н., Шиповская А.Б., Гребенюк Л.В. и др. Свойства, деградация в почвогрунте и фитотоксичность композитов крахмала с поливиниловым спиртом // Изв. Сарат. ун-та. Нов.сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18. № 1. С. 25–35. doi: 10.18500/1816–9775–2018–18–1–25–35

10 Павленок А.В., Давыдова О.В., Дробышевская Н.Е. и др. Получение и свойства биоразлагаемых композиционных материалов на основе поливинилового спирта и крахмала // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. 2018. №1. С. 38-46.

11 Aydına A.A., Ilberg V. Effect of different polyol-based plasticizers on thermal properties of polyvinyl alcohol : starch blends // Carbohyd. Polym. 2016. V. 136. P. 441–448. doi: 10.1016/j.carbpol.2015.08.093

12 Литвяк В.В. Перспективы производства современных упаковочных материалов с применением биоразлагаемых полимерных композиций // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2019. № 2. С. 84-94.

13 Корчагин В.И., Студеникина Л.Н., Шелкунова М.В. Реологическое поведение бинарной полимерной композиции // Пластические массы. 2019. № 9–10. С. 52–55. doi: 10.35164/0554-2901-2019-9-10-52-55

14 Shtilman M.I. Biodegradation of polymers // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2015. V. 8. №. 2. P. 113.

15 Dorigato A., Pegoretti A. Biodegradable single-polymer composites from polyvinyl alcohol // Colloid and Polymer science. 2012. V. 290. №. 4. P. 359-370. doi: 10.1007/s00396-011-2556-z

16 Guzman-Puyol S., Ceseracciu L., Heredia-Guerrero J.A., Anyfantis G.C. et al. Effect of trifluoroacetic acid on the properties of polyvinyl alcohol and polyvinyl alcohol–cellulose composites // Chemical Engineering Journal. 2015. V. 277. P. 242-251. doi: 10.1016/j.cej.2015.04.092

17 Li W., Yue J., Liu S. Preparation of nanocrystalline cellulose via ultrasound and its reinforcement capability for poly (vinyl alcohol) composites // Ultrasonics sonochemistry. 2012. V. 19. №. 3. P. 479-485. doi: 10.1016/j.ultsonch.2011.11.007

18 Sabaa M.W., Abdallah H.M., Mohamed N.A., Mohamed R.R. Synthesis, characterization and application of biodegradable crosslinked carboxymethyl chitosan/poly (vinyl alcohol) clay nanocomposites // Materials Science and Engineering: C. 2015. V. 56. P. 363-373. doi: 10.1016/j.msec.2015.06.043

19 Sha D., Yang X., Wang B., Liu X. et al. Surface Grafting of a Quaternary Ammonium Salt on Macroporous Polyvinyl Alcohol-Formaldehyde Sponges and Their Highly Efficient Antibacterial Performance // ACS Applied Polymer Materials. 2020. V. 2. №. 11. P. 4936-4942. doi: 10.1021/acsapm.0c00822

20 Kayaci F., Uyar T. Encapsulation of vanillin/cyclodextrin inclusion complex in electrospun polyvinyl alcohol (PVA) nanowebs: Prolonged shelf-life and high temperature stability of vanillin // Food chemistry. 2012. V. 133. №. 3. P. 641-649. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.01.040

References

1 Bulletin of the Accounts Chamber No. 9 (274) 2020. Available at: https://ach.gov.ru/statements/byulleten-schetnoy-palaty-9-274-2020-g (in Russian).

2 Prorokova N.P. Problems of biodegradable polymers. Physics of fibrous materials: structure, properties, high technology and materials (smartex). 2013. no. 1. pp. 47-54. (in Russian).

3 Protasov A.V., Studenikina L.N., Korchagin V.I., Akhmatova N.G. Evaluation of the destruction of polyethylene modified with prooxidants in the context of environmental safety. Proceedings of VSUET. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 352–357. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-352-357 (in Russian).

4 Prosekov A.Yu., Kriger O.V., Milenteva I.S., Babich O.O. Fundamentals of Biotechnology. Publishing house: Kemerovo Technological Institute of Food Industry, 2015. 214 p. (in Russian).

5 Begum M.H.A., Hossain M.M., Gafur M.A. et al. Preparation and characterization of polyvinyl alcohol–starch composites reinforced with pulp. SN Applied Sciences. 2019. vol. 1. no. 9. pp. 1-9. doi: 10.1007/s42452–019–1111–2

6 Guo B., Zha D., Li B., Yin P. et al. Polyvinyl alcohol microspheres reinforced thermoplastic starch composites. Materials. 2018. vol. 11. no. 4. pp. 640–643. doi: 10.3390/ma11040640

7 Qiu K., Netravail A.N. Polyvinyl alcohol based biodegradable polymer nano-composites, biodegradable polymers. New York, Nova Science Publishers Inc., 2015. pp. 325–379.

8 Singha A.S., Singh A., Priya B., Pathania D. Cornstarch/poly (vinyl alcohol) biocomposite blend films: Mechanical properties, thermal behavior, fire retardancy, and antibacterial activity. International Journal of Polymer Analysis and Characterization. 2015. vol. 20. no. 4. pp. 357-366.

9 Papkina V.Yu., Malinkina O.N., Shipovskaya A.B., Grebenyuk L.V. et al. Properties, degradation in soil and phytotoxicity of starch composites with polyvinyl alcohol. Izv. Sarat. un-that. New ser. Ser. Chemistry. Biology. Ecology. 2018. vol. 18. no. 1. pp. 25–35. doi: 10.18500/1816–9775–2018–18–1–25–35 (in Russian).

10 Pavlenok A.V., Davydova O.V., Drobyshevskaya N.E. et al. Obtaining and properties of biodegradable composite materials based on polyvinyl alcohol and starch. Bulletin of GSTU im. P.O. Sukhoi. 2018. no. 1. pp. 38-46. (in Russian).

11 Aydına A.A., Ilberg V. Effect of different polyol-based plasticizers on thermal properties of polyvinyl alcohol: starch blends. Carbohyd. Polym. 2016. vol. 136. pp. 441–448. doi: 10.1016/j.carbpol.2015.08.093

12 Litvyak V.V. Prospects for the production of modern packaging materials using biodegradable polymer compositions. Journal of the Belarusian State University. Ecology. 2019. no. 2. pp. 84-94. (in Russian).

13 Korchagin V.I., Studenikina L.N., Shelkunova M.V. Rheological behavior of a binary polymer composition. Plastics. 2019. no. 9-10. pp. 52–55. doi: 10.35164/0554-2901-2019-9-10-52-55 (in Russian).

14 Shtilman M.I. Biodegradation of polymers. Journal of Siberian Federal University. Biology. 2015. vol. 8. no. 2. pp. 113.

15 Dorigato A., Pegoretti A. Biodegradable single-polymer composites from polyvinyl alcohol. Colloid and Polymer science. 2012. vol. 290. no. 4. pp. 359-370. doi: 10.1007/s00396-011-2556-z

16 Guzman-Puyol S., Ceseracciu L., Heredia-Guerrero J.A., Anyfantis G.C. et al. Effect of trifluoroacetic acid on the properties of polyvinyl alcohol and polyvinyl alcohol–cellulose composites. Chemical Engineering Journal. 2015. vol. 277. pp. 242-251. doi: 10.1016/j.cej.2015.04.092

17 Li W., Yue J., Liu S. Preparation of nanocrystalline cellulose via ultrasound and its reinforcement capability for poly (vinyl alcohol) composites. Ultrasonics sonochemistry. 2012. vol. 19. no. 3. pp. 479-485. doi: 10.1016/j.ultsonch.2011.11.007

18 Sabaa M.W., Abdallah H.M., Mohamed N.A., Mohamed R.R. Synthesis, characterization and application of biodegradable crosslinked carboxymethyl chitosan/poly (vinyl alcohol) clay nanocomposites. Materials Science and Engineering: C. 2015. vol. 56. pp. 363-373. doi: 10.1016/j.msec.2015.06.043

19 Sha D., Yang X., Wang B., Liu X. et al. Surface Grafting of a Quaternary Ammonium Salt on Macroporous Polyvinyl Alcohol-Formaldehyde Sponges and Their Highly Efficient Antibacterial Performance. ACS Applied Polymer Materials. 2020. vol. 2. no. 11. pp. 4936-4942. doi: 10.1021/acsapm.0c00822

20 Kayaci F., Uyar T. Encapsulation of vanillin/cyclodextrin inclusion complex in electrospun polyvinyl alcohol (PVA) nanowebs: Prolonged shelf-life and high temperature stability of vanillin. Food chemistry. 2012. vol. 133. no. 3. pp. 641-649. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.01.040

Сведения об авторах

Любовь Н.Студеникина к.т.н., доцент, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lubov-churkina@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-6613-4974

Светлана Ю. Домарева студент, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, domarevasveta@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-0524-8948

Юлия Е. Голенских студент, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, yu.golenskih@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-0151-3479

Анна В. Матвеева студент, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, super-friks2016@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-8410-8275

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Lyubov N. Studenikina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, industrial ecology, chemical and petrochemical production equipment department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lubov-churkina@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-6613-4974

Svetlana Yu. Domareva student, industrial ecology, chemical and petrochemical production equipment department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, domarevasveta@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-0524-8948

Yulia E. Golenskikh student, industrial ecology, chemical and petrochemical production equipment department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, yu.golenskih@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-0151-3479

Anna V. Matveeva student, industrial ecology, chemical and petrochemical production equipment department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, super-friks2016@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-8410-8275

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/01/2021	**После редакции** 17/02/2021	**Принята в печать** 03/03/2021

Received 20/01/2021	**Accepted in revised** 17/02/2021	**Accepted** 03/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-323-329 Оригинальная статья/Research article
УДК 640 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Исследование качества воды в процессе ее очистки с использованием ультрафильтрации методом дифференциально-сканирующей калориметрии

Игорь А. Саранов [1] mr.saranov@mail.ru 0000-0002-9510-5168
Сабухи И. Нифталиев [1] niftaliev@gmail.com 0000-0001-7887-3061
Василий В. Торопцев [1] vsworkmail@bk.ru 0000-0001-6448-5586
Игорь А. Кузнецов [1] kuza7771995@gmail.com 0000-0003-1780-960X

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Возросший интерес к технологии ультрафильтрации в последнее десятилетие вызван поиском новых методов очистки, позволяющих получать питьевую воду высокого качества, отвечающую современным нормативным требованиям. Современные схемы очистки воды используют установку ультрафильтрации перед обратным осмосом в схемах умягчения, опреснения и обессоливания воды для пищевого производства. Размер пор ультрафильтрационных мембран лежит в пределах от 5 нм до 0,05–0,1 мкм. Используя ультрафильтрацию вместо традиционной схемы водоподготовки, можно получить воду с низким содержанием взвешенных и коллоидных веществ, повысить производительность и продолжительность службы обратноосмотических мембран. Схема водоподготовки может содержать следующие модули: фильтр грубой очистки; ультрафильтрационную установку, емкость буферную; смеситель; сборник воды; установку обратного осмоса; насосы. Метод дифференциально-сканирующей микроскопии использован для оценки качества воды в процессе ее очистки. Пробы воды охлаждали жидким азотом до -30 °С, а затем нагревали до 30 °С. На кривых ДСК фиксировали пики плавления кристаллов, рассчитывали тепловой эффект. В процессе очистки воды снижается значение теплового эффекта плавления замороженных образцов воды (от 515,1 до 261,2 Дж/г), значение температур начала (от 0,7 до -0,13 °С) и пика плавления кристаллов (от 7,45 до 4,27 °С). Небольшая разница между данными тепловых эффектов плавления образцов воды после грубой фильтрации и ультрафильтрации свидетельствует о том, что установка ультрафильтрации пропускает катионы и анионы, это сохраняет солевой баланс воды.

Ключевые слова: дифференциально-сканирующая калориметрия, ультрафильтрация, плавление, качество воды, очистка воды

Investigation of the quality of water in the process of its purification using ultrafiltration by the method of differential scanning calorimetry

Igor A. Saranov [1] mr.saranov@mail.ru 0000-0002-9510-5168
Sabukhi I. Niftaliev [1] niftaliev@gmail.com 0000-0001-7887-3061
Vasiliy V. Toroptsev [1] vsworkmail@bk.ru 0000-0001-6448-5586
Igor A. Kuznetsov [1] kuza7771995@gmail.com 0000-0003-1780-960X

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The increased interest in ultrafiltration technology in the last decade is caused by the search for new purification methods that allow obtaining high-quality drinking water that meets modern regulatory requirements. Modern water purification schemes use an ultrafiltration unit before reverse osmosis in softening, desalination and demineralization of water for food production. The pore size of ultrafiltration membranes ranges from 5 nm to 0.05-0.1 microns. Using ultrafiltration instead of the traditional water treatment scheme, makes it possible to obtain water with a low content of suspended and colloidal substances, increase the productivity and serviceability of reverse osmosis membranes. The water treatment scheme may contain the following modules: coarse filter; ultrafiltration unit, buffer tank; mixer; water container; reverse osmosis installation; pumps. The method of differential scanning microscopy is used to assess the quality of water during its purification. Water samples were cooled with liquid nitrogen to -30 °C and then heated to 30 °C. Crystals melting peaks were recorded on the DSC curves, and the thermal effect was calculated. During the water purification process, the value of the thermal effect of frozen water samples melting declines (from 515.1 to 261.2 J / g), the value of the temperatures at the onset (from 0.7 to -0.13 °C) and at the peak of crystal melting (from 7.45 up to 4.27 °C). The difference between the heat effect data for water samples after coarse filtration and ultrafiltration is small, which indicates that the ultrafiltration unit allows cations and anions to pass through, which preserves the salt balance of water.

Keywords: differential scanning calorimetry, ultrafiltration, melting, water quality, water purification

Введение

Основной схемой очистки воды – использование коагуляции, отстаивания, фильтрования и обеззараживание хлором. Для достижения более высокой степени очистки схема может дополняться озонированием, предварительным хлорированием, сорбционной обработкой с применением активного угля [1].

Мембранные способы разделения находят все более широкое применение как высокотехнологичный процесс для подготовки питьевой, технической и особо чистой воды [2]. Применение ультрафильтрации позволяет отказаться от таких технологических процессов, как отстаивание и фильтрование. С ее помощью можно добиться улучшения степени осветления воды без увеличения дозы коагулянта, а в ряде случаев – достичь

Для цитирования
Саранов И.А., Нифталиев С.И., Торопцев В.В., Кузнецов И.А. Исследование качества воды в процессе ее очистки с использованием ультрафильтрации методом дифференциально-сканирующей калориметрии // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 323–329**Ошибка! Закладка не определена.**. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-323-329

For citation
Saranov I.A., Niftaliev S.I., Toroptsev V.V., Kuznetsov I.A. Investigation of the quality of water in the process of its purification using ultrafiltration by the method of differential scanning calorimetry. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 323323–329. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-323-329

© 2021, Саранов И.А. и др. / Saranov I.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

снижения мутности, цветности и окисляемости без использования реагентов [3]. Возросший интерес к технологии ультрафильтрации вызван рядом причин и, в первую очередь, поиском новых методов очистки, позволяющих получать питьевую воду высокого качества, отвечающую современным нормативным требованиям [4].

Активное строительство ультрафильтрационных станций для водоснабжения населенных пунктов Великобритании, Германии и США инициировано введением в этих странах новых, более жестких, санитарных норм по микробиологическим показателям [5]. Повышение нормативных требований к качеству питьевой воды вызвано деградацией ее качества во многих подземных [6] и поверхностных [7,8] источниках.

Ультрафильтрация – это баромембранный процесс, заключающийся в том, что жидкость под давлением «продавливается» через полупроницаемую перегородку. Размер отверстий (пор) ультрафильтрационных мембран лежит в пределах от 5 нм до 0,05–0,1 мкм. Ультрафильтрационные мембраны эффективно извлекают из воды тонкодисперсные и коллоидные примеси, высокомолекулярные вещества, водоросли, одноклеточные микроорганизмы, цисты, бактерии и вирусы. Но при этом они практически не задерживают растворенные в воде соли, что позволяет сохранить естественный солевой состав природной воды. Для изготовленияультрафильтрационных мембран, в основном, используются полимерные вещества – ацетат целлюлозы, полисульфон, полиэтерсульфон, полиамид, полиимид, поливинилиденфторид, полиакрилонитрил и их производные [9], также известны керамические мембраны на основе оксидов алюминия, циркония, углерода [10]. Из зарубежных публикаций следует, что развитие ультрафильтрационных систем очистки воды происходит по нескольким ключевым направлениям [11, 12].

Первое направление – использование ультрафильтрации в качестве альтернативы традиционным методам обеззараживания: обычные ультрафильтрационные мембраны с размером пор 0,01–0,05 мкм служат надежным барьером для патогенных микроорганизмов и вирусов. Они позволяют достичь 99,99 %-го удаления вирусов и цист патогенных микроорганизмов, в том числе Giardia и Cryptosporidium, и практически 100 %-го задержания бактерий и простейших микроорганизмов [11].

Второе направление связано с предочисткой перед обратным осмосом в схемах умягчения, опреснения и обессоливании поверхностных вод для нужд питьевого водоснабжения, промышленности и энергетики [12]. В этом случае объем пор ультрафильтрационных мембран должен быть больше объема пор осмотических мембран. Используя ультрафильтрацию вместо традиционной схемы водоподготовки, можно получить воду с очень низким содержанием взвешенных и коллоидных веществ и в результате повысить производительность и продолжительность службы обратноосмотических мембран, сократить частоту их химических промывок. Основной нормативный документ для изготовителей разливной и упакованной продукции – СанПиН 2.1.4.1116–02. В нем даются требования к питьевой бутилированной воде, а именно к минеральному составу, гигиенической безопасности, качеству воды, разлитой в отдельные емкости. Требования СанПиН бутилированной воды включают безопасность по различным показателям: 2 радиологических, 10 микробиологических, 55 токсикологических. С 2019 действует Технический Регламент ЕАЭС 044–2017, ужесточающий требования к безопасности расфасованной в тару природной, обработанной, купажированной питьевой воды. Контроль качества воды проводится физико-химическими методами [13, 14].

Методы термического анализа широко используются для идентификации, определения температур плавления и кристаллизации различных веществ: неорганических [15], органических [16], жиров [17], пищевых продуктов [18].

Цель работы – контроль качества воды методом дифференциально-сканирующей калориметрии в процессе ее очистки от примесей.

Материалы и методы

Термический анализ проводили на приборе синхронного термического анализа STA 449 F3, Jupter, фирмы NETZSCH при охлаждении до -30 и последующем нагревании до +30 °С. Прибор предварительно калибровали по температуре и теплоте плавления высокочистых эталонных металлов [19]. Отобранные образцы воды помещали в тигель прибора синхронного термического анализа STA 449 F3. Исследование процессов плавления кристаллов воды методом ДСК проводились по методике, температурная программа которой представлена в таблица 1:

– алюминиевый тигель с каплей воды, помещался на сенсор установки, где фиксировалась его масса;

– рубашка камеры медной печи охлаждалась жидким азотом для того, чтобы температура в камере печи и на сенсоре опустилась до -30 °С (ниже предполагаемой температуры кристаллизации воды на 20–30 градусов);

– затем камеру печи нагревали до температуры 30 °С (на 20–25 градусов выше предполагаемой температуры плавления кристаллов), при этом фиксировали значения разности тепловых потоков тигля с образцом и эталонного тигля.

Таблица 1.

Температурная программа термической обработки образцов воды

Table 1.

Temperature program of heat treatment of water samples

Сегмент Segment	Температурный интервал, °С Temperature range, °С	Газ, Не, мл/с Gas, He. ml/s	Скорость нагревания (охлаждения), К/мин. Heating(cooling) rate, K/min	Процесс Process
1	25–(-30)	20	2	Охлаждение | Cooling
2	-30–30	20	2	Нагревание | Heating

Результаты и обсуждение

Отбор проб осуществляли на одном из предприятий по производству бутилированной воды, использующей мембранные технологии очистки (рисунок 1).

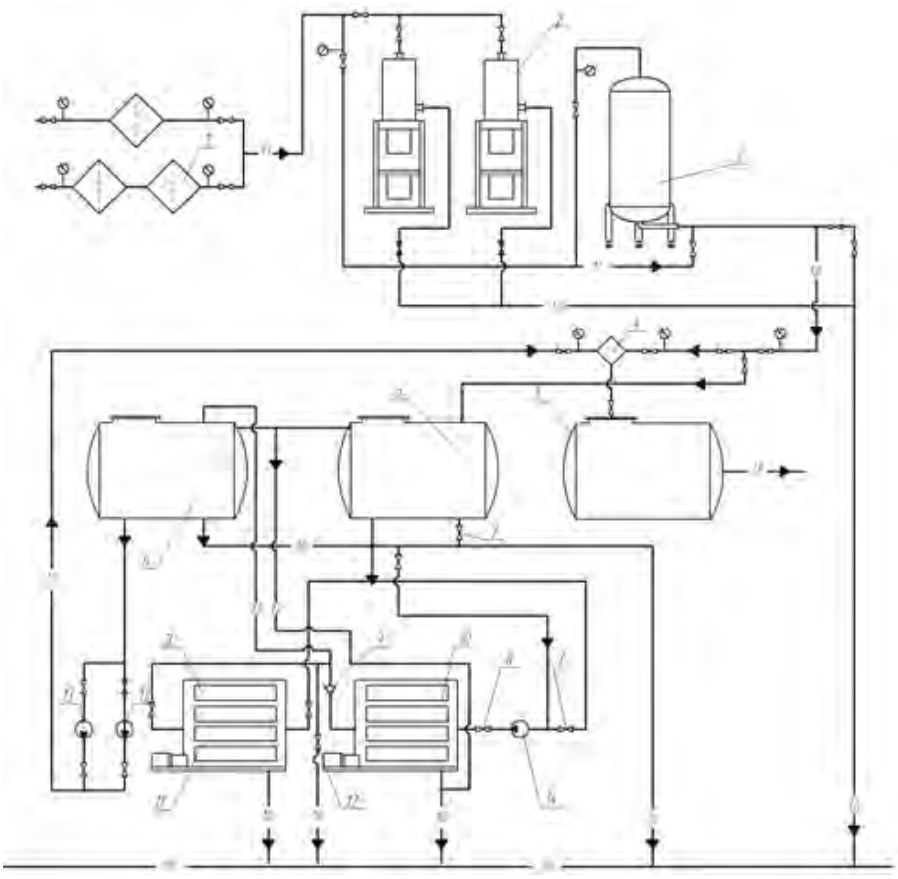


Рисунок 1. Схема водоподготовки: 1 – фильтр грубой очистки; 2 – ультрафильтрационная установка, 3 – емкость буферная; 4 – смеситель; 5, 6 – сборник; 7,8 – вентиль; 9 – клапан; 10 – установка обратного осмоса; 11 – модуль; 12 – кран; 13, 14 – насос

Figure 1. Water treatment scheme: 1 – coarse filter; 2 – ultrafiltration unit, 3 – buffer tank; 4 – mixer; 5, 6 – collection; 7, 8 – valve; 9 – valve; 10 – reverse osmosis unit; 11 – module; 12 – tap; 13, 14 – pump

Водопроводная вода подается на участок водоподготовки в специальный резервуар большого объема, (запас воды должен быть предусмотрен на случай аварийного отключения воды) откуда насосом подается в фильтродержатель (1), содержащий фильтры с активированным углем, для предварительной очистки.

Затем фильтрованная вода подается насосом на ультрафильтрационную установку (2), где происходит тонкая очистка воды от взвешенных примесей и направляется в накопительную емкость (3). Далее через смеситель (4) в накопительные емкости (5, 6). Оттуда – на установку обратного осмоса (10). Осмотическая вода поступает в промежуточный сборник и подаётся сразу на бутилирование и (или) приготовление напитков.

Образцы для исследований отбирали по схеме (рисунок 2).

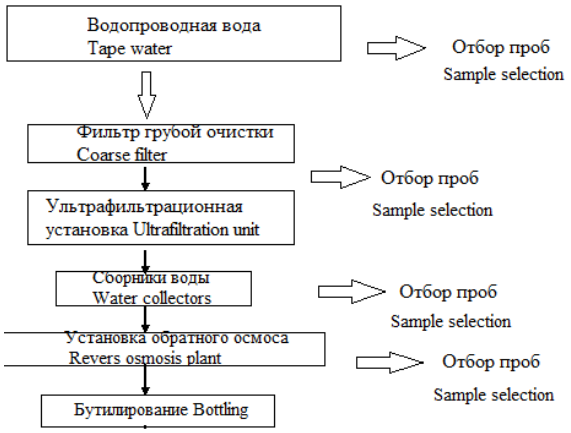


Рисунок 2. Отбор проб в схеме водоподготовки

Figure 2. Sampling in the water treatment scheme

При охлаждении воды в ней происходит зарождение и рост кристаллов [20], что сопровождается экзотермическим эффектом. При нагревании кристаллы плавятся, на кривых ДСК это отмечено эндотермическим эффектом (рисунок 3). Для уточнения температур пиков плавления с помощью программного обеспечения Proteus фирмы NETZSCH была построена кривая производной ДСК (пунктир, рисунок 3), на которой четко прослеживаются температуры начала и окончания эффекта. Эндотермический эффект характеризуется температурами начала, пиком (максимальной скорости плавления), суммарным тепловым эффектом, представленными в таблице 2. В процессе очистки воды наблюдаем уменьшение теплового эффекта процесса плавления, температур начала и пика плавления кристаллов.

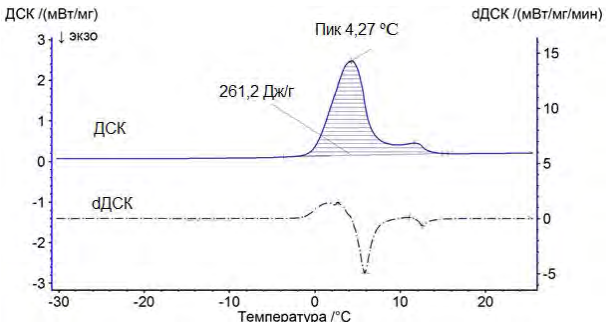


Рисунок 3. Кривые ДСК и dДСК при нагревании замороженного образца очищенной воды, подготовленной для бутилирования

Figure 3. DSC and dDSK curves when heating a frozen sample of purified water prepared for bottling

Следует отметить, что на кривой ДСК плавления кристаллов воды первой пробы отмечено два пика (рисунок 4, таблица 2). Возможно, что при кристаллизации этой воды происходит образование двух фаз, температура плавления которых различна.

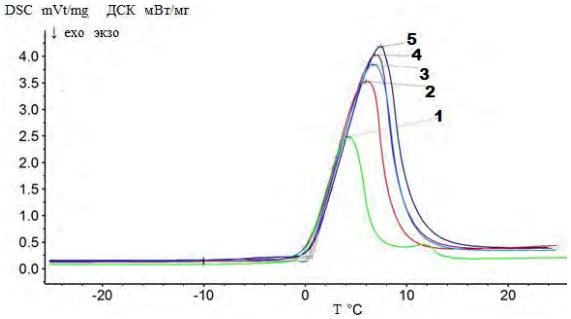


Рисунок 4. Комплексная термограмма плавления кристаллов воды в процессе ее очистки: 1. Проба очищенной воды, подготовленной для бутилирования; 2. Проба воды из Митрофановского источника (г. Воронеж); 3. Проба воды после ультрафильтрационной установки; 4. Проба воды после фильтра грубой очистки; 5. Проба водопроводной воды

Figure4. Complex thermogram of melting water crystals during its purification: 1. Sample of purified water prepared for bottling; 2. Sample of water from the Mitrofanovsky spring (Voronezh); 3. Water sample after ultrafiltration unit; 4. Water sample after the coarse filter; 5. Sample of tap water

Температура замерзания раствора ниже, чем температура замерзания чистого растворителя. Следовательно, чем больше ионов веществ растворено в воде, тем ниже температура замерзания. Начало плавления кристаллов раствора происходит при более низкой температуре, чем начало плавления кристаллов чистого растворителя. Температура начала плавления кристаллов для образца водопроводной воды 0,7 °С; для образца воды, подготовленной к бутилированию -0,3 °С. В очищенной воде содержится меньше растворенных веществ, чем в водопроводной воде. Об этом же свидетельствует и величина теплового эффекта. Площадь пика прямо пропорциональна тепловому эффекту процесса. Размер теплового эффекта (площадь пика) зависит от количества теплоты, необходимой для плавления кристаллов. Чем больше по значению площадь пика, тем больше тепловой эффект процесса, и, значит, вода содержит больше примесей. Так, образец водопроводной воды имеет тепловой эффект плавления кристаллов 515,1 Дж/г, а образец очищенной воды 261,2 Дж/г.

Тепловой эффект плавления кристаллов воды после грубой фильтрации 419,9 Дж/г, после ультрафильтрации 407,8 Дж/г. Разница данных теплового эффекта невелика, это говорит о том, что установка ультрафильтрации пропускает ионы, это сохраняет солевой баланс воды. В таблице 2 для сравнения представлены результаты термического анализа воды из Митрофановского источника (г. Воронеж). Как видно из сравнения тепловых эффектов по количеству растворенных веществ эта вода (тепловой эффект 398,3 Дж/г) близка к пробе воды после ультрафильтрационной установки (тепловой эффект 407,8 Дж/г).

Таблица 2.

Результаты анализа воды методом ДСК. Процесс плавления льда

Table 2.

DSC water analysis results. Ice melting process

Пробы воды Water samples	Температура начала эффекта, T on set,° C	Температура пика, T peak,° C	Тепловой эффект, Дж/г Heat effect, J/g
1. Проба очищенной воды, подготовленной для бутилирования Sample of purified water prepared for bottling	Первый пик First peak -0,13	4,27	Тепловой эффект комплексного пика Heat effect of a complex peak 261,2
	Второй пик Second peak 11,03	12,60	
2. Проба воды из Митрофановского источника (г. Воронеж) A sample of water from the Mitrofanovsky spring (Voronezh)	0,48	6,29	398,3
3. Проба воды после ультрафильтрационной установки Water sample after ultra filtration unit	0,29	6,59	407,8
4. Проба воды после фильтра грубой очистки Water sample after coarse filter	0,49	6,87	419,9
5. Проба водопроводной воды Tap water sample	0,7	7,45	515,1

Заключение

Разработана экспериментальная методика анализа качества воды, основанная на термическом анализе проб при нагревании от -30 до +30 °С. Отмечено, что в процессе очистки воды методами ультрафильтрации и обратного осмоса происходит уменьшение теплового эффекта процесса плавления, температур начала и пика плавления кристаллов.

Литература

1 Koelmans A.A., Nor N.H.M., Hermsen E., Kooi M. et al. Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality // Water Research. 2019. V. 155. P. 410–422. doi: 10.1016/j.watres.2019.02.054

2 Alkhouzaam A., Qiblawey H. Functional GO-based membranes for water treatment and desalination: Fabrication methods, performance and advantages. A review // Chemosphere. 2021. P. 129853. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129853

3 Yao M., Tijing L.D., Naidu G., Kim S.H. et al. A review of membrane wettability for the treatment of saline water deploying membrane distillation // Desalination. 2020. V. 479. P. 114312. doi: 10.1016/j.desal.2020.114312

4 Данилов-Данильян В., Розенталь О. Методология достоверной оценки качества воды. II. Общая вероятностная природа нормирования и оценивания состава воды // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 9. С. 58–63. doi: 10.18412/1816–0395–2020–9–58–63

5 Hasan H.A., Muhammad M.H. A review of biological drinking water treatment technologies for contaminants removal from polluted water resources // Journal of Water Process Engineering. 2020. V. 33. P. 101035. doi: 10.1016/j.jwpe.2019.101035

6 Yang P., Wang Y., Wu X., Chang L. et al. Nitrate sources and biogeochemical processes in karst underground rivers impacted by different anthropogenic input characteristics // Environmental Pollution. 2020. V. 265. P. 114835. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114835.

7 Peng X., Dai Q., Ding G., Li C. Role of underground leakage in soil, water and nutrient loss from a rock-mantled slope in the karst rocky desertification area // Journal of Hydrology. 2019. V. 578. P. 124086. doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.124086.

8 Rahmad S., Yusoff N.I.M., Fadzil S.M., Badri K.H. et al. The effects of polymer modified asphalt binder incorporating with chemical warm mix additive towards water quality degradation // Journal of Cleaner Production. 2021. V. 279. P. 123698. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123698

9 Al Aani S., Mustafa T. N., Hilal N. Ultrafiltration membranes for wastewater and water process engineering: A comprehensive statistical review over the past decade // Journal of Water Process Engineering. 2020. V. 35. P. 101241. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101241.

10 Yang K., Pan T., Zhao Q., Chen C. et al. Dual-function ultrafiltration membrane constructed from pure activated carbon particles via facile nanostructure reconstruction for high-efficient water purification // Carbon. 2020. V. 168. P. 254-263. doi: 10.1016/j.carbon.2020.06.083

11 Chew C.M., Aroua M.K., Hussain M.A. Advanced process control for ultrafiltration membrane water treatment system // Journal of cleaner production. 2018. V. 179. P. 63-80. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.01.075

12 Fan G., Li Z., Yan Z., Wei Z. et al. Operating parameters optimization of combined UF/NF dual-membrane process for brackish water treatment and its application performance in municipal drinking water treatment plant // Journal of Water Process Engineering. 2020. V. 38. P. 101547. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101547

13 Ahmed U., Mumtaz R., Anwar H., Mumtaz S. et al. Water quality monitoring: from conventional to emerging technologies // Water Supply. 2020. V. 20. №. 1. P. 28-45. doi: 10.2166/ws.2019.144

14 СанПиН 2.1.41116–02. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества.

15 Дребущак В.А., Шведенков Г.Ю. Термический анализ. 2015.

16 Chew C.M., Aroua M.K., Hussain, M.A., Ismail W.W. Practical performance analysis of an industrial-scale ultrafiltration membrane water treatment plant // Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 2015. V. 46. P. 132-139. doi: 10.1016/j.jtice.2014.09.013

17 Саранов И.А., Кузнецов И.А., Кузнецова И.В., Магомедов Г.О. Исследование процессов плавления и кристаллизации жировых компонентов пралиновых масс // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 323–327. doi: 10.20914/2310–1202–2018–2–323–327

18 Mateyeva A., Uazhanova R., Saranov I., Shakhov S. et al. Justification and development of the method for differentiation of" frozen-thawed" cycles of fish based on differential scanning calorimetry // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. V. 12. №. 13. P. 3387-3394. doi: 10.36478/jeasci.2017.3387.3394

19 Bu F., Gao B., Shen X., Wang W. et al. The combination of coagulation and ozonation as a pre-treatment of ultrafiltration in water treatment // Chemosphere. 2019. V. 231. P. 349-356. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.05.154

20 Vu T.H., Choukroun M., Hodyss R., Johnson P.V. Probing Europa's subsurface ocean composition from surface salt minerals using in-situ techniques // Icarus. 2020. V. 349. P. 113746. doi: 10.1016/j.icarus.2020.113746

References

1 Koelmans A.A., Nor N.H.M., Hermsen E., Kooi M. et al. Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. Water Research. 2019. vol. 155. pp. 410–422. doi: 10.1016/j.watres.2019.02.054

2 Alkhouzaam A., Qiblawey H. Functional GO-based membranes for water treatment and desalination: Fabrication methods, performance and advantages. A review. Chemosphere. 2021. pp. 129853. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129853

3 Yao M., Tijing L.D., Naidu G., Kim S.H. et al. A review of membrane wettability for the treatment of saline water deploying membrane distillation. Desalination. 2020. vol. 479. pp. 114312. doi: 10.1016/j.desal.2020.114312

4 Danilov-Danilyan V., Rosental O. Methodology for reliable assessment of water quality. II. General probabilistic nature of regulation and assessment of water composition. Ecology and Industry of Russia. 2020. vol. 24. no. 9. pp. 58–63. doi: 10.18412/1816–0395–2020–9–58–63 (in Russian).

5 Hasan H.A., Muhammad M.H. A review of biological drinking water treatment technologies for contaminants removal from polluted water resources. Journal of Water Process Engineering. 2020. vol. 33. pp. 101035. doi: 10.1016/j.jwpe.2019.101035

6 Yang P., Wang Y., Wu X., Chang L. et al. Nitrate sources and biogeochemical processes in karst underground rivers impacted by different anthropogenic input characteristics. Environmental Pollution. 2020. vol. 265. pp. 114835. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114835.

7 Peng X., Dai Q., Ding G., Li C. Role of underground leakage in soil, water and nutrient loss from a rock-mantled slope in the karst rocky desertification area. Journal of Hydrology. 2019. vol. 578. pp. 124086. doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.124086.

8 Rahmad S., Yusoff N.I.M., Fadzil S.M., Badri K.H. et al. The effects of polymer modified asphalt binder incorporating with chemical warm mix additive towards water quality degradation. Journal of Cleaner Production. 2021. vol. 279. pp. 123698. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123698

9 Al Aani S., Mustafa T. N., Hilal N. Ultrafiltration membranes for wastewater and water process engineering: A comprehensive statistical review over the past decade. Journal of Water Process Engineering. 2020. vol. 35. pp. 101241. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101241.

10 Yang K., Pan T., Zhao Q., Chen C. et al. Dual-function ultrafiltration membrane constructed from pure activated carbon particles via facile nanostructure reconstruction for high-efficient water purification. Carbon. 2020. vol. 168. pp. 254-263. doi: 10.1016/j.carbon.2020.06.083

11 Chew C.M., Aroua M.K., Hussain M.A. Advanced process control for ultrafiltration membrane water treatment system. Journal of cleaner production. 2018. vol. 179. pp. 63-80. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.01.075

12 Fan G., Li Z., Yan Z., Wei Z. et al. Operating parameters optimization of combined UF/NF dual-membrane process for brackish water treatment and its application performance in municipal drinking water treatment plant. Journal of Water Process Engineering. 2020. vol. 38. pp. 101547. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101547

13 Ahmed U., Mumtaz R., Anwar H., Mumtaz S. et al. Water quality monitoring: from conventional to emerging technologies. Water Supply. 2020. vol. 20. no. 1. pp. 28-45. doi: 10.2166/ws.2019.144

14 SanPiN 2.1.41116-02. Drinking water. Hygienic requirements for the quality of water packaged in containers. Quality control. (in Russian).

15 Drebushchak V.A., Shvedenkov G.Yu. Thermal analysis. 2015. (in Russian).

16 Chew C.M., Aroua M.K., Hussain, M.A., Ismail W.W. Practical performance analysis of an industrial-scale ultrafiltration membrane water treatment plant. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 2015. vol. 46. pp. 132-139. doi: 10.1016/j.jtice.2014.09.013

17 Saranov I.A., Kuznetsov I.A., Kuznetsova I.V., Magomedov G.O. Investigation of the processes of melting and crystallization of fatty components of praline masses. Procedings of VSUET. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 323–327.doi: 10.20914/2310–1202–2018–2–323–327

18 Mateyeva A., Uazhanova R., Saranov I., Shakhov S. et al. Justification and development of the method for differentiation of" frozen-thawed" cycles of fish based on differential scanning calorimetry. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. vol. 12. no. 13. pp. 3387-3394. doi: 10.36478/jeasci.2017.3387.3394

19 Bu F., Gao B., Shen X., Wang W. et al. The combination of coagulation and ozonation as a pre-treatment of ultrafiltration in water treatment. Chemosphere. 2019. vol. 231. pp. 349-356. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.05.154

20 Vu T.H., Choukroun M., Hodyss R., Johnson P.V. Probing Europa's subsurface ocean composition from surface salt minerals using in-situ techniques. Icarus. 2020. vol. 349. pp. 113746. doi: 10.1016/j.icarus.2020.113746

Сведения об авторах

Игорь А. Саранов к.т.н., доцент, кафедра информационной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mr.saranov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9510-5168

Сабухи И. Нифталиев д.х.н., профессор, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия), niftaliev@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-7887-3061

Василий В. Торопцев к.т.н., доцент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия), vsworkmail@bk.ru
https://orcid.org/0000-0001-6448-5586

Игорь А. Кузнецов магистрант, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kuza7771995@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-1780-960X

Information about authors

Igor A. Saranov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, information security department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, mr.saranov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9510-5168

Sabukhi I. Niftaliev Dr. Sci. (Chem.), professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, niftaliev@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-7887-3061

Vasiliy V. Toroptsev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, machines and apparatuses of food production department , Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, vsworkmail@bk.ru
https://orcid.org/0000-0001-6448-5586

Igor A. Kuznetsov master student, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, kuza7771995@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-1780-960X

Вклад авторов

Игорь А. Саранов провел эксперимент
Сабухи И. Нифталиев обзор литературных источников по исследуемой проблеме
Василий В. Торопцев консультация в ходе исследования
Игорь А. Кузнецов написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Contribution

Igor A. Saranov conducted an experiment
Sabukhi I. Niftaliev review of the literature on an investigated problem performed computations
Vasiliy V. Toroptsev consultation during the study
Igor A. Kuznetsov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 22/01/2021	**После редакции** 19/02/2021	**Принята в печать** 01/03/2021

Received 22/01/2021	**Accepted in revised** 19/02/2021	**Accepted** 01/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-330-335 Оригинальная статья/Research article
УДК 678.046.36 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Исследование упруго-гистерезисных свойств протекторных шинных резин с кремнекислотными наполнителями

Ольга А. Кротова [1] o.krotova@belstu.by 0000-0003-1142-7934
Жанна С. Шашок [1] shashok@belstu.by 0000-0003-2279-6866
Елена П. Усс [1] uss@belstu.by 0000-0003-2849-6004
Андрей Ю. Люштык [2] lyushtykayu@belshina.by 0000-0002-3938-0077
Ольга В. Карманова [3] karolga@mail.ru 0000-0003-2226-6582

1 Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь
2 ОАО «Белшина», Минское шоссе, 4, г. Бобруйск, 213824, Республика Беларусь
3 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Исследовано влияние различных марок кремнекислотных наполнителей (ККН), отличающихся качественными характеристиками, на комплексный модуль резин, их модуль упругости, модуль потерь, а также на тангенс угла механических потерь. Минеральные наполнители ККН 1 и ККН 2 вводились в дозировке 80,00 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука в наполненные эластомерные композиции на основе комбинации синтетических бутадиен-стирольного и полибутадиенового каучуков, применяемые для изготовления протекторов легковых шин. Испытания проводились на динамическом механическом анализаторе путем циклического сжатия вулканизатов в интервале температур 20–70°С. Установлено, что вулканизаты с минеральным наполнителем ККН 2 характеризуются на 8–56% меньшим значением комплексного модуля. Выявлено, что резины, содержащие кремнекислотный наполнитель ККН 2, в зависимости от температуры имеют на 13–36% более низкие значения модуля упругости и на 19–46 % меньшее значение модуль потерь по сравнению с образцами, наполненными ККН 1. Определено, что в интервале температур от 20 до 70 °С вулканизаты с минеральным наполнителем ККН 2, характеризуются на 7–12 % меньшими значениями тангенса угла механических потерь. В результате проведенных исследований установлено, что наиболее целесообразно вводить в рецептуру протекторных резиновых смесей для легковых шин минеральный наполнитель ККН 2, что позволит получить вулканизаты, обладающие повышенной эластичностью и сцеплением с дорожным покрытием, а также меньшими потерями тепла в окружающую среду и расходом топлива.

Ключевые слова: кремнекислотный наполнитель, резина, протектор, упруго-гистерезисные свойства

Investigation of the elastic and hysteresis properties of tread rubber tires with silica

Olga A. Krotova [1] o.krotova@belstu.by 0000-0003-1142-7934
Zhanna S. Shashok [1] shashok@belstu.by 0000-0003-2279-6866
Elena P. Uss [1] uss@belstu.by 0000-0003-2849-6004
Andrey Yu. Lyushtyk [2] lyushtykayu@belshina.by 0000-0002-3938-0077
Olga V. Karmanova [3] karolga@mail.ru 0000-0003-2226-6582

1 Belarusian State Technological University, Sverdlova Str., 13a, Minsk, 220006, Republic of Belarus
2 JSC Belshina, Minsk Highway Str., 4, Bobruisk, 213824, Republic of Belarus
3 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The influence of different types of silica, differing in quality characteristics, on the complex modulus of rubbers, their elastic modulus, loss modulus, and also on the tangent of angle of mechanical loss are investigated. Mineral fillers silica 1 and silica 2 are introduced at a dosage of 80.00 phr into filled elastomeric compositions based on combination of synthetic styrene-butadiene and polybutadiene rubbers, used for the manufacture of treads for passenger tires. The tests are carried out on a dynamic mechanical analyzer by cyclic compression of vulcanizates in the temperature range 20–70°C. It is established that vulcanizates with silica 2 are characterized by 8–56% lower value of the complex modulus. It is revealed that rubbers containing a silica 2, depending on temperature, have 13–36% lower values of the elastic modulus and 19–46% lower values of the loss modulus in comparison with samples filled with silica 2. It is determined that in the temperature range from 20 to 70°C vulcanizates with silica 2 are characterized by 7–12% lower values of the tangent of angle of mechanical loss. As a result of the study, it is established that it is the most expedient to introduce mineral filler silica 2 into the formulation of tread rubber compounds for passenger tires. This will make it possible to obtain vulcanizates with increased elasticity and adhesion to the road surface, as well as lower heat losses to the environment and fuel consumption.

Keywords: silica, rubber, tread, elastic and hysteresis properties

Введение

Анализ требований к протекторным резинам показывает, что в большинстве случаев они противоречивы. Так, требования к повышенной износостойкости не совпадают с требованиями обеспечения высокого коэффициента трения и усталостной выносливости и низких гистерезисных потерь. В связи с этим, свойства протекторных резин дифференцируются в зависимости от типа и размера шин, условий их эксплуатации. Современные легковые шины должны обладать

Для цитирования
Кротова О.А., Шашок Ж.С., Усс Е.П., Люштык А.Ю., Карманова О.В. Исследование упруго-гистерезисных свойств протекторных шинных резин с кремнекислотными наполнителями // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 330–335. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-330-335

For citation
Krotova O.A., Shashok Zh.S., Uss E.P., Lyushtyk A.Yu., Karmanova O.V. Investigation of the elastic and hysteresis properties of tread rubber tires with silica. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 330–335. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-330-335

© 2021, Кротова О.А. и др. / Krotova O.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

низким сопротивлением качению, что приводит к снижению расхода топлива, иметь хорошее сцепление с мокрой и сухой дорогой для обеспечения безопасности движения и низкую истираемость, обеспечивающую долговечность покрышек [1–5].

Несмотря на успехи в использовании традиционного усиливающего наполнителя – технического углерода – только при наполнении протекторных резин кремнекислотными наполнителями (ККН) удается понизить сопротивление качению, улучшить сцепление с мокрой дорогой при сохранении на высоком уровне износостойкости. Развитие современных шин с желаемыми свойствами идет, в частности, по пути совместного использования в резиновых смесях технического углерода и ККН, либо полной замены техуглерода на диоксид кремния [5–7].

Вместе с тем простая замена технического углерода на кремнекислотный наполнитель невозможна из-за особенностей структуры поверхности частиц минерального наполнителя [6, 7]. Химическая природа и энергетика поверхности частиц ККН отличаются от структуры и поверхностной энергии частиц техуглерода. Водородные связи между поверхностными силанольными группами в агломератах диоксида кремния намного прочнее, чем взаимодействие между полярными силанольными группами наполнителя и неполярными макромолекулами углеводородных каучуков. Это приводит к усложнению технологии получения высококачественных резиновых смесей, при этом возникает необходимость использования дополнительных ингредиентов: технологических добавок, антистатиков, силанизирующих агентов, что повышает стоимость получаемых резиновых смесей.

Поскольку при эксплуатации шин резина подвергается знакопеременным деформациям, амплитуда которых значительно меньше, чем удлинение резин при разрыве, для оценки поведения изделий в таких условиях недостаточно прочностных и усталостных характеристик.

Выбор резин с оптимальными свойствами применительно к конкретным особенностям динамического режима, реализуемого при эксплуатации того или иного изделия, должен базироваться на знании комплекса показателей, характеризующих: взаимосвязь между напряжением и деформацией при циклическом нагружении (упруго-гистерезисные свойства); взаимосвязь между динамическими напряжениями и выносливостью резин, т. е. числом циклов нагружения, которое может выдержать образец данного материала, не разрушаясь (усталостно-прочностные свойства).

Известно [8], что наполнители оказывают наиболее существенное влияние на динамические характеристики резин. Повышение модуля упругости с увеличением содержанием наполнителя обусловлено следующими взаимосвязанными факторами:

– структурным эффектом, т. е. возникновением структуры наполнителя, обусловливающей жесткость наполненных вулканизатов при малых деформациях;

– гидродинамическим эффектом частиц наполнителя, распределенных в вязкоупругой среде;

– адгезией между каучуком и наполнителем, роль которой возрастает с увеличением степени деформации.

Главная причина изменения модуля в том, что между каучуком и активным наполнителем происходит химическое или сильное адсорбционное взаимодействие, приводящее к образованию специфических связей каучук–наполнитель.

Цель работы – исследование влияния различных марок кремнекислотных наполнителей на упруго-гистерезисные свойства вулканизатов на основе каучуков общего назначения.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись наполненные эластомерные композиции на основе комбинации синтетических бутадиен-стирольного и полибутадиенового каучуков (в соотношении 80:20), применяемые для изготовления протекторов легковых шин. Минеральные наполнители ККН 1 и ККН 2, отличающиеся качественными характеристиками (таблица 1), вводились в резиновые смеси в дозировке 80,00 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука.

Таблица 1.

Характеристика применяемых марок ККН

Table 1.

Characteristics of the used silica

Показатель Indicator	Значение | Value	
	ККН 1 | Silica 1	ККН 2 | Silica 2
Удельная поверхность по адсорбции азота, $м^2/г$ | Specific surface area, m^2/g	>165	161
Удельная адсорбция по ЦТАБ, $м^2/г$ | CTAB surface area, m^2/g	>160	153
pH водной суспензии | pH of slurry	6,3	7,0
Массовая доля диоксида кремния, % | Silica content, % (by mass)	>87	>97,7
Насыпная плотность, $кг/м^3$ | Compacted bulk density, kg/m^3	120–150	203
Потери при прокаливании (950 ºС), % | Loss on drying (950 ºС), %	<0–12	<3,3
Массовая доля влаги, % | Moisture content, %	5,6	5,9

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 56801–2015 (ISO 6721) [9] на динамическом механическом анализаторе путем циклического сжатия вулканизатов при статической нагрузке 0,56 МПа, динамической нагрузке 0,50 МПа, скорости нагрева образцов 2 К/мин, частоте 11 Гц. Температурный интервал, в котором происходили испытания, – от 20 до 70 ºС.

Результаты и обсуждение

Для количественной оценки упруго-гистерезисных свойств резины в условиях гармонического динамического нагружения широко используется комплексный модуль E^*, состоящий из вещественной составляющей E' (модуль упругости), совпадающей по фазе с функцией деформации, и мнимой E'' (модуль потерь), сдвинутой относительно нее на угол $\pi/2$. Следствием сдвига фаз между напряжением и деформацией является динамический гистерезис, приводящий к механическим потерям и теплообразованию при циклическом нагружении. Механические потери пропорциональны углу сдвига фаз [10].

Комплексный модуль E^* представляет собой результирующее нормальное напряжение, отнесенное к нормальной деформации. Иными словами, данный показатель определяет общую сопротивляемость материала деформации [2, 10].

Результаты исследования влияния природы ККН, температуры и динамической деформации на комплексный модуль резин представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Комплексный модуль упругости резин

Table 2.

Complex modulus of elasticity of rubbers

Марка ККН Silica	Параметры | Parameters		
	Температура, ºС Temperature, ºС	Динамическая деформация, % Dynamic deformation, %	Комплексный модуль упругости, МПа Complex modulus of elasticity, MPa
ККН 1 Silica 1	20,01	2,15	20,30
	23,75	2,50	18,53
	28,84	2,78	16,64
	33,79	3,09	14,90
	38,81	3,42	13,43
	43,77	3,75	12,18
	48,73	4,11	11,06
	53,74	4,48	10,05
	58,76	4,75	9,32
	63,71	5,15	8,65
ККН 2 Silica 2	20,02	3,04	12,96
	23,75	3,32	12,14
	28,87	3,61	11,81
	33,80	4,07	11,27
	38,69	4,18	9,90
	43,81	4,49	9,15
	48,76	4,83	8,51
	53,63	5,18	7,96
	58,72	5,52	7,51
	63,75	5,81	7,52

Анализ полученных данных показал, что в интервале температур от 20 до 70 °С значения комплексного модуля упругости вулканизатов уменьшаются в 1,7 раза в случае использования в резиновой смеси ККН 2, и 2,3 раза при введении в эластомерные композиции ККН 1. Такой характер изменения данного показателя, вероятно, обусловлен уменьшением межмолекулярного взаимодействия, вследствие разрушения физических связей, что приводит к увеличению гибкости молекулярных цепей и уменьшению времени релаксации. При этом выявлено, что вулканизаты с ККН 2 характеризуются на 8–56% меньшим значением E^* по сравнению с резинами, содержащими ККН 1.

Аналогичное изменение величины комплексного модуля упругости установлено и от динамической деформации. Так, изменение деформации от 3,04 до 5,81% приводит к уменьшению комплексного модуля вулканизатов с ККН 2 от 12,96 до 7,52 МПа, а в случае образцов с минеральным наполнителем ККН 1 увеличение деформации от 2,15 до 5,15% приводит к изменению комплексного модуля от 20,30 до 8,65 МПа. Явление снижения модуля при повторных деформациях называется эффектом Патрикеева-Малинза и обусловлено неполным восстановлением структуры материала к началу повторного деформирования из-за наличия флуктуационной сетки. Чем больше узлов в сетке вулканизата, чем медленнее идет релаксация в процессе деформирования, тем в большей степени проявляется эффект размягчения [10].

Модуль упругости E' характеризует часть механической работы, которая накапливается в виде упругой деформации и обратимо возвращается при разгрузке, то есть нормальный модуль эластичности E' определяет упругость материала и способность сохранять энергию. При этом модуль упругости резин оказывает существенно влияние на сцепление шин с дорогой, которое определяется типом и состоянием дорожного покрытия, конструкцией и назначением шины, скоростью движения, фрикционными свойствами протекторных резин и др. [2, 10].

Зависимость изменения модуля упругости E' от температуры представлена на рисунке 1.

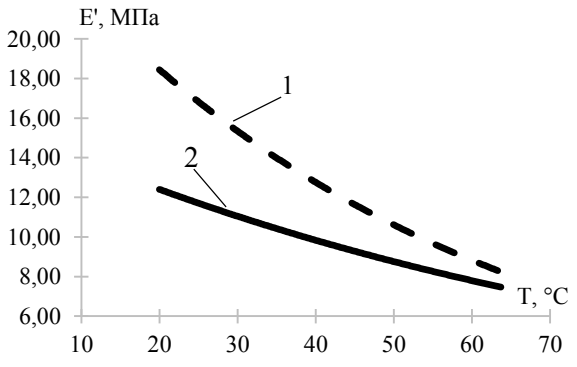


Рисунок 1. Зависимость модуля упругости E' от температуры T: 1 – ККН 1; 2 – ККН 2

Figure 1. Dependence of the elastic modulus E' on temperature T: 1 – silica 1; 2 – silica 2

Из полученных данных видно, что повышение температуры приводит к некоторому снижению модуля упругости, а, следовательно, повышается эластичность материала, что может оказывать влияние на сцепление шины с дорогой. Выявлено, что вулканизаты, содержащие кремнекислотный наполнитель марки ККН 2, в зависимости от температуры имеют на 13–36% более низкие значения модуля упругости по сравнению с резинами, содержащих ККН 1 (12,00–7,38 МПа и 18,85–8,45 МПа соответственно). Таким образом, применение в протекторных резиновых смесях ККН 2 приводит к уменьшению модуля упругости резин на их основе, что также ведет к снижению их твердости и может ухудшать сопротивление протектора механическим повреждениям [1, 2, 10].

Модуль потерь E'' определяет часть механической работы, которая необратимо рассеивается в каждом цикле в виде тепла. Чем больше значение E'', тем больше материал нагревается в процессе эксплуатации, что приводит к большим потерям тепла в окружающую среду, а это ведет к увеличению расхода топлива [2, 10].

Результаты исследования модуля потерь E'' вулканизатов представлены на рисунке 2.

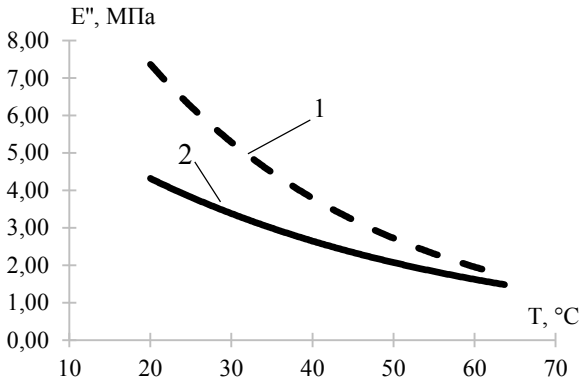


Рисунок 2. Зависимость модуля потерь E'' от температуры T: 1 – ККН 1; 2 – ККН 2

Figure 2. Dependence of the loss modulus E'' on temperature T: 1 – silica 1; 2 – silica 2

Анализ полученных данных выявил аналогичный характер изменения модуля потерь вулканизатов с различными марками ККН, как и в случае с модулем упругости. Установлено, что при ведении в резиновые смеси ККН 2 модуль потерь E'' вулканизата в интервале температур 20–70 °С уменьшается в 2,77 раза, а у резин, содержащих ККН 1, – в 4,12 раза в том же температурном интервале. При этом определено, что резины, содержащие ККН 2, имеют на 19–46% меньшее значение данного показателя, по сравнению с вулканизатами, наполненными ККН 1. Следовательно, применение в эластомерных композициях минерального наполнителя ККН 2 позволяет снизить потери тепла в окружающую среду, что, в свою очередь, позволит снизить расход топлива.

Тангенс угла механических потерь (фактор потерь) представляет собой отношение модуля потерь к модулю накопления. Чем больше значение тангенса угла механических потерь (tgδ), тем в большей мере в данном вязкоупругом материале проявляются свойства вязкой жидкости и в меньшей мере – свойства упругого тела [10].

Зависимость тангенса угла механических потерь tgδ от температуры T представлена на рисунке 3.

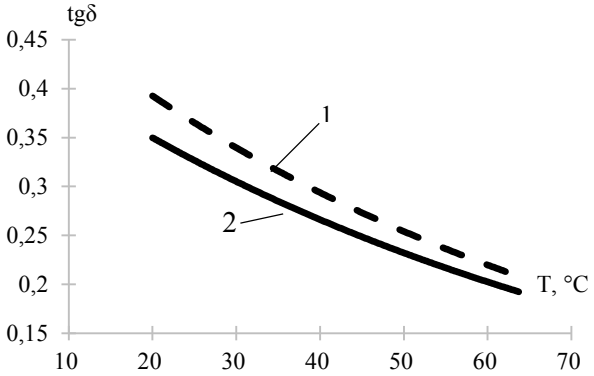


Рисунок 3. Зависимость тангенса угла механических потерь tgδ от температуры T: 1 – ККН 1; 2 – ККН 2

Figure 3. Dependence of the tangent of angle of mechanical loss tgδ on temperature T: 1 – silica 1; 2 – silica 2

Из полученных результатов видно, что в интервале температур от 20 до 70 °С вулканизаты, содержащие наполнитель ККН 2, характеризуются на 7–12% меньшими значениями tgδ (от 0,34 до 0,19), по сравнению с резинами, наполненными ККН 1 (от 0,39 до 0,21). Из этого следует, что эластомерные композиции, наполненные ККН 2, обладают более низкими гистерезисными потерями.

Пониженные значения комплексного модуля, модуля эластичности, модуля потерь и тангенса угла механических потерь резин с ККН 2 могут быть обусловлены большим размером частиц данного наполнителя по сравнению с ККН 1 и меньшей удельной адсорбционной поверхностью (161 м^2/г у ККН 2 и не менее 165 м^2/г у ККН 1). Известно [1, 11–20] что, вне зависимости от вводимых марок наполнителей между каучуком и ККН происходит химическое и сильное адсорбционное взаимодействие, приводящее к образованию специфических связей каучук–наполнитель. В связи с тем, что ККН 2 обладает меньшей удельной поверхностью в межфазный слой переходит меньшее количество полимера, что приводит к получению более тонкого граничного слоя, ослаблению адгезионного взаимодействия между полимером и частицами наполнителя.

Заключение

Установлено, что наиболее целесообразно вводить в рецептуру протекторных резиновых смесей для легковых шин минеральный наполнитель ККН 2, что позволит получить вулканизаты, обладающие повышенными эластичностью и сцеплением с дорожным покрытием, а также меньшими потерями тепла в окружающую среду и расходом топлива. В настоящее время проводятся дальнейшие исследования по установлению влияния предлагаемого кремнекислотного наполнителя на комплекс технологических и эксплуатационных характеристик протекторных эластомерных композиций.

Литература

1 Резниченко С.В., Морозов Ю.Л. Большой справочник резинщика: в 2 ч. Ч. 1: Резины и резинотехнические изделия. М.: Техинформ, 2012. 744 с.

2 Xu H., Fan T., Ye N., Wu W. et al. Plasticization effect of bio-based plasticizers from soybean oil for tire tread rubber // Polymers. 2020. V. 12. №. 3. P. 623. doi: 10.3390/polym12030623

3 Фаляхов М.И., Лынова А.С., Карманова О.В., Михалева Н.А. Исследование эксплуатационных свойств резин на основе синтетического бутадиен-стирольного каучука ДССК-2560-М27 ВВ // Вестник ВГУИТ. 2016. № 1. С. 146–150. doi: 10.20914/2310–1202–2016–1–146–150

4 Каблов В.Ф., Аксенов В.И. Современные тенденции применения каучуков и наполнителей в рецептуре резин // Промышленное производство и использование эластомеров. 2018. № 3. С. 24–34. doi: 10.24411/2071–8268–2018–10305

5 Ejsmont J., Owczarzak W. Engineering method of tire rolling resistance evaluation // Measurement. 2019. V. 145. P. 144–149. doi: 10.1016/j.measurement.2019.05.071

6 Дорожкин В.П., Мохнаткина Е.Г., Земский Д.Н. Силанизация. Часть I // Каучук и резина. 2019. № 1. С. 28–37.

7 Дорожкин В.П., Мохнаткина Е.Г., Земский Д.Н. Силанизация. Часть II // Каучук и резина. 2019. № 2. С. 100–113.

8 Волоцкой А.Н., Юркин Ю.В., Авдонин В.В. Влияние типа наполнителя на динамические свойства вибропоглощающих полимерных композиционных материалов на основе этиленвинилацетата // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 12. С. 31–36.

9 ГОСТ 56801–2015. Пластмассы. Определение механических свойств при динамическом нагружении. М.: Стандартинформ, 2016. 27 с.

10 Мансурова И.А., Исупова О.Ю., Бурков А.А., Гаврилов К.Е. Упруго-гистерезисные свойства резин, содержащих функционализированные полимером углеродные нанотрубки // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2018. Т. 61. № 4–5. С. 76–83. doi: 10.6060/tcct.20186104–05.5596

11 Gerges N., Issa C., Fawaz S. Rubbers: Mechanical and dynamical properties // Case Studies in Construction Materials. 2018. V. 9. P. 128–129.

12 Guo F., Zhang J., Pei J., Zhou B. et al. Study on the mechanical properties of rubber asphalt by molecular dynamics simulation // Journal of molecular modeling. 2019. V. 25. №. 12. P. 1-8. doi: 10.1007/s00894-019-4250-x

13 Maghami S. Silica-filled tire tread compounds: an investigation into the viscoelastic properties of the rubber compounds and their relation to tire performance. 2016. doi: 10.3990/1.9789036541282

14 Wisojodharmo L.A., Fidyaningsih R., Fitriani D.A., Arti D.K. et al. The influence of natural rubber–butadiene rubber and carbon black type on the mechanical properties of tread compound // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2017. V. 223. №. 1. P. 012013.

15 Fathurrohman M.I., Rugmai S., Hayeemasae N., Sahakaro K. et al. Better balance of silica-reinforced natural rubber tire tread compound properties by the use of montmorillonite with optimum surface modifier content // Rubber Chemistry and Technology. 2020. V. 93. №. 3. P. 548-566. doi: 10.5254/rct.20.80407

16 Zafarmehrabian R., Gangali S.T., Ghoreishy M.H.R., Davallu M. The effects of silica/carbon black ratio on the dynamic properties of the tread compounds in truck tires // E-journal of Chemistry. 2012. V. 9. №. 3. P. 1102-1112. doi: 10.1155/2012/571957

17 Sattayanurak S., Noordermeer J.W., Sahakaro K., Kaewsakul W. et al. Silica-reinforced natural rubber: synergistic effects by addition of small amounts of secondary fillers to silica-reinforced natural rubber tire tread compounds // Advances in materials science and engineering. 2019. doi: 10.1155/2019/5891051

18 Ramarad S., Khalid M., Ratnam C.T., Chuah A.L. et al. Waste tire rubber in polymer blends: A review on the evolution, properties and future // Progress in Materials Science. 2015. V. 72. P. 100-140. doi: 10.1016/j.pmatsci.2015.02.004

19 Mousavi H., Sandu C. Sensitivity analysis of tire-ice friction coefficient as affected by tire rubber compound properties // Journal of Terramechanics. 2020. V. 91. P. 319-328. doi: 10.1016/j.jterra.2020.08.004

20 Thaptong P., Sae- Oui P., Sirisinha C. Effects of silanization temperature and silica type on properties of silica-filled solution styrene butadiene rubber (SSBR) for passenger car tire tread compounds // Journal of Applied Polymer Science. 2016. V. 133. №. 17. doi: 10.1002/app.43342

References

1 Reznichenko S.V., Morozov Yu. L. Large handbook of rubber technologist. Part 1: Rubber and rubber products. Moscow, Tekhinform, 2012. 744 p. (in Russian).

2 Xu H., Fan T., Ye N., Wu W. et al. Plasticization effect of bio-based plasticizers from soybean oil for tire tread rubber. Polymers. 2020. vol. 12. no. 3. pp. 623. doi: 10.3390/polym12030623

3 Falyakhov M.I., Lynova A.S., Karmanova O.V., Mikhaleva N.A. Research of operational properties of compound based on high viscosity styrene-butadiene rubber SSBR-2560 TDAE HV. Proceedings of VSUET. 2016. no. 1. pp. 146–150. doi: 10.20914/ 2310–1202–2016–1–146–150 (in Russian).

4 Kablov V.F., Aksenov V.I. Modern trends in the use of rubbers and fillers in rubber formulations. Industrial production and use of elastomers. 2018. no. 3. pp. 24–34. doi: 10.24411/2071–8268–2018–10305 (in Russian).

5 Ejsmont J., Owczarzak W. Engineering method of tire rolling resistance evaluation. Measurement. 2019. vol. 145. pp. 144–149. doi: 10.1016/j.measurement.2019.05.071

6 Dorozhkin V.P., Mokhnatkina E.G., Zemsky D.N. Silanization. Part I. Kauchuk and Rubber. 2019. no. 1. pp. 28–37. (in Russian).

7 Dorozhkin V.P., Mokhnatkina E.G., Zemsky D.N. Silanization. Part II. Kauchuk and Rubber. 2019. no. 2. pp. 100–113. (in Russian).

8 Volotskoy A.N., Yurkin Yu. V., Avdonin V.V. Influence of the type of filler on the dynamic properties of vibration-absorbing polymer composite materials based on ethylene vinyl acetate. Modern science-intensive technologies. 2018. no. 12. pp. 31–36. (in Russian).

9 State Standard 56801–2015. Plastics. Determination of mechanical properties under dynamic loading. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 27 p. (in Russian)

10 Mansurova I.A., Isupova O. Yu., Burkov A.A., Gavrilov K.E. Elastic and hysteresis properties of rubbers containing polymer-functionalized carbon nanotubes. Izvestiya vuzov. Chemistry and chemical technology. 2018. vol. 61. no. 4–5. pp. 76–83. doi: 10.6060/tcct.20186104–05.5596 (in Russian).

11 Gerges N., Issa C., Fawaz S. Rubbers: Mechanical and dynamical properties. Case Studies in Construction Materials. 2018. vol. 9. pp. 128–129.

12 Guo F., Zhang J., Pei J., Zhou B. et al. Study on the mechanical properties of rubber asphalt by molecular dynamics simulation. Journal of molecular modeling. 2019. vol. 25. no. 12. pp. 1-8. doi: 10.1007/s00894-019-4250-x

13 Maghami S. Silica-filled tire tread compounds: an investigation into the viscoelastic properties of the rubber compounds and their relation to tire performance. 2016. doi: 10.3990/1.9789036541282

14 Wisojodharmo L.A., Fidyaningsih R., Fitriani D.A., Arti D.K. et al. The influence of natural rubber–butadiene rubber and carbon black type on the mechanical properties of tread compound. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2017. vol. 223. no. 1. pp. 012013.

15 Fathurrohman M.I., Rugmai S., Hayeemasae N., Sahakaro K. et al. Better balance of silica-reinforced natural rubber tire tread compound properties by the use of montmorillonite with optimum surface modifier content. Rubber Chemistry and Technology. 2020. vol. 93. no. 3. pp. 548-566. doi: 10.5254/rct.20.80407

16 Zafarmehrabian R., Gangali S.T., Ghoreishy M.H.R., Davallu M. The effects of silica/carbon black ratio on the dynamic properties of the tread compounds in truck tires. E-journal of Chemistry. 2012. vol. 9. no. 3. pp. 1102-1112. doi: 10.1155/2012/571957

17 Sattayanurak S., Noordermeer J.W., Sahakaro K., Kaewsakul W. et al. Silica-reinforced natural rubber: synergistic effects by addition of small amounts of secondary fillers to silica-reinforced natural rubber tire tread compounds. Advances in materials science and engineering. 2019. doi: 10.1155/2019/5891051

18 Ramarad S., Khalid M., Ratnam C.T., Chuah A.L. et al. Waste tire rubber in polymer blends: A review on the evolution, properties and future. Progress in Materials Science. 2015. vol. 72. pp. 100-140. doi: 10.1016/j.pmatsci.2015.02.004

19 Mousavi H., Sandu C. Sensitivity analysis of tire-ice friction coefficient as affected by tire rubber compound properties. Journal of Terramechanics. 2020. vol. 91. pp. 319-328. doi: 10.1016/j.jterra.2020.08.004

20 Thaptong P., Sae- Oui P., Sirisinha C. Effects of silanization temperature and silica type on properties of silica-filled solution styrene butadiene rubber (SSBR) for passenger car tire tread compounds. Journal of Applied Polymer Science. 2016. vol. 133. no. 17. doi: 10.1002/app.43342

Сведения об авторах

Ольга А. Кротова к.т.н., старший преподаватель, кафедра полимерных композиционных материалов, Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь, o.krotova@belstu.by
https://orcid.org/0000-0003-1142-7934

Жанна С. Шашок к.т.н., доцент, кафедра полимерных композиционных материалов, Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь, shashok@belstu.by
https://orcid.org/0000-0003-2279-6866

Елена П. Усс к.т.н., доцент, кафедра полимерных композиционных материалов, Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь, uss@belstu.by
https://orcid.org/0000-0003-2849-6004

Андрей Ю. Люштык главный химик – начальник лаборатории, заводская лаборатория, ОАО «Белшина», Минское шоссе, 4, г. Бобруйск, 213824, Республика Беларусь, lyushtykayu@belshina.by
https://orcid.org/0000-0002-3938-0077

Ольга В. Карманова д.х.н., зав. кафедрой, кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, karolga@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-2226-6582

Information about authors

Olga A. Krotova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, polymer composite materials department, Belarusian State Technological University, Sverdlova str., 13a Minsk, 220006, Republic of Belarus, o.krotova@belstu.by
https://orcid.org/0000-0003-1142-7934

Zhanna S. Shashok Cand. Sci. (Engin.), associate professor, polymer composite materials department, Belarusian State Technological University, Sverdlova str., 13a Minsk, 220006, Republic of Belarus, shashok@belstu.by
https://orcid.org/0000-0003-2279-6866

Elena P. Uss Cand. Sci. (Engin.), associate professor, polymer composite materials department, Belarusian State Technological University, Sverdlova str., 13a Minsk, 220006, Republic of Belarus, uss@belstu.by
https://orcid.org/0000-0003-2849-6004

Andrey Yu. Lyushtyk chief chemist – head of the laboratory, factory laboratory, JSC Belshina, Minsk Highway Str., 4, Bobruisk, 213824, Republic of Belarus), lyushtykayu@belshina.by
https://orcid.org/0000-0002-3938-0077

Olga V. Karmanova Dr. Sci. (Chem.), head of department, technology of organic compounds, polymers processing and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, karolga@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-2226-6582

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/01/2021	**После редакции** 17/02/2021	**Принята в печать** 03/03/2021
Received 20/01/2021	**Accepted in revised** 17/02/2021	**Accepted** 03/03/2021

Экономика и управление

Economics and Management

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-336-342 Оригинальная статья/Research article

УДК 338.2 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Анализ эффективности производства сельскохозяйственной продукции

Анжела А. Акбашева [1] anzhela-akbasheva@mail.ru 0000-0003-1609-8957

Ирина Ш. Дзахмишева [2] irina_dz@list.ru 0000-0002-7324-5338

Юлия В. Масалова [1] masalova.8080@mail.ru 0000-0003-2529-8547

1 Московский финансово-промышленный университет «Синергия», Карачаево-Черкесский филиал, пр-т Ленина, 83, г. Черкесск, 369000, Россия

2 Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, пр. Ленина, 1в., г. Нальчик, 360030, Россия

Аннотация. В научной статье представлены результаты анализа функционирования предприятий АПК. Природно-экономическое положение в регионе позволяет интенсивно развивать производство товарной продукции во всех отраслях агропромышленного комплекса, в том числе плодоводства и овощеводства по уровню рентабельности. Плодоовощная продукция является одним из важнейших видов, пользующихся повышенным спросом у населения и потребителями за пределами региона. Кабардино-Балкарская Республика является наиболее крупным производителем плодов и овощей по СКФО. Исследования показали, что основными факторами, обусловливающими рост валовой продукции овощей и ягод является расширение площадей под плодово-ягодные культуры вдвое к 2010 году. На основе проведенных исследовании подтверждается, что использование интенсивных технологий при производстве плодов и ягод обеспечивает достаточно высокий прирост урожайности. В силу того, что плодово-ягодные культуры являются скоропортящими продуктами питания, необходимо в кротчайшие сроки довести их до конечного потребителя в презентабельном виде. Одной из проблем, часто встречающихся для дальнейшего развития плодово-ягодного производства, являются не полностью налаженные связи между производителями и различными службами, выполняющими функции хранения, транспортировки, переработки и доведения продукции до конечных потребителей. Поэтому, хозяйствам всех категорий при разработке политики управления производственной деятельностью и прогнозировании следует учитывать в первую очередь. Повышение эффективности производства плодово-ягодной продукции и непрерывного насыщения потребительского рынка высококачественной плодово-ягодной продукцией возможно в условиях внедрения внедрении интенсивных методов агротехнологии, усилении мер государственной поддержки в условиях применения результатов анализа эффективности деятельности хозяйств всех категорий. Увеличения валового сбора плодов и ягод можно добиться в результате закладки садов с применением адаптированных сортов, устойчивых к текущим климатическим условиям.

Ключевые слова: сельское хозяйство, плодово-ягодные культуры, валовой сбор, интенсивные агротехнологии, эффективность, производство

Analysis of the efficiency of agricultural production

Anzhela A. Akbasheva [1] anzhela-akbasheva@mail.ru 0000-0003-1609-8957

Irina Sh. Dzakhmisheva [2] irina_dz@list.ru 0000-0002-7324-5338

Yulia V. Masalova [1] masalova.8080@mail.ru 0000-0003-2529-8547

1 Moscow Financial and Industrial University Sinergiya, Karachay-Cherkess branch, Lenin Ave, 83, Cherkessk, 369000, Russia

2 Kabardino-Balkarian State Agricultural University of V.M. Kokov, Lenin Ave., 1 of century, Nalchik, 360030, Russia

Abstract. The scientific article presents the results of the analysis of the state of functioning of agricultural enterprises. The natural and economic situation in the region makes it possible to intensively develop the production of marketable products in all sectors of the agro-industrial complex, including fruit and vegetable growing in terms of profitability. Fruit and vegetable products are one of the most important types that are in high demand among the population and consumers outside the region. The Kabardino-Balkarian Republic is the largest producer of fruits and vegetables in the North Caucasus Federal District. Studies have shown that the main factors determining the growth of the gross production of vegetables and berries is the expansion of areas for fruit and berry crops by half by 2010. Based on the research carried out, it is confirmed that the use of intensive technologies in the production of fruits and berries provides a fairly high increase in yield. Due to the fact that fruit and berry crops are perishable food products, it is necessary to bring them to the end consumer in a presentable form as soon as possible. One of the problems often encountered for the further development of fruit and berry production is the incompletely established links between producers and various services that perform the functions of storage, transportation, processing and delivery of products to end consumers. Therefore, farms of all categories should take into account first and foremost when developing policies for managing production activities and forecasting. Increasing the efficiency of production of fruit and berry products and continuous saturation of the consumer market with high-quality fruit and berry products is possible in the context of the introduction of the introduction of intensive methods of agricultural technology, strengthening of state support measures in the context of the application of the results of analysis of the effectiveness of the activities of farms of all categories. An increase in the gross yield of fruits and berries can be achieved as a result of planting orchards using adapted varieties that are resistant to current climatic conditions.

Keywords: economic security, mechanism, agricultural products, production, financial indicators, profitability, profitability, external and internal threats, protection from threats

Для цитирования

Акбашева А.А., Дзахмишева И.Ш., Масалова Ю.В. Анализ эффективности производства сельскохозяйственной продукции // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 336–342. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-336-342

For citation

Akbasheva A.A., Dzakhmisheva I.Sh., Masalova Yu.V. Analysis of the efficiency of agricultural production. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 336–345. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-336-345

© 2021, Акбашева А.А. и др. / Akbasheva A.A et al.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Агропромышленный комплекс КБР включает в себя более 150 хозяйств различных организационно-правовых форм хозяйствования. В хозяйственном общественном секторе экономики производство валовой продукции составило свыше 30% стоимости основных фондов сельскохозяйственного назначения, численность работников составила более 50 тыс. человек, общая площадь сельскохозяйственных угодий достигает 600 тысяч га, что характеризует регион Кабардино-Балкарской Республики как один из действенных субъектов РФ по производству продукции сельского хозяйства.

Цель работы – исследование эффективности производства сельскохозяйственной продукции.

Методы

В работе использованы экономико-математический, статистический, абстрактно-логический и монографический методы.

Результаты и обсуждение

Анализ состояния функционирования предприятий АПК, в том числе перерабатывающей промышленности и плодоовощной отрасли показывает в целом высокий уровень интенсивности. За последнее десятилетие вложения производственных затрат на единицу площади увеличились до 18%, а уровень фондообеспеченности – на 13,5%, фондовооруженности – более, чем на 15%.

Основные показатели эффективности производства и переработки сельхозпродукции свидетельствуют в основном о рациональном использовании производственных ресурсов (таблица 1).

Таблица 1.

Экономическая эффективность сельскохозяйственного производства Кабардино-Балкарской Республики

Table 1.

Economic efficiency of agricultural production in the Kabardino-Balkarian Republic

Показатели Indicator	Годы | Years					2019 г. в % к 2010 г.
	2010	2015	2017	2018	2019	
Объем валовой продукции на: | The volume of gross production by:						
100 га сельхозугодий, тыс. руб. 100 hectares of farmland, thousand rubles	16,0	17,1	17,3	17,8	18,2	113,7
100 руб. основных средств сельхозназначения, руб. RUB 100 fixed assets for agricultural purposes, rub.	46,0	43,0	48,0	49,0	49,1	86,5
100 руб. производственных затрат, руб. RUB 100 production costs, rub.	105,1	110,0	114,3	114,7	109,2	102,3
Урожайность зерновых, ц/га | Grain yield, kg / ha	37,4	45,8	56,3	54,1	54,8	146,0
Среднегодовой удой молока от одной коровы, кг Average annual milk yield per cow, kg	2217	2230	2229	2315	2465	111,8
Затраты труда на производство 1 ц, чел./час: | Labor costs for the production of 1 centner, person / hour:						
зерна | grains	0,86	0,77	0,70	0,58	0,53	61,6
молока | milk	7,20	7,15	6,50	6,30	6,20	86,6
Себестоимость 1 ц продукции, руб.: | Cost of 1 centner of production, rubles: grain						
зерна | grains	8,30	7,63	8,31	7,92	8,50	102,4
молока | milk	32,2	31,4	31,7	33,0	35,4	109,0
Уровень рентабельности, % | Profitability level,%	15,0	18,0	35,0	41,3	45,0	+30,0

Объем валовой продукции на 100 га сельскохозяйственных угодий увеличился и составил 113,7% в 2019 году.

Природно-экономическое положение в регионе позволяет интенсивно развивать производство товарной продукции во всех отраслях агропромышленного комплекса, в том числе плодоводства и овощеводства по уровню рентабельности.

Плодоовощная продукция является одним из важнейших видов, пользующихся повышенным спросом у населения и потребителями за пределами региона. Кабардино-Балкарская Республика является наиболее крупным производителем плодов и овощей по СКФО.

Индексы цен производителей сельхозпродукции на основные виды товарной продукции, реализуемые заготовительными перерабатывающими организациями на рынке, в полной мере отвечают запросам потребителей.

К основным производителям плодоовощной продукции в КБР относятся Чегемский, Терский, Урванский, Прохладненский, Майский районы, г. Нальчик.

В данных районах производство плодов и овощей располагаются по близости к местам потребления, здесь же расположены наиболее крупные перерабатывающие предприятия. В перечисленных районах имеются благоприятные условия для выращивания широкого ассортиментного состава продукции. Целесообразность и рациональность размещения в таком плане подтверждается нашими расчетами с применением индексного метода (таблица 2).

Таблица 2.

Оценка эффективности производства плодов и овощей в районах КБР (2016–2019 гг. в среднем)

Table 2.

Assessment of the efficiency of production of fruits and vegetables in the regions of the KBR (2016–2019 on average)

Показатели Indicator		Сельскохозяйственные районы Regions						В целом по совокупности Total
		Чегемский Chegemskiy	Терский Terskiy	г. Нальчик Nalchik	Урванский Urvanskiy	Прохладненский Prokhladnenskiy	Майский Mayskiy	
Индекс урожайности	Yield index	0,57	0,76	1,19	1,02	0,83	0,76	1,00
Индекс затрат труда	Labor cost index	1,82	1,63	0,65	0,97	1,29	1,70	1,00
Индекс себестоимости	Cost index	1,55	1,19	0,87	0,98	1,26	1,32	1,00
Интегральный индекс	Integral index	0,20	0,27	2,10	1,07	0,51	0,34	1,00

Интегральный индекс исчисляется отношением индекса урожайности к произведению индексов стоимости и затрат труда. В свою очередь, эти первичные индексы получены путем соотношения соответствующих показателей в зоне со среднереспубликанскими.

В 2019 году в КБР было произведено более 600 тысяч тонн плодово-ягодной и овощной продукции, в том числе 349 тысяч тонн плодов и ягод и 258,9 тысяч тонн овощей (рисунок 1). Валовой сбор плодов и ягод, наиболее пользующихся спросом населения, отражает положительную динамику, причем в период с 2010 по 2019 год он вырос в 3,9 раза. Максимальный валовой объем сборов винограда в этот период приходился на 2015 год (20,7 тыс. т.), а в 2019 году он уменьшился на 45% и достиг 11,5 тысяч тонн.

Производство основных видов сельскохозяйственной продукции распределено неравномерно. Так, сельскохозяйственные организации в 2019 году специализировались на выращивании овощей, на их сельскохозяйственных угодьях собрано 64% овощей от общего производства всеми категориями хозяйств. Хозяйства населения производят в основном мед (98%) и продукцию животноводства: молоко (68%), яйца (84%), шерсть (64%) (таблица 3).

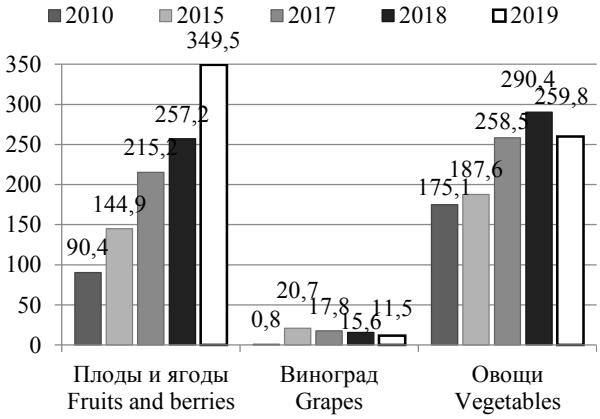


Рисунок 1. Валовой сбор продуктов растениеводства за 2010–2019 гг. в хозяйствах всех категорий; тыс. т

Figure 1. Gross harvest of crop products for 2010–2019 in farms of all categories; thousand tons

Таблица 3.

Производство основных видов сельскохозяйственной продукции по категориям хозяйств (в процентах от общего объема производства)

Table 3.

Production of major agricultural products by farm category (as a percentage of total production)

Продукция | Products	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сельскохозяйственные организации | Agricultural organizations									
Зерно (после доработки) | Grain (after revision)	98	96	96	54	41	33	27	30	22
Семена подсолнечника | Sunflower seeds	100	98	97	64	45	50	51	51	33
Картофель | Potatoes	47	11	13	6	8	7	16	15	15
Овощи | Vegetables	79	36	50	15	16	33	63	68	64
Плоды и ягоды | Fruits and berries	49	18	10	17	10	26	34	38	33
Скот и птица на убой (в убойном весе) | Livestock and poultry for slaughter (slaughter weight)	74	33	33	19	33	37	37	34	35
Молоко | Milk	56	26	16	8	9	12	12	13	14
Яйца | Eggs	39	9	11	12	12	19	18	16	15
Шерсть (в физическом весе) | Wool (in physical weight)	51	37	7	3	3	5	5	6	7
Мед | Honey	12	6	2	4	5	5	0,4	–	–

Продолжение таблицы 3 | Continuation of table 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Хозяйства населения | Households									
Зерно (после доработки) | Grain (after revision)	2	3	2	3	2	1	1	0	0
Семена подсолнечника | Sunflower seeds	–	1	1	–	–	–	–	0	0
Картофель | Potatoes	53	88	87	80	66	60	51	52	47
Овощи | Vegetables	21	62	49	44	35	25	16	16	19
Плоды и ягоды | Fruits and berries	51	82	90	75	59	40	25	22	19
Скот и птица на убой (в убойном весе) | Livestock and poultry for slaughter (slaughter weight)	26	66	64	66	47	32	36	38	38
Молоко | Milk	44	74	83	90	81	71	70	70	68
Яйца | Eggs	61	91	86	86	85	81	81	83	84
Шерсть (в физическом весе) | Wool (in physical weight)	49	63	93	97	83	69	67	66	64
Мед | Honey	88	94	98	96	93	95	99	98	98
Крестьянские (фермерские) хозяйства Peasant (farm) farms									
Зерно (после доработки) | Grain (after revision)	–	1	2	43	57	66	72	70	78
Семена подсолнечника | Sunflower seeds	–	1	2	36	55	50	49	49	67
Картофель | Potatoes	–	1	–	14	26	33	33	33	38
Овощи | Vegetables	–	2	1	41	49	42	21	16	17
Плоды и ягоды | Fruits and berries	–	–	–	8	31	34	41	40	48
Скот и птица на убой (в убойном весе) | Livestock and poultry for slaughter (slaughter weight)	–	1	3	15	20	31	27	28	27
Молоко | Milk	–	–	1	2	10	17	18	17	18
Яйца | Eggs	–	–	3	2	3	–	1	1	1
Шерсть (в физическом весе) | Wool (in physical weight)	–	–	–	–	14	26	28	28	29
Мед | Honey	–	–	–	–	2	–	1	2	2

Крестьянские (фермерские) хозяйства в 2019 году вырастили значительную долю зерна (78%), семян подсолнечника (67%) и почти половину плодов и ягод (48%). На рост валового сбора плодов и ягод.

В целом по республике рост урожайности плодов и овощей за последнее десятилетие в хозяйствах всех категорий является положительным фактом.

Исследования подтверждают, что основными факторами, обусловливающими рост валовой продукции овощей и ягод, является расширение площадей под плодово-ягодные культуры вдвое с 2010 по 2019 год (таблица 4).

Таблица 4.

Площадь и валовые сборы плодово-ягодных и виноградных насаждений (в хозяйствах всех категорий)

Table 4.

Area and gross yield of fruit and berry and grape plantations (in farms of all categories)

Наименование | Name	2010	2015	2017	2018	2019
Площадь плодово-ягодных насаждений, тыс. га. The area of fruit and berry plantations, thousand hectares.	10,1	16,3	17,3	19,1	20,8
в том числе в плодоносящем возрасте including at a fertile age	7,4	10,3	11,0	11,6	13,4
Площадь виноградных насаждений, тыс. га. The area of vine plantations, thousand hectares.	0,8	1,1	1,2	1,2	1,2
в том числе в плодоносящем возрасте including at a fertile age	0,5	1,1	1,2	1,2	1,2
Валовой сбор, тыс. тонн Gross harvest, thousand tons					
плоды и ягоды	90,4	144,9	215,2	257,2	349,5
виноград	0,8	20,7	17,8	15,6	11,5

Значит, темп роста валовых сборов плодов и ягод опережает темп роста площадей под них почти вдвое, что является положительным фактом для дальнейшего развития деятельности хозяйств всех категорий в данном направлении.

Как отмечено, половина плодов и ягод (48%), производимых в республике, принадлежит крестьянским (фермерским) хозяйствам. Однако, сельскохозяйственным организациям также принадлежит 33%. Если сравнить эффективность производства плодово-ягодных культур по статистическим данным приведенным в таблице 5, то приходим к выводу, что в крестьянских (фермерских) хозяйствах получают больший урожай с каждого гектара земли, то есть площади в хозяйствах данной категории используются эффективнее.

Таблица 5.

Площадь плодово-ягодных, виноградных насаждений и валовой сбор плодов, ягод и винограда по категориям хозяйств в 2019 г.

Table 5.

Area of fruit and berry, grape plantations and gross harvest of fruits, berries and grapes by farm category in 2019

Показатели Indicator	В хозяйствах всех категорий Total	в том числе: | incl.		
		С/х организациях Agricultural organizations	Хозяйствах населения Households	Крестьянских (фермерских) хозяйствах
Площадь плодово-ягодных насаждений, тыс. га Area of fruit and berry plantations, thousand hectares	20,8	7,2	4,0	9,6
в том числе в плодоносящем возрасте | including at a fertile age	13,4	4,8	3,2	5,4
Площадь виноградных насаждений, тыс. га The area of vine plantations, thousand hectares	1,2	1,1	0,04	0,04
в том числе в плодоносящем возрасте | including at a fertile age	1,2	1,1	0,04	0,01
Валовой сбор всего, тыс. т плоды, ягоды и виноград Total gross harvest, tons of fruits, berries and grapes-	361,0	126,0	67,4	167,6
в том числе виноград | including grapes	11,5	11,0	0,4	0,1

Заключение

Проведенный за последние 9 лет анализ подтверждает, что рост в 3,9 раза производства плодов и ягод достигнут за счет расширения площадей, в том числе под зимними теплицами, на основе интенсивного использования посевов под пленкой и утепленным грунтом. На основе проведенных исследовании подтверждается, что использование интенсивных технологий при производстве плодов и ягод обеспечивает достаточно высокий прирост урожайности.

К основной организационной форме в структуре производства плодово-ягодной продукции региона относятся производственные бригады, способствующие достижению наиболее высоких результатов, несмотря на сравнительно небольшие размеры производства.

Эффективности производства в малых хозяйствующих субъектах отрасли добиваются арендные и подрядные коллективы, с учетом их большей самостоятельности в процессе организации управления производством и сбытом продукции.

Предоставленная самостоятельность различным подразделениям плодоовощной отрасли АПК требует решения проблем оптимального подхода к формированию численности работников аппарата управления. В настоящее время на 100 работающих наиболее целесообразнее иметь на предприятиях не более 10 сотрудников из числа аппарата управления, что будет способствовать более высокого уровня доходности с учетом снижения затрат на их содержание.

Производство плодов и ягод для дальнейшего применения в пищевой промышленности постоянно растет [1, 2]

В силу того, что плодово-ягодные культуры являются скоропортящимися продуктами питания, необходимо в кротчайшие сроки довести их до конечного потребителя в презентабельном виде. Одной из проблем, часто встречающихся для дальнейшего развития плодово-ягодного производства, являются не полностью налаженные связи между производителями и различными службами, выполняющими функции хранения, транспортировки, переработки и доведения продукции до конечных потребителей. Поэтому, хозяйствам всех категорий при разработке политики управления производственной деятельностью и прогнозировании следует учитывать в первую очередь.

Повышение эффективности производства плодов и ягод, насыщения потребительского рынка высококачественной плодово-ягодной продукцией возможно только при внедрении интенсивных приемов агротехнологии, при применении качественного безвирусного посадочного материала, укреплении государственной поддержки [3–5].

Возделывание плодоовощных культур по интенсивным технологиям в регионе не редко отличается проблематичностью при проведении технологических операций и приемов, применяемые не всегда в соответствии с физиологическими потребностями растений. Это связано с тем, что внесение различных удобрений на практике не всегда выдерживаются сроком их внесений, что снижает качество продукции. При этом

многие операции в производстве плодов и ягод недостаточно механизированы, что снижает производительность труда [6–8].

Несмотря на многие проблемы, встречающиеся при производстве и реализации плодов и ягод, они пользуются высоким спросом, хозяйства республики будут стремиться производить их, для чего потребуются инвестиции. В связи с этим, необходимо усилить влияние науки на развитие технического и технологического процесса, решающего фактора эффективности агропромышленного комплекса, а также государственную поддержку отрасли садоводства и плодоводства.

В целях повышения эффективности отрасли по производству плодов и ягод и обеспечения насыщения потребительского рынка свежей качественной плодово-ягодной продукцией в Кабардино-Балкарской республике следует:

– создать продуктивные сады интенсивного типа на слаборослых подвоях [9],

– увеличить площади под многолетними насаждениями;

– усиленно заниматься закладкой садов и ягодников в наиболее благоприятных агроклиматических зонах;

– применять сорта плодовых культур и ягод с высокой продуктивностью с плодами высокого качества, способных переносить действия абиотических и биотических стрессов [10–20];

– внедрять интенсивные технологии, отвечающие современным требованиям, что потенциально повысит продуктивность плодово-ягодных культур и винограда;

– применять удобрения, регуляторы роста и развития растений, позволяющих справиться с агроклиматическими и биологическими нагрузками в целях повышения качества урожая;

– внедрять экологически безопасные и целесообразные методы производства и хранения продукции.

Литература

1 Грибова Н.А., Данилова К.Ю. Актуальные способы переработки плодово-ягодной продукции // Траектории развития. 2020. С. 259–266.

2 Иванова Е.А. Анализ показателей многолетних насаждений и производства продукции плодово-ягодных культур в Оренбургской области (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. №. 3. doi: 10.33284/2658-3135-103-3-243

3 Соколов О.В., Саблин О.В., Рогов М.А. Эффективность производства продукции растениеводства: проблемы и перспективы роста // Наука и Образование. 2020. Т. 3. №.4.

4 Новикова Ю.Ю. Эффективность плодоводческой отрасли Беларуси // Устойчивое социально-экономическое развитие регионов. 2020. С. 193–198.

5 Соколов О.В., Серебрякова Р.О., Рогов М.А. Оценка конкурентоспособности производства плодов в сельскохозяйственных организациях Тамбовской области // Наука и Образование. 2020. Т. 3. №. 4.

6 Наседкина Т.И., Лаханова А.М. Анализ эффективности производства сельскохозяйственной продукции на основе МСФО // Бухучет в сельском хозяйстве. 2011. №. 6. С. 46–50.

7 Касынкина О.М. Повышение эффективности производства продукции садоводства // Нива Поволжья. 2014. №. 4 (33).

8 Ситдикова Г.З. Факторы эффективности производства в садоводстве // Региональная экономика: теория и практика. 2009. №. 38.

9 Велибекова Л.А. Пути повышения объемов производства плодов и ягод // Вопросы структуризации экономики. 2018. №. 1.

10 Егоров Е.А. и др. Актуальные направления повышения эффективности промышленного плодоводства // Селекция и сорторазведение садовых культур. 2018. Т. 5. №. 1.

11 Вахитов Р.И., Зайнетдинова Е.В. Эффективные методы управления внедрением инновационных технологий // Вестник НГУЭУ. 2012. № 2. С. 69-74.

12 Ерохина О.С. Методический подход к бухгалтерскому учету технологических потерь // Вестник НГУЭУ. 2012. № 3. С. 114-120.

13 Лихутин П.Н. Особенности принятия инвестиционных решений на рынке коллективных инвестиций // Вестник НГУЭУ. 2012. № 4-1. С. 92-101.

14 Сосновская Т.Н. Совершенствование государственной поддержки и кредитования аграрного сектора в регионе с экстремальными природными условиями // Вестник НГУЭУ. 2012. № 4-1. С. 228-233.

15 Иванова И.А. Прогнозирование экономических рисков в сельском хозяйстве с учетом цикличности его развития // Вестник НГУЭУ. 2013. № 4. С. 229-238.

16 Magasumovna A.A., Anasovna S.G., Alfirovna Z.Z. Factors and reserves of increase of efficiency of agricultural production // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. V. 12. №. 24. P. 15821-15829.

17 Pavlov A., Kindaev A., Vinnikova I., Kuznetsova E. Crop insurance as a means of increasing efficiency of agricultural production in Russia // International Journal of Environmental and Science Education. 2016. V. 11. №. 18. P. 11863-11868.

18 Cankurt M., Miran B., Gunden C. A comparative analysis on productivity and efficiency of agricultural production of the EU and Turkey // Journal of Food, Agriculture & Environment. 2013. V. 11. №. 2. P. 433-439.

19 Clark M., Tilman D. Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice // Environmental Research Letters. 2017. V. 12. №. 6. P. 064016. doi: 10.1088/1748-9326/aa6cd5

20 Ableeva A.M., Salimova G.A., Rafikova N.T., Fazrahmanov I.I. et al. Economic evaluation of the efficiency of supply chain management in agricultural production based on multidimensional research methods // International Journal of Supply Chain Management. 2019. V. 8. №. 1. P. 328.

References

1 Gribova N.A., Danilova K.Yu. Actual methods of processing fruit and berry products. Trajectories of development. 2020. pp. 259–266. (in Russian).

2 Ivanova E.A. Analysis of indicators of perennial plantings and production of fruit and berry crops in the Orenburg region (review). Animal husbandry and forage production. 2020. V. 103. no. 3. doi: 10.33284/2658-3135-103-3-243 (in Russian).

3 Sokolov O.V., Sablin O.V., Rogov M.A. Efficiency of crop production: problems and growth prospects. Science and Education. 2020. vol. 3. no. 4. (in Russian).

4 Novikova Yu.Yu. Efficiency of the fruit-growing industry in Belarus. Sustainable socio-economic development of regions. 2020. pp. 193–198. (in Russian).

5 Sokolov O.V., Serebryakova R.O., Rogov M.A. Assessment of the competitiveness of fruit production in agricultural organizations of the Tambov region. Science and Education. 2020. vol. 3. no. 4. (in Russian).

6 Nasedkina T.I., Lakhanova A.M. Analysis of the efficiency of agricultural production based on IFRS. Accounting in agriculture. 2011. no. 6. pp. 46–50. (in Russian).

7 Kasynkina O.M. Improving the efficiency of production of gardening products. Niva Povolzhya. 2014. no. 4 (33). (in Russian).

8 Sitdikova G.Z. Factors of production efficiency in gardening. Regional economy: theory and practice. 2009. no. 38. (in Russian).

9 Velibekova LA Ways to increase the production of fruits and berries. Questions of economic structuring. 2018. no. 1. (in Russian).

10 Egorov E.A. et al. Actual directions of increasing the efficiency of industrial fruit growing. Selection and cultivation of garden crops. 2018. vol. 5. no. 1. (in Russian).

11 Vakhitov R.I., Zainetdinova E.V. Effective management methods for the implementation of innovative technologies. Vestnik NSUEM. 2012. no. 2. pp. 69-74. (in Russian).

12 Erokhina O.S. Methodical approach to accounting of technological losses. Vestnik NSUEM. 2012. no. 3. pp. 114-120. (in Russian).

13 Likhutin P.N. Features of making investment decisions on the collective investment market. Vestnik NSUEM. 2012. no. 4-1. pp. 92-101. (in Russian).

14 Sosnovskaya T.N. Improving state support and lending to the agricultural sector in a region with extreme natural conditions. Vestnik NSUEM. 2012. no. 4-1. pp. 228-233. (in Russian).

15 Ivanova I.A. Forecasting economic risks in agriculture taking into account the cyclical nature of its development. Vestnik NSUEM. 2013. no. 4. pp. 229-238. (in Russian).

16 Magasumovna A.A., Anasovna S.G., Alfirovna Z.Z. Factors and reserves of increase of efficiency of agricultural production. International Journal of Applied Engineering Research. 2017. vol. 12. no. 24. pp. 15821-15829.

17 Pavlov A., Kindaev A., Vinnikova I., Kuznetsova E. Crop insurance as a means of increasing efficiency of agricultural production in Russia. International Journal of Environmental and Science Education. 2016. vol. 11. no. 18. pp. 11863-11868.

18 Cankurt M., Miran B., Gunden C. A comparative analysis on productivity and efficiency of agricultural production of the EU and Turkey. Journal of Food, Agriculture & Environment. 2013. vol. 11. no. 2. pp. 433-439.

19 Clark M., Tilman D. Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. Environmental Research Letters. 2017. vol. 12. no. 6. pp. 064016. doi: 10.1088/1748-9326/aa6cd5

20 Ableeva A.M., Salimova G.A., Rafikova N.T., Fazrahmanov I.I. et al. Economic evaluation of the efficiency of supply chain management in agricultural production based on multidimensional research methods. International Journal of Supply Chain Management. 2019. vol. 8. no. 1. pp. 328.

Сведения об авторах

Анжела А. Акбашева к.э.н., заведующая кафедрой, кафедра экономического анализа и учета, Московский финансово-промышленный университет «Синергия», Карачаево-Черкесский филиал, пр-т Ленина, 83, г. Черкесск, 369000, Россия, anzhela-akbasheva@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-1609-8957

Ирина Ш. Дзахмишева д.э.н., профессор, кафедра товароведения, туризма и права, Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, пр. Ленина, 1в., г. Нальчик, 360030, Россия, irina_dz@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-7324-5338

Юлия В. Масалова доцент, кафедра экономического анализа и учета, Московский финансово-промышленный университет «Синергия», Карачаево-Черкесский филиал, пр-т Ленина, 83, г. Черкесск, 369000, Россия, masalova.8080@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-2529-8547

Information about authors

Anzhela A. Akbasheva Cand. Sci. (Econ.), managing department, economic analysis and account department, Moscow Financial and Industrial University "Sinergiya", Karachay-Cherkess branch, Lenin Ave, 83, Cherkessk, 369000, Russia, anzhela-akbasheva@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-1609-8957

Irina Sh. Dzakhmisheva Dr. Sci. (Econ.), professor, merchandizing, tourism and right department, Kabardino-Balkarian State Agricultural University of V.M. Kokov, Lenin Ave., 1 of century, Nalchik, 360030, Russia, irina_dz@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-7324-5338

Yulia V. Masalova associate professor, economic analysis and account department, Moscow Financial and Industrial University Sinergiya, Karachay-Cherkess branch, Lenin Ave, 83, Cherkessk, 369000, Russia, masalova.8080@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-2529-8547

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 22/01/2021	**После редакции** 17/02/2021	**Принята в печать** 02/03/2021

Received 22/01/2021	**Accepted in revised** 17/02/2021	**Accepted** 02/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-343-352 Оригинальная статья/Research article

УДК 005.95 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Сравнительный анализ стратегий управления брендом

Юлия О. Лящук [1] ularzn@mail.ru 0000-0002-3612-1707

Ольга В. Платонова [2] platva-82@mail.ru 0000-0002-3259-1031

1 Московский университет имени С.Ю. Витте (филиал в г. Рязань), Первомайский проспект, 62, г. Рязань, 390013, Россия

2 Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказания, ул. Сенная, д.1, г. Рязань, 390000, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты анализа трѐх основных стратегий, входящих в систему управления брендом. Управление брендом предполагает разработку долгосрочного плана, который детально описывает формирование стратегических образов и имиджа бренда, предполагаемую динамику его развития бренда, и реакцию на изменения внешней среды, рынка и потребительских представлений. Стратегии управления используются для достижения ключевых целей развития бренда. В первую очередь, брендовая продукция должна быть уникальной и выгодно отличаться от продукции конкурентов, что на сегодняшний день в условиях глобализации довольно сложно. Стратегическое управление брендом позволяет решить эту задачу, проанализировав ситуацию на рынке и применив необычные методы привлечения внимания потребителей. Для того, чтобы увеличить значимость продукции необходимо выстроить эмоциональную и доверительную связь с контактной аудиторией. Тонко выстроенная эмоциональная связь позволяет обрести клиента, которому не только подходит продукт, но и который порекомендует его своему ближнему окружению. Когда брендинг создает эмоциональную связь с клиентами, это позволяет увеличить долю рынка, получить большую отдачу в денежном эквиваленте и развивать бренд. В условиях жѐсткой конкуренции на современных рынках занять прибыльную нишу новым брендам очень тяжело. Но стоит помнить, что раскрученные бренды приобрели популярность благодаря определенным стратегиям, которые будут весьма эффективны и сегодня. Управление брендом включает в себя три, взаимосвязанных в единый комплекс, стратегии: стратегию продвижения бренда, рекламную стратегию бренда и стратегию позиционирования бренда. Многие предприятия и организации, признавая ценность и позитивное влияние сильного бренда на уровень продаж, прописывают стратегию построения и будущего развития бренда довольно расплывчато. Стоит помнить, что стратегическое управление брендом необходимо не только тогда, когда создается новый бренд, но и в тех случаях, когда нужно реанимировать или обновить уже существующую торговую марку.

Ключевые слова: стратегия продвижения, бренд, реклама, стратегия, позиционирование бренда

Comparative analysis of brand management strategies

Yuliya O. Lyashchuk [1] ularzn@mail.ru 0000-0002-3612-1707

Olga V. Platonova [2] platva-82@mail.ru 0000-0002-3259-1031

1 Moscow University named after S.Y. Witte (Ryazan branch), Pervomaisky prospect, 62, Ryazan, 390013, Russia

2 Academy of Law and Management of the Federal Service for the Execution of Punishment, st. Sennaya, 1, Ryazan, 390000, Russia

Abstract. The article presents the results of the analysis of three main strategies included in the brand management system. Brand management involves the development of a long-term plan that describes in detail the formation of strategic images and brand image, the expected dynamics of its brand development, and the response to changes in the external environment, market and consumer perceptions. Management strategies are used to achieve key brand development goals. First of all, branded products must be unique and differ favorably from competitors' products, which today is quite difficult in the context of globalization. Strategic brand management allows you to solve this problem by analyzing the market situation and using unusual methods to attract the attention of consumers. In order to increase the value of the product, it is necessary to build an emotional and trusting connection with the contact audience. A finely built emotional connection allows you to find a client who is not only suitable for the product, but also who will recommend it to his closest environment. When branding creates an emotional connection with customers, it allows you to increase market share, get more value for money, and grow your brand. In the face of tough competition in today's markets, it is very difficult for new brands to occupy a profitable niche. But it is worth remembering that the promoted brands gained popularity thanks to certain strategies that will be very effective today. Brand management includes three, interconnected in a single complex, strategies: brand promotion strategy, brand advertising strategy and brand positioning strategy. Many businesses and organizations, while recognizing the value and positive impact of a strong brand on sales, are rather vague about their brand strategy and future development. It is worth remembering that strategic brand management is necessary not only when a new brand is being created, but also in those cases when it is necessary to revive or renew an existing trademark.

Keywords: promotion strategy, brand, advertising, strategy, brand positioning

Введение

Стратегическое управление брендом позволяет решить задачу по формированию имиджа уникальности продукции. Для повышения значимости продукции в глазах потребителей с аудиторией необходимо выстроить эмоциональную и доверительную связь.

Тонко выстроенная эмоциональная связь позволяет обрести постоянных клиентов, которые будут в восторге от продукта и порекомендует его своему ближнему окружению. Когда брендинг создает эмоциональную связь с клиентами, это позволяет увеличить долю рынка, получить большую отдачу в денежном эквиваленте и развивать бренд [3].

Для цитирования

Лящук Ю.О., Платонова О.В.Сравнительный анализ стратегий управления брендом //Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 343 – 352. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-343-352

For citation

Lyashchuk Yu.O., Platonova O.V. Comparative analysis of brand management strategies. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 343–352. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-343-352

© 2021, Лящук Ю.О. и др./ Lyashchuk Yu.O. et al.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Важно помнить, что, создавая бренд, необходимо учесть не только физические свойства товара, но и чувства, вызываемые у потребителей. Производится концентрация не только на сознании, но и на эмоциях и подсознании. Эмоциональные воздействия являются крайне эффективными, а управление эмоциями позволяет влиять на волевую сферу потребителей через эмоциональные состояния [4].

Стратегии управления используются именно для достижения этих ключевых целей развития бренда. В условиях жѐсткой конкуренции на современных рынках занять прибыльную нишу новым брендам очень тяжело.

Известные бренды приобрели популярность благодаря определенным стратегиям, которые будут весьма эффективны и сегодня.

Стратегическое управление брендом необходимо не только тогда, когда создается новый бренд, но и в тех случаях, когда нужно реанимировать или обновить уже существующую торговую марку.

Система управления брендом включает в себя три, взаимосвязанных в единый комплекс, стратегии:

- стратегию позиционирования бренда;
- стратегию продвижения бренда;
- рекламную стратегию бренда.

Каждая из этих стратегий имеет свои особенности и разновидности воплощения.

Объекты и методы

Объектом исследования являлись три основных стратегии управления брендом: стратегия позиционирования бренда, стратегия продвижения бренда и рекламная стратегия бренда.

Предметом исследования являлись особенности применения стратегий каждого вида и результативность их воздействия на контактную аудиторию.

Исследования были проведены стандартными методами статистического и сравнительного анализа на основе данных маркетинговых исследований, проведѐнных международным рейтинговым агентством «Fitch Ratings Inc.», исследовательской компанией «FDF Group» (рейтинги брендов) и маркетинговыми агентствами «MegaResearch» (Москва) и «Infowave» (Санкт-Петербург).

Обсуждение

Рассмотрим особенности каждой из стратегий в комплексе управления брендом.

Наиболее важное место среди них занимает стратегия позиционирования бренда.

Существует несколько концепций позиционирования бренда, которые впервые описал маркетолог, основатель и президент консалтинговой фирмы «Trout&Patners» Джек Траут, который так же является одним из авторов маркетинговых исследований «позиционирования» и маркетинговой войны. Его статья была опубликована в журнале «Industrial Marketing» в 1971 году. Это он придумал основополагающие концепции – позиционирование и дифференцирование [1].

В современном мире данная разработка позиционирования одна из первых и самых важных работ в процессе создания бренда. Без таких разработок нелегко соорудить результативную и продолжительную маркетинговую стратегию.

Позиционирование – это деятельность, сосредоточенная на поиске конкретной рыночной позиции, способной выгодно отличить товар, компанию или услугу от конкурентов, занятии и поддержании этой позиции, формировании в сознании потребителя соответствующего образа товара, компании или услуги. Благополучное позиционирование дает возможность не только занять свое место на рынке, но и обеспечить дополнительным конкурентным преимуществом [2].

То есть позиционирование бренда – это работа, направленная на создание такого образа этого бренда, который поможет потребителю выделить его среди конкурентов и отдать ему предпочтение при покупке.

Позиционирование товара или услуги для потребителя – это способ идентификации того или иного товара или услуги, основанный на важнейших для потребителя характеристиках [5].

Чаще всего работа по организации и обеспечению позиционирования происходит следующим образом:

1 этап – сегментация рынка. Выбрать сегмент рынка, на котором будет представлен товар или услуга;

2 этап – изучить потребности потребителей на данном сегменте рынка, изучить предложения в нем, продумать свои преимущества для последующего построения позиционирования;

3 этап – разработать позиционирование на основе полученных конкурентных преимуществ;

4 этап – подкрепление позиционирования в рекламе, форме и упаковке товара и т. д.

Существует 4 базовых разновидности стратегии позиционирования [1]:

1 – оборонительная (только маркетинговый лидер может позволить себе оборону);

2 – наступательная (только маркетинговый лидер может позволить себе наступление);

3 – фланговая (осуществляется в отношение рынков, на которых никто ничего не делает);

4 – партизанская (для небольших «игроков», которые могут найти свою нишу и зацепиться на ней).

В каждой стратегии существуют определенные принципы.

К принципам оборонительной стратегии можно отнести:

1. Оборонительная стратегия – это игра только для маркетингового лидера. Несмотря на то, что это кажется очевидным, все не так легко. На самом деле не сама компания создает себя как лидера, а потребитель делает из обычного продукта бренд.

2. Лучшая стратегия обороны – это готовность атаковать самого себя. Другими словами, лидер должен иметь возможность производить товар или услугу, которая превосходит их же предыдущий товар.

3. Сильные шаги конкурентов всегда нужно блокировать. В случае если компания-лидер упустила шанс атаковать себя, она может быстро скооперироваться и повторить шаги конкурентов, чтобы они не смогли закрепить свое положение.

Важно помнить, что «война» происходит в умах потребителей и новой атакующей компании требуется некоторое количество времени, чтобы получить положительное впечатление, в этот момент лидеру предоставляется достаточное количество времени для прикрытия своих сторон [6].

Принципы наступательной стратегии:

1. Как правило, реализует стратегию наступления чаще всего лидер.

2. Необходимо найти ваше слабое место и направить свои сильные стороны на его преобразование, пытаться целенаправленно осуществить наступательную кампанию в борьбе с лидером.

3. Принципы фланговой стратегии:

1. Чаще всего, эта стратегия применима в сторону рынков, где еще никто не занял необходимое место.

2. Необходим элемент неожиданности, в борьбе с конкурентами для того, чтобы они не могли скопировать ваш шаг достаточно быстро.

Принципы партизанской стратегии:

1. Небольшой компании проще всего найти маленький сегмент на рынке, который она будет в силах защитить.

2. Необходимо правильно рассчитать свои силы, которые будут положены на защиту сегмента, нельзя себя переоценивать.

3. В случае, когда на занятый сегмент приходит более сильная компания, необходимо иметь гибкость и быть готовым либо найти выход из ситуации, либо уходить с рынка.

В условиях жѐсткой конкуренции на современных рынках занять прибыльную нишу новым брендам очень тяжело. Но стоит помнить, что раскрученные бренды приобрели популярность благодаря определенным стратегиям продвижения, которые будут весьма эффективны и сегодня.

Выделяют следующие аспекты формирования успешного бренда в рамках стратегии продвижения:

— создание комплекта осведомлѐнности;

— создание ощущения качественности;

— создание лояльности к бренду;

— создание позитивных ассоциаций с брендом;

– забота о клиентах (играет крайне важную роль в продвижении брендовых автомобилей, косметики и бытовой техники).

В настоящее время выделяют 5 наиболее действенных форматов стратегии продвижения бренда:

1 – стратегия мифопроектирования;

2 – стратегия эпатажа;

3 – стратегия «звѐздного стиля»;

4 – спонсорская стратегия;

5 – трендовая стратегия.

Рассмотрим более подробно формирование стратегии продвижения бренда на примере брендов одежды.

Когда люди покупают брендовые элементы одежды, их волнует только сам факт обладания брендовой вещью. Поскольку, таким образом они повышают собственный статус среди своего социального слоя. Именно за счѐт этого и существуют дорогие бренды одежды.

В своей книге «Построение бренда в сфере моды [1]: от Armani до Zara» Марк Тангейт показывает нам на примере большого количества брендов одежды, какой путь они прошли и как они его проходили. При этом у каждого бренда были свои особенности продвижения и существенные различия на пути их становления по сравнению с остальными. Из чего следует вывод, что нет какой-то одной единственной формулы, которая сама, автоматически создаст престижный бренд.

Существует множество вариантов, и надо суметь правильно соединить их воедино для реализации идеи.

1. «Chanel». Создавая свой бренд, Шанель взяла за основу инструментарий мифопроектирования, который продолжает использоваться компанией до сих пор. Каждую выпускаемую продукцию бренд связывает с личностью самой Коко, ставшей иконой стиля «Chanel».

Самыми яркими составляющими бренда «Chanel» являются (рисунок 1):

— приталенный жакет;

— маленькое чѐрное платье;

— сумка на цепочке;

— крупная бижутерия (броши-камелии и искусственный жемчуг);

— духи «Chanel № 5» и «Coco» ставшие парфюмерным бестселлером.



Рисунок 1. Составляющие бренда «Chanel»
Figure 1. Components of the brand «Chanel»

2. «Yves Saint-Laurent». Изюминкой бренда стали бунт, вызов ханжеству и закостенелости. Ив Сен-Лоран был мастером эпатажа. Он подарил миру новый образ женщины – свободной от предрассудков, независимой, точно знающей, чего хочет, стильной, властной и уверенной.

Самыми яркими составляющими бренда «YSL» являются:

– брючный костюм-смокинг;
– прозрачная блуза на голое тело;
– пальто-бушлат в духе форменной одежды военных моряков;
– леопардовый принт и сафари (именно в доме Сен-Лоран впервые на подиум выйдет чернокожая модель – Naomi Campbell);
– культовые ароматы «Opium» (из-за своего провокационного названия духи были запрещены к продаже в ряде стран, но, несмотря на критику, «Opium» побил все рекорды по продажам и даже спустя десятилетия остается одним из самых популярных ароматов) и «YSL Pour Homme» (Ив эпатировал публику тем, что снялся в рекламе этого аромата полностью обнаженным).

3. «Armani». Обязательно надо упомянуть Джорджо Армани с его одноимѐнным брендом и «звѐздным стилем». Главные черты почерка Армани – это совершенный крой, мягкие ткани и минималистический стиль. Джинсы и пиджаки являются визитной карточкой бренда. Рост популярности «Armani» ему обеспечил фильм «Американский жиголо» с Ричардом Гиром. Объясняется это тем, что костюмы, которые носил герой фильма, были созданы модным домом Армани. По сути, Ричард Гир стал лицом бренда, закрепив успех бренда после выхода фильма «Красотка. После этого Джорджо продолжил одевать звѐзд в свои наряды, что мы можем частенько увидеть на мероприятиях, освещаемых в СМИ.

Самыми яркими презентациями бренда «Armani» в кинематографе являются следующие картины (рисунок 2): «Неприкасаемые» (костюмы мафиози); «Американский жиголо» (костюмы главного героя – Ричард Гир); «Красотка» (костюмы главного героя – Ричард Гир); «Славные парни» (костюмы гангстеров); «Предмет красоты» (костюмы блестящей пары авантюристов); «Казино рояль» (куртка Джеймса Бонда); «Тринадцать друзей Оушена» (костюмы главного героя Дэнни Оушена (Джордж Клуни) и его приятеля – Расти Райана (Брэд Питт); «Темный рыцарь» (все три фильма Брюс Уэйн (он же Бэтмен) меняет костюмы «Armani» разве что на облачение летучей мыши); «Социальная сеть» (костюмы «Armani» носит Джастин Тимберлейк (Шон Паркер – друг Цукерберга и сооснователь сети «Facebook»); «Ханна. Совершенное оружие» (зеленое пальто и серый костюм Кейт Бланшетт); «Советник» (костюмы главных героев – Майкла Фассбендера и Пенелопы Круз); «Элизиум: Рай не на Земле» (костюмы министрессы обороны планеты Элизиум, которую играет Джоди Фостер); «Волк с Уолл-Стрит» (костюмы успешного биржевого магната Джордана Белфорда, роль которого исполнил Леонардо Ди Каприо); «Унесенные пулями» (костюмы главных героев).



Рисунок 2. «Звѐздный стиль» бренда «Armani»
Figure 2. Star Style, «Armani»

4. «Adidas». Крайне действенным способ продвижения также является спонсорство. С 1926 года компания «Adidas» спонсирует футбольные матчи по всему миру.

Адольф Дасслер (основатель компании) изобрѐл бутсы со съѐмными регулируемыми шипами, в которых в 1954 году играла сборная команда ФРГ. Позже компания «Adidas» занялась производством большого спектра спортивной атрибутики и с 1970 года именно эта компания

занялась поставками футбольных мячей для чемпионатов по всему миру. После такой долгой истории у любого человека те самые три полоски всегда ассоциируются именно с «Adidas», а про бренд знают в каждом уголке планеты.

5. «Zara». Бренд «Zara» – один из самых известных в Испании, завоевавший мировой рынок. Основной способом продвижения бренда является попадание в трендовую волну (рисунок 3).



Рисунок 3. Трендовая стратегия продвижения бренда «Zara»

Figure 3. Trend strategy for promoting the brand Zara

Одежда и аксессуары, которые продаются под этим брендом, стоят весьма недорого, при высоком качестве и оригинальном подходе к созданию продукции. Суть в том, что модельеры «Zara» стараются делать всѐ «в ногу со временем». Если понаблюдать за показами мод, то можно увидеть там какое-нибудь оригинальное платье, а уже через неделю найти очень похожее в магазинах «Zara».

Рекламная стратегия бренда тесно связана со стратегией продвижения. Их основной целью является воздействие на общественное мнение, которое приводит к максимальным продажам за определенный период, увеличивает количество лояльных потребителей и не уменьшает числа повторяемых, не стимулируемых извне покупок в расчете на одного потребителя.

Существует принципиальное различие между построением системы сбыта и продвижения бренда, принадлежащего нам на правах эксклюзива, и того же бренда, реализуемого и нашими конкурентами.

Гипотетически можно представить следующие варианты: уникальный товар под уникальным брендом (ни товар, ни бренд не продает никто, кроме нас); уникальный товар под неуникальным брендом (новый товар «вписан» в линейку чужого бренда); неуникальный товар под уникальным брендом (такой же товар выпускается и под другими брендами, но наш бренд используем только мы); неуникальный товар под неуникальным брендом (вы – магазин, и продаете то же, что и многие другие магазины).

Однако, вне зависимости от варианта соотношения уникальности товара и уникальности бренда, на рынках брендовых товаров и услуг с каждым годом становится всѐ более тесно. В связи с чем всем производителям хочется, чтобы именно их товар был наиболее популярным, известным, и, как следствие – продавался лучше, чем у конкурентов. Правильно подобранная рекламная стратегия бренда – это важный шаг, чтобы выйти на рынок или повысить уровень продаж уже известного бренда. Существует множество методов и решений, которые формируют идею рекламной стратегии бренда [15–17].

Рассмотрим 6 основных видов стилистических вариантов брендовых рекламных концепций.

1. Создание настроения или образа.

Данная концепция позволяет создать прочную ассоциацию между брендовой маркой и ощущением определѐнного настроения, навеянного ключевым образом.

Примером может послужить итальянская компания «Ferrero», успешно использующая именно эту концепцию для продвижения конфет «Raffaello» и «Ferrero Rocher».

Рекламная концепция «Raffaello» направлена на то, чтобы создать романтическое настроение с помощью образа искренней любви (рисунок 4).



Рисунок 4. Создание настроения или образа «Raffaello»

Figure 4. Creating a mood or image Raffaello

Оформление коробки делает отсылку одновременно и к свадебному торту, и к праздничному подарку (в зависимости от формы коробки) с помощью удачного сочетания красной (символизирует любовь и страсть) [12] и белой (символизирует нежность и чистоту) гаммы в цветовом оформлении [14]. При этом удачно подобранный слоган («Признавайтесь в любви 365 дней в году») позволяет варьировать оформление почти ко всем ключевым праздникам – от 8 марта до Нового Года.

Рекламная концепция «Ferrero Rocher» направлена на то, чтобы создать праздничное настроение с помощью образа драгоценной роскоши, что достигается за счѐт сочетания золотой фольги, выгодно подчѐркнутой глубоким коричневым гофре и загадочным нуарным фоном волшебной ночи. Слоганы: «Подарок на все времена!» и «Тем, кто значим!» удачно отражают сущность атмосферы (рисунок 5).



Рисунок 5. Создание настроения или образа «Ferrero Rocher»

Figure 5. Creating a mood or image Ferrero Rocher

2. Акцентирование образа жизни.

Данная концепция позволяет показать, как брендовая продукция вписывается в тот или иной образ жизни. Примером может послужить рекламная концепция «Baldessarini» (рисунок 6), вписывающая свои парфюмерные линейки в образ жизни брутального, делового мужчины. Удачно подобранный слоган: «Привилегия настоящих мужчин» находит воплощение в акцентировании делового образа жизни через сочетание парфюмерного соблазна с уверенностью в себе и стилем взрослого мужчины.



Рисунок 6. Акцентирование образа жизни «Baldessarini»

Figure 6. Emphasizing lifestyle, Baldessarini

Концепция оперирует инструментарием аромомаркетинга, сочетая искушение прованского красного яблока, терпкость амбры и солнечные ноты мандарина, делая отсылку и к мудрому райскому Змию, и к интригующей силе разума, и к увлекательности жизни, как тонкой игры [13].

3. Создание «звѐздной легенды».

Данная концепция показывает историю, которую аудитория проживает вместе с культовой личностью, олицетворяющей брендовую продукцию. Это очень популярная рекламная стратегия, которой пользуются многие известные бренды: Николь Кидман и «Chanel № 5», Одри Тоту и «Chanel № 5», Анджелина Джоли и «Guerlain» (рисунок 7).



Рисунок 7. Создание «звѐздной легенды»

Figure 7. Creation of a *star legend*

4. Создание фантазийной обстановки.

Данная концепция позволяет создать вокруг брендовой продукции ореол фантазии, волшебного, сказочного сна. Воплощение фантазийной атмосферы «Алисы в Стране Чудес» представил бренд «Chanel» (рисунок 8).

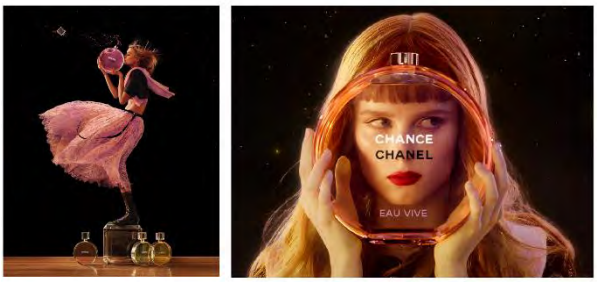


Рисунок 8. Создание фантазийной обстановки «Chanel Chance»

Figure 8. Creating a fantasy environment, Chanel Chance

5. Натурализм.

Данная концепция крайне популярна в последнее время, отражая экологические тренды общества. Концепция натурализма призвана показать приверженность бренда натуральным, экологически чистым природным компонентам, из которых изготавливается продукция. Эту стратегию блестяще реализовал бренд «Guerlain» в линейке «Aqua allegoria» (рисунок 9).



Рисунок 9. Натурализм «Guerlain»

Figure 9. Naturalism, Guerlain

6. Скандальный эпатаж.

Данная рекламная стратегия является одной из самых противоречивых. Можно привести огромное количество примеров использования эпатажа в рекламных кампаниях.

Их скандальные слоганы повторяют всем миром, а ролики разлетаются в Интернете. Но вопрос: «Насколько эффективна такая стратегия?» по-прежнему остаѐтся открытым.

Данная стратегия использует четыре основные темы, которые затрагивают глубинные чувства людей и могут гипотетически оскорбить их: эротические чувства, религиозные чувства, этические чувства, понятия морали и нравственности, политкорректность [18].

Одной из первых стратегию скандального эпатажа применила итальянская марка «Benetton». Тонкая работа знаменитого фотографа Оливьеро Тоскани (в 1994 году он был креативным директором компании «Benetton») – «Священник и монашка» совершила настоящую революцию в рекламе. После эта идея получила развитие в рекламной кампании брендового мороженного «Federici».

Ярким примером эпатажа на основе религиозных чувств является пример французской марки «Maritheet Francois Girbaud». В 2003 году компания разместила плакаты, изображавшие женскую версию легендарной фрески Леонардо да Винчи «Тайная вечеря». На рекламном щите были изображены Иисус Христос и все апостолы в полном соответствии с работой великого итальянского мастера, только их роли исполняли девушки, двое из которых обнимали прекрасного полуобнажѐнного юношу [19].

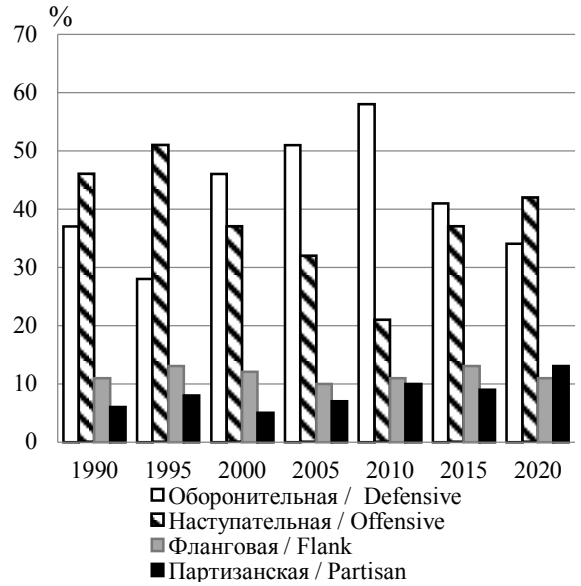


Рисунок 10. Структура предпочтений производителей брендовой продукции при выборе стратегии позиционирования, % [1]

Figure 10. The structure of preferences of manufacturers of branded products when choosing a positioning strategy, % [1]

Примером эпатажа на основе этических, нравственных чувств может послужить рекламная компания «Sisley», апеллирующая к зависимости от психоактивных веществ.

Популярность такой рекламной стратегии вполне понятна и оправданна. Скандальный эпатаж затрагивает самые тайные и интимные чувства, именно те чувства, с которыми люди не привыкли делиться, и демонстрировать их публике. С точки зрения психологии, эффективность провокации и эпатажа заключается в том, что, когда атаке подвергаются глубинные, тайные желания, человек подсознательно защищается, отстаивая свои «скелеты в шкафу». И в этот момент он, сам того не желая, максимально активно воспринимает сообщение. Однако скандал требует и чувства меры: он должен оживить действо, но не испортить его, стать «вишенкой на торте».

Таким образом, стратегия рекламного эпатажа – это инструментарий, с которым нужно обращаться очень аккуратно и дозированно.

С целью выявления наиболее результативного стратегического инструментария управления брендом нами были проанализированы данные маркетинговых исследований, проведѐнных международным рейтинговым агентством «Fitch Ratings Inc.», исследовательской компанией «FDF Group, маркетинговыми агентствами «MegaResearch» и «Infowave» [20].

Структура предпочтений производителей брендовой продукции при выборе стратегии позиционирования (в процентном соотношении) представлена на рисунке 10.

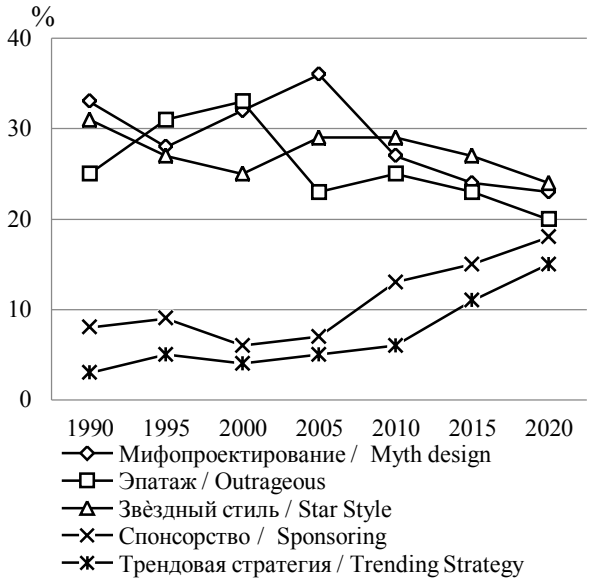


Рисунок 11. Структура предпочтений производителей брендовой продукции при выборе стратегии продвижения, % [1]

Figure 11. The structure of preferences of manufacturers of branded products when choosing a promotion strategy, % [1]

Анализ данных показывает, что производители брендовой продукции отдают предпочтение наступательной и оборонительной стратегии позиционирования, что связано с лидирующими позициями брендовых марок на рынке.

Структура предпочтений производителей брендовой продукции при выборе стратегии продвижения представлена на рисунке 11.

Анализ данных показывает, что производители брендовой продукции отдают предпочтение мифопроектированию, звѐздному стилю и эпатажу среди стратегий продвижения. Начиная с периода 2005 года, на рисунке видна динамика в сторону сокращения доли этих стратегий и тенденции к выравниванию с трендовой стратегией и спонсорством.

К 2020 году описанные стратегии гармонизировались в своѐм долевом соотношении: на первом месте находится стратегия звѐздного стиля, 24 % исследованных брендов выбрали именно еѐ, на втором – мифопроектирование (23 %), на третьем – эпатаж (20 %), на четвѐртом – спонсорство (18 %), на пятом – трендовая стратегия (15 %).

Структура предпочтений производителей брендовой продукции при выборе рекламной стратегии представлена на рисунке 12.

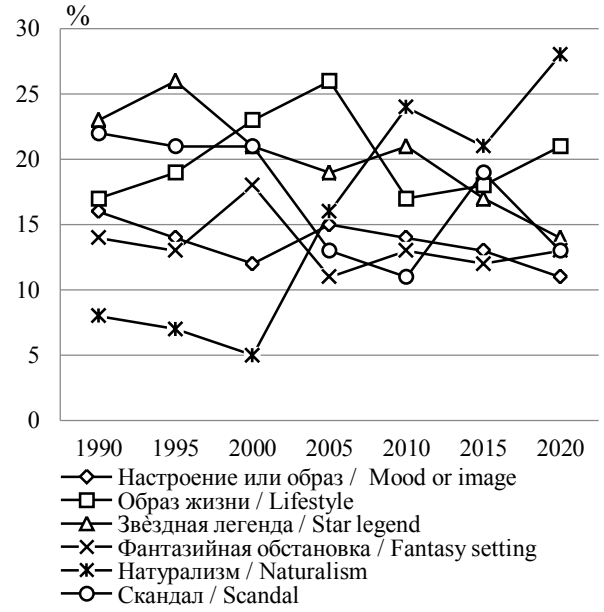


Рисунок 12. Структура предпочтений производителей брендовой продукции при выборе рекламной стратегии, % [1]

Figure 12. The structure of preferences of manufacturers of branded products when choosing an advertising strategy, % [1]

Анализ данных показывает, что в разные временные периоды предпочтение отдавалось различным рекламным стратегиям управления брендом.

Период с 1990 г. по 2000 г. предпочтение отдавалось триаде «Звѐздная легенда» – «Скандал» – «Образ жизни», при этом за рассматриваемый период лидирующая создание звѐздной легенды, встав на одну ступень с технологией скандального эпатажа, уступило пальму первенства акцентированию рекламной стратегии на образе жизни.

В 2005 году, акцентирование на образе жизни поднялось на свой пик в 26 %, ознаменовав смену парадигмы. Скандальные технологии в 2005 году сдали свои позиции до 13 %, а в 2010 году и вовсе оказались на последнем месте. Таким образом, к 2010 году намеченная смена парадигмы обрела форму новой триады «Натурализм» – «Звѐздная легенда» – «Образ жизни».

Акцентирование внимания контактной аудитории на натуральной, экологически чистой и полезной продукции начало завоѐвывать рынки сбыта, достигнув доли в 28 % в 2020 году и став трендом XXI века. В период с 2010 года по 2015 год натурализация привносилась в ментальность общества посредством формирования имиджа медийных личностей, ведущих здоровый образ жизни, и их использования в рекламных стратегиях в качестве «лица бренда». В настоящее время «реклама со звездой» по-прежнему актуальна, хотя и находится на третьем месте, уступив паре «Натурализм» – «Образ жизни» (28 % и 21 % соответственно).

Заключение

Проведѐнное нами исследование позволило провести сравнительный анализ стратегий управления брендом.

По результатам анализа были сделаны следующие выводы:

- производители брендовой продукции отдают предпочтение наступательной и оборонительной стратегии позиционирования, что связано с лидирующими позициями брендовых марок на рынке;
- производители брендовой продукции отдают предпочтение мифопроектированию, звѐздному стилю и эпатажу среди стратегий продвижения (начиная с периода 2005 года, наблюдается динамика в сторону сокращения доли этих стратегий и тенденции к выравниванию с трендовой стратегией и спонсорством, к 2020 году описанные стратегии гармонизировались в своѐм долевом соотношении);
- в разные временные периоды предпочтение отдавалось различным рекламным стратегиям управления брендом: период

с 1990 г. по 2000 г. предпочтение отдавалось триаде «Звѐздная легенда» – «Скандал» – «Образ жизни», в 2005 году, акцентирование на образе жизни поднялось на свой пик в 26 %, ознаменовав смену парадигмы, и уже к 2010 году парадигма обрела форму новой триады «Натурализм» – «Звѐздная легенда» – «Образ жизни», который с 2020 года сформировался в пару «Натурализм» – «Образ жизни».

Подводя итог, можно сделать вывод о том, что в процессе формирования системы управления брендом используются три, взаимосвязанных в единый комплекс, стратегии: стратегия позиционирования, стратегия продвижения и рекламная стратегия бренда.

При реализации комплекса мероприятий по управлению брендом выбор той или иной стратегии и их комбинаций будет обусловлен текущей ситуацией на рынках брендовой продукции, парадигмальными трендами развития общества и потребительскими ожиданиями целевой аудитории.

Литература

1 Mueller D.S., Stewart A., Clifford R., Iles L. et al. Using Design Interventions to Develop Communication Solutions for Integrated Pest Management // Journal of Integrated Pest Management. 2020. V. 11. №. 1. P. 10. Doi: 10.1093/jipm/pmaa010

2 Ghobehei M., Sadeghvaziri F., Ebrahimi E., Bakeshloo K.A. The effects of perceived brand orientation and perceived service quality in the higher education sector // Eurasian Business Review. 2019. V. 9. №. 3. P. 347-365. doi: 10.1007/s40821-018-00115-4

3 Теняева О.В. Половые различия проявления эмоционального интеллекта в профессиональной деятельности современных руководителей // Прикладная юридическая психология. 2020. № 2 (51). С. 101–106.

4 Теняева О.В., Шурикова Т.И. Подходы к пониманию феномена эмоционального интеллекта в зарубежной и отечественной психологии // Педагогика и психология как ресурс развития современного общества: Материалы X Международной научно-практической конференции. Рязань: «Концепция». С. 311–314.

5 Фомина Н.А. Целостный анализ проявлений в речи лингвистических и психологических характеристик языковой личности // Психолого-педагогический поиск. 2007. № 6. С. 100–106.

6 Tenyaeva O.V., Bespalova T.M. Patriotism and civic identity as basis of professional competence of military students // The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences. Edited by: Prof. Valeria Chernyavskaya and Prof. Holger Kuße. 2018. P. 392–397.

7 Ciunova-Shuleska A., Osakwe C.N., Palamidovska-Sterjadovska N. Complementary impact of capabilities and brand orientation on SMBs performance // Journal of Business Economics and Management. 2016. V. 17. №. 6. P. 1270-1285. doi: 10.3846/16111699.2016.1181101

8 Moreira A.C., Fortes N., Santiago R. Influence of sensory stimuli on brand experience, brand equity and purchase intention // Journal of Business Economics and Management. 2017. V. 18. №. 1. P. 68-83. doi: 10.3846/16111699.2016.1252793

9 Onişor L.F., Ioniţă D. How advertising avoidance affects visual attention and memory of advertisements // Journal of Business Economics and Management. 2021. V. 22. №. 3. P. 656-674. doi: 10.3846/jbem.2021.14546

10 Klepek M., Starzyczná H. Marketing communication model for social networks // Journal of Business Economics and Management. 2018. V. 19. №. 3. P. 500-520. doi: 10.3846/jbem.2018.6582

11 Лисс А.А., Линкевич Н.А., Семенков А.И., Клипов Д.Д. и др. Программно-аппаратный комплекс для централизованного управления состоянием видеопроекторов в учебных аудиториях // Вестник НГУЭУ. 2017. № 1. С. 297-315.

12 Коган А.Б., Новиков А.В. Генезис теории оценки эффективности реальных инвестиций // Вестник НГУЭУ. 2017. № 2. С. 10-18.

13 Глущенко К.П. Проблемы оценки крупномасштабных проектов // Вестник НГУЭУ. 2019. № 4. С. 26-40.

14 Bespalova T.M., Tenyaeva O.V., Kudinov S.I. Self-assessment of personal civic identity in adolescents // The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences EpSBS. 2019. P. 1–8.

15 Vera J., Espinosa M. Consumer involvement as a covariant effect in rethinking the affective-cognitive relationship in advertising effectiveness // Journal of Business Economics and Management. 2019. V. 20. №. 2. P. 208-224. doi: 10.3846/jbem.2019.8099

16 Lin F., Siu W.S. Exploring brand management strategies in Chinese manufacturing industry // Journal of Brand Management. 2020. V. 27. №. 1. P. 48-76. doi: 10.1057/s41262-019-00166-6

17 Likoum S.W.B. et al. Market-sensing capability, innovativeness, brand management systems, market dynamism, competitive intensity, and performance: an integrative review // Journal of the Knowledge Economy. 2020. V. 11. №. 2. P. 593-613. doi: 10.1007/s13132-018-0561-x

18 Heding T., Knudtzen C. F., Bjerre M. Brand Management: Mastering Research, Theory and Practice. Routledge, 2020.

19 Iyer P., Davari A., Zolfagharian M., Paswan A. Market orientation, positioning strategy and brand performance // Industrial Marketing Management. 2019. V. 81. P. 16-29. doi: 10.1016/j.indmarman.2018.11.004

20 Jestratijevic I., Rudd N. A., Uanhoro J. Transparency of sustainability disclosures among luxury and mass-market fashion brands // Journal of Global Fashion Marketing. 2020. V. 11. №. 2. P. 99-116. doi: 10.1080/20932685.2019.1708774

References

1 Mueller D.S., Stewart A., Clifford R., Iles L. et al. Using Design Interventions to Develop Communication Solutions for Integrated Pest Management. Journal of Integrated Pest Management. 2020. vol. 11. no. 1. pp. 10. doi: 10.1093/jipm/pmaa010

2 Ghobehei M., Sadeghvaziri F., Ebrahimi E., Bakeshloo K.A. The effects of perceived brand orientation and perceived service quality in the higher education sector. Eurasian Business Review. 2019. vol. 9. no. 3. pp. 347-365. doi: 10.1007/s40821-018-00115-4

3 Tenyaeva O.V. Sex differences in the manifestation of emotional intelligence in the professional activities of modern leaders. Applied legal psychology. 2020. no. 2 (51). pp. 101-106. (in Russian).

4 Tenyaeva O.V., Shurikova T.I. Approaches to understanding the phenomenon of emotional intelligence in foreign and domestic psychology. Pedagogy and psychology as a resource for the development of modern society: Materials of the X International Scientific and Practical Conference. Ryazan, "Concept". pp. 311-314. (in Russian).

5 Fomina N.A. A holistic analysis of the manifestations in speech of the linguistic and psychological characteristics of the linguistic personality. Psychological and pedagogical search. 2007. no. 6. pp. 100–106. (in Russian).

6 Tenyaeva O.V., Bespalova T.M. Patriotism and civic identity as basis of professional competence of military students. The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences. 2018. pp. 392–397.

7 Ciunova-Shuleska A., Osakwe C.N., Palamidovska-Sterjadovska N. Complementary impact of capabilities and brand orientation on SMBs performance. Journal of Business Economics and Management. 2016. vol. 17. no. 6. pp. 1270-1285. doi: 10.3846/16111699.2016.1181101

8 Moreira A.C., Fortes N., Santiago R. Influence of sensory stimuli on brand experience, brand equity and purchase intention. Journal of Business Economics and Management. 2017. vol. 18. no. 1. pp. 68-83. doi: 10.3846/16111699.2016.1252793

9 Onişor L.F., Ioniţă D. How advertising avoidance affects visual attention and memory of advertisements. Journal of Business Economics and Management. 2021. vol. 22. no. 3. pp. 656-674. doi: 10.3846/jbem.2021.14546

10 Klepek M., Starzyczná H. Marketing communication model for social networks. Journal of Business Economics and Management. 2018. vol. 19. no. 3. pp. 500-520. doi: 10.3846/jbem.2018.6582

11 Liss A.A., Linkevich N.A., Semenkov A.I., Klipov D.D. et al. Hardware and software complex for centralized control of the state of video projectors in classrooms. Vestnik NSUEM. 2017. no. 1. pp. 297-315. (in Russian).

12 Kogan A.B., Novikov A.V. Genesis of the theory of evaluating the effectiveness of real investments. Vestnik NSUEM. 2017. no. 2. pp. 10-18. (in Russian).

13 Glushchenko K.P. Problems of evaluating large-scale projects. Vestnik NSUEM. 2019. no. 4. pp. 26-40. (in Russian).

14 Bespalova T.M., Tenyaeva O.V., Kudinov S.I. Self-assessment of personal civic identity in adolescents. The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences EpSBS. 2019. pp. 1–8.

15 Vera J., Espinosa M. Consumer involvement as a covariant effect in rethinking the affective-cognitive relationship in advertising effectiveness. Journal of Business Economics and Management. 2019. vol. 20. no. 2. pp. 208-224. doi: 10.3846/jbem.2019.8099

16 Lin F., Siu W.S. Exploring brand management strategies in Chinese manufacturing industry. Journal of Brand Management. 2020. vol. 27. no. 1. pp. 48-76. doi: 10.1057/s41262-019-00166-6

17 Likoum S.W.B. et al. Market-sensing capability, innovativeness, brand management systems, market dynamism, competitive intensity, and performance: an integrative review. Journal of the Knowledge Economy. 2020. vol. 11. no. 2. pp. 593-613. doi: 10.1007/s13132-018-0561-x

18 Heding T., Knudtzen C. F., Bjerre M. Brand Management: Mastering Research, Theory and Practice. Routledge, 2020.

19 Iyer P., Davari A., Zolfagharian M., Paswan A. Market orientation, positioning strategy and brand performance. Industrial Marketing Management. 2019. vol. 81. pp. 16-29. doi: 10.1016/j.indmarman.2018.11.004

20 Jestratijevic I., Rudd N. A., Uanhoro J. Transparency of sustainability disclosures among luxury and mass-market fashion brands. Journal of Global Fashion Marketing. 2020. vol. 11. no. 2. pp. 99-116. doi: 10.1080/20932685.2019.1708774

Сведения об авторах

Юлия О. Лящук доцент, кафедра бизнеса и управления, Московский университет имени С.Ю. Витте (филиал в г. Рязань), Первомайский проспект, 62, г. Рязань, 390013, Россия, ularzn@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3612-1707

Ольга В. Платонова к.с-х.н., старший лейтенант внутренней службы, кафедра экономической теории, географии и экологии, Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказания, ул. Сенная, д.1, г. Рязань, 390000, Россия, platva-82@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3259-1031

Information about authors

Yuliya O. Lyashchuk associate professor, business and management department, Moscow University named after S.Y. Witte (Ryazan branch), Pervomaisky avenue, 62, Ryazan, 390013, Russia, ularzn@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3612-1707

Olga V. Platonova Cand. Sci. (Agric.), senior lieutenant of the internal service, Department of Economic Theory, Geography and Ecology, Academy of Law and Management of the Federal Service for the Execution of Punishment, str. Sennaya, 1, Ryazan, 390000, Russia, platva-82@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3259-1031

Вклад авторов

Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

Authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 28/12/2020	**После редакции** 08/02/2021	**Принята в печать** 03/03/2021

Received 28/12/2020	**Accepted in revised** 08/02/2021	**Accepted** 03/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-353-359 Оригинальная статья/Research article
УДК 360 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Особенности управления собственностью корпораций оборонно-промышленного комплекса при производстве высокотехнологичной продукции

Николай В. Рогов [1] nik_rogov_78@mail.ru 0000-0002-9834-2951
Ирина В. Казьмина [1] kazminakazmina@ya.ru 0000-0002-2610-8656

1 Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Ст. Большевиков, 54 «А», г. Воронеж, 394064, Россия

Аннотация. В условиях системного реформирования российской экономики наблюдается тенденция к возникновению корпораций в различных отраслях народного хозяйства. Оборонно-промышленный комплекс не стал исключением. В статье рассматриваются специфика управления собственностью корпораций оборонно-промышленного комплекса при производстве высокотехнологичной продукции. Для достижения стратегических целей корпорации необходимо осуществлять выработку стратегии на основе объективных прогнозов развития рынка вооружения, учитывающих потенциальные внешние и внутренние риски, а также анализ сильных и слабых сторон корпорации. Корпоративное управление строится на основе действующих норм в сфере финансовой деятельности, ценных бумаг, трудовых взаимоотношений на рынке труда, контрактных обязательств, договорной деятельности между предприятиями. Обосновывается, что адаптивной развитие корпораций оборонно-промышленного комплекса напрямую зависит от грамотной организации финансовой деятельности, а также и в ее рамках кредитной и инвестиционной деятельности. В статье представлена балансовая модель финансирования корпорации ОПК позволяющая формировать бюджет корпорации ОПК, основанный на выделении финансовых ресурсов на функционирование и развитие основных направлений деятельности корпорации ОПК. Одной из важнейших задач управления собственностью корпораций оборонно-промышленного комплекса является обеспечение возможности научно-технического развития, которые после коммерциализации могут создать ключевые стратегические конкурентные преимущества предприятиям корпорации ОПК.

Ключевые слова: конкурентоспособность, конкурентные преимущества, цифровая среда, цифровая экономика информационные технологии, цифровые технологии, глобальные сети, глобализация, информация

Features of property management of corporations of the military-industrial complex in the production of high-tech products

Nikoiay V. Rogov [1] nik_rogov_78@mail.ru 0000-0002-9834-2951
Irina V. Kazmina [1] kazminakazmina@ya.ru 0000-0002-2610-8656

1 Air Force Academy named after Professor N. Ye. Zhukovsky and Yu.A. Gagarina, st. Old Bolsheviks, 54 "A", Voronezh, 394064, Russia

Abstract. In the context of the systemic reform of the Russian economy, there is a tendency to the emergence of corporations in various sectors of the national economy. The military-industrial complex is no exception. The article deals with the specifics of property management of corporations of the military-industrial complex in the production of high-tech products. To achieve the strategic goals of the corporation, it is necessary to develop a strategy based on objective forecasts of the development of the arms market, taking into account potential external and internal risks, as well as an analysis of the strengths and weaknesses of the corporation. Corporate governance is based on the existing norms in the field of financial activities, securities, labor relations in the labor market, contractual obligations, and contractual activities between enterprises. It is proved that the adaptive development of corporations of the military-industrial complex directly depends on the competent organization of financial activities, as well as within its framework of credit and investment activities. The article presents the balance sheet model of financing of the defense industry corporation, which allows to form the budget of the defense industry corporation, based on the allocation of financial resources for the operation and development of the main activities of the defense industry corporation. One of the most important tasks of managing the property of corporations of the military-industrial complex is to provide opportunities for scientific and technological development, which, after commercialization, can create key strategic competitive advantages for enterprises of the defense industry corporation.

Keywords: competitiveness, competitive advantages, digital environment, digital economy information technologies, digital technologies, global networks, globalization, information

Введение

Основой регулирования экономики в условиях цифровой трансформации лежит управление корпоративной собственностью.

В условиях системного реформирования российской экономики наблюдается тенденция к возникновению корпораций в различных отраслях народного хозяйства. Оборонно-промышленный комплекс не стал исключением. За последние несколько лет появились «Объединённая авиастроительная корпорация», «Объединенная двигателестроительная корпорация», «Вертолёты России»

Для цитирования
Рогов Н.В., Казьмина И.В. Особенности управления собственностью корпораций оборонно-промышленного комплекса при производстве высокотехнологичной продукции // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 353–359. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-353-359

For citation
Rogov N.V., Kazmina I.V. Features of property management of corporations of the military-industrial complex in the production of high-tech products. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 353–359. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-353-359

© 2021, Рогов Н.В. и др. / Rogov N.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Все это свидетельствует о том, что первоначальный импульс развития рыночных отношений сменился зрелым осознанием отечественных экономико-правовых отношений при организации производственной деятельности. Современное состояние управления корпоративной собственностью характеризуется недостаточным опытом использования корпорациями возможностей воздействия на экономические процессы через осознанное управление высокотехнологичными ресурсами, находящимися в корпоративной собственности.

В общем виде корпорация представляет собой долевую собственность, имеющую юридический статус. При этом функции управления сосредоточены в руках профессиональных управляющих, работающих по найму. Это определение определяет наличие нескольких условий для эффективного функционирования корпорации: развитость экономической системы в целом, наличие разнообразных форм собственности, наличие на рынке профессиональных менеджеров.

Корпоративное управление строится на основе действующих норм в сфере финансовой деятельности, ценных бумаг, трудовых взаимоотношений на рынке труда, контрактных обязательств, договорной деятельности между предприятиями.

Обсуждение

В процессе организации и реализации производственной деятельности корпорации в ее корпоративную среду вовлекаются различные субъекты рынка. В связи с этим руководство корпорации в процессе принятия решений обязано учитывать интересы всех заинтересованных субъектов экономической системы. К таким субъектам относятся:

1. Государство, которое формирует государственный оборонный заказ на производство высокотехнологичной продукции военного назначения. При этом государство оказывает воздействие на международный рынок вооружения. От корпораций оборонно-промышленного комплекса требуется участие при решении проблем национального и международного масштабов в области развития вооружения.

2. Акционеры вступают как поставщики финансового капитала, необходимого для возникновения корпорации, ее развития и роста.

3. Потребители, которые требуют удовлетворения своих продуктовых потребностей. Отсутствие возможности удовлетворения данных потребностей приводит к потере эффективности в долгосрочной, так и краткосрочной перспективе.

4. Служащие, порядок отношений которых с корпорацией определяется прежде всего требованиями справедливой оплаты труда, а также такими аспектам взаимоотношений как: равенство возможностей, защита здоровья в процессе трудовой деятельности, свобода самовыражения и обеспечение достойного уровня жизни.

5. Поставщики, которые могут быть представлены как крупными, так и малыми предприятиями, ожидающие от корпораций длительного сотрудничества и своевременной оплаты по поставкам.

Современные модели управления требуют от менеджмента корпорации многоплановой, отлаженной работы, которая строится исходя из следующих этапов:

- определение целевых установок производственной деятельности корпорации
- определение форм мотивации собственников корпорации;
- реорганизация корпорации, путем создания самоуправляемых структур, находящихся под контролем собственников корпорации;
- определение организационной структуры, соответствующей поставленным целям и задачам в области производства, сбыта, инновационной деятельности.;
- утверждение единых принципов организационной работы корпорации.

В настоящее время требуется проработка мероприятий корпоративного управления, направленных на повышение эффективности их функционирования.

Адаптивной развитие корпораций оборонно-промышленного комплекса напрямую зависит от грамотной организации финансовой деятельности, а также и в ее рамках кредитной и инвестиционной деятельности. Поскольку реструктуризация корпораций и создание самоуправляемых структур приводят к взаимодействию большого количества юридических лиц, высший менеджмент корпорации, как правило, "проектирует" принципы финансовой, в том числе, инвестиционной и кредитной, стратегии на базе следующих основных целей:

- консолидация структурных подразделений корпорации с целью оптимизации налоговых платежей;
- единая кредитная и финансовая политика;
- реорганизация производственных мощностей в результате слияния предприятий;
- проникновение через посредничество корпорации в производство и сбыт различных товаров;
- проведение единой политики и осуществление единого контроля за соблюдением общих интересов корпорации;

- ускорение процесса диверсификации;
- организация внутренних финансовых потоков;
- централизация участия в капитале других предприятий и др.

В частности, кредитная стратегия корпорации может быть ориентирована, прежде всего, на оптимизацию мобилизуемых ресурсов за счет привлечения капиталов, в том числе, путем выпуска ценных бумаг и работы с ними, активного взаимодействия с зарубежными фондами и организациями, использования оффшорных и свободных экономических зон, аккумулирования средств работников корпораций в негосударственных (может быть учрежденных в рамках корпорации) пенсионных фондах, страховых компаниях, в депозитах банков и финансовых компаний, а также в капитале предприятий – участников корпорации.

Таким образом, успешная финансовая деятельность корпорации обусловлена как своевременными и правильными решениями высшего менеджмента в текущей работе, так и в вопросах стратегии, которая должна разрабатываться не только на основе внутренних условий корпорации, но и с учетом влияния финансовой системы, сложившейся в России на данном этапе.

При функционировании корпорации ОПК должны опираться на данные анализа внешнего окружения, включающего анализ как макроэкономической ситуации, так и изменения в законодательстве в сфере реализации государственного оборонного заказа. Корпорации ОПК в своей деятельности должны ориентироваться на такие макроэкономические индикаторы как: динамика курса валюты; уровень мировых цен на вооружение и военную технику продукцию; уровень кредитных ставок; налоговое законодательство; структура и динамика инвестиций.

Ряд указанных агрегированных индикаторов измеряются в целом по всем отраслям экономики, поэтому являются объективными и их можно использовать для детальной оценки складывающейся экономической ситуации и условий предпринимательской деятельности.

Ключевым моментом управления корпорацией ОПК является разработка стратегии, которая обеспечивает эффективное распределение и использование финансовых, материальных и трудовых ресурсов. В связи с этим необходим переход от реакционной формы принятия решений к превентивной форме на основе прогнозов.

Для достижения стратегических целей корпорации необходимо осуществлять выработку стратегии на основе объективных прогнозов развития рынка вооружения, учитывающих потенциальные внешние и внутренние риски, а также анализ сильных и слабых сторон корпорации (рисунок1).

Разрабатывая стратегию корпорации ОПК необходимо выявить все проблемы, которые могут возникнуть при планировании как на корпоративном уровне, так и на дивизиональном уровне управления. Без своевременного определения и четкого понимания существующих проблем невозможно разработать эффективную стратегию корпорации ОПК.

Разрабатывая стратегию корпорации ОПК необходимо выявить все проблемы, которые могут возникнуть при планировании как на корпоративном уровне, так и на дивизиональном уровне управления. Без своевременного определения и четкого понимания существующих проблем невозможно разработать эффективную стратегию корпорации ОПК.

Учитывая современную тенденцию к объединению однопрофильных предприятий по производству вооружения и военной техники в корпорации, необходимо понимать, что при объединении предприятий изменяется объем потребляемых ресурсов, а также рыночная позиция объединенной корпорации.

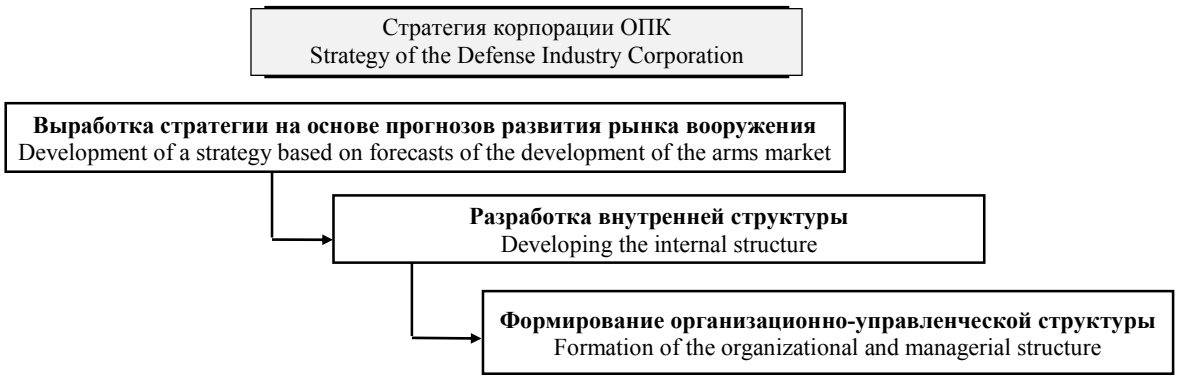


Рисунок 1. Процесс выработки стратегии корпорации ОПК

Figure 1. The process of developing the strategy of the defense Industry Corporation

Для этих целей можно применять балансовую модель финансирования корпорации, в основе которой лежат инвестиционный потенциал всех предприятий корпорации и инвестиционные ресурсы всех предприятий корпорации. Таким образом, балансовая модель финансирования корпорации ОПК имеет вид:

$$ПР_К = \sum_{i}^{N} ИП - \sum_{j}^{M} ИР,$$

где $ПР_К$ – потребность в инвестиционных ресурсах; ∑ИП – инвестиционный потенциал всех предприятий корпорации ОПК; ∑ИР – инвестиционные ресурсы всех предприятий корпорации ОПК; N – число предприятий корпорации, имеющих инвестиционные потребности; M – число предприятий корпорации, имеющих свободные инвестиционные ресурсы.

При этом возможны следующие варианты неравенств. Если $\sum ИР < ПР_К < \sum ИП$, то ситуация для осуществления инвестиционной программы благоприятна, и сумма равная $СЗ = \sum ИП - ПР_К$, должна рассматриваться в виде мобильного резерва или страхового запаса (СЗ) корпорации.

Важно, что при объединении предприятий в корпорацию, совокупный доход не изменяется, что обеспечит улучшение значения показателей ликвидности и платежеспособности корпорации за счет более эффективного использования собственных финансовых ресурсов. Руководство корпорации получает возможность выявить дефицит финансовых ресурсов и определить направления минимизации дефицита. Таким образом, с использованием балансовой модели может формироваться бюджет корпорации ОПК, основанный на выделении финансовых ресурсов на функционирование и развитие основных направлений деятельности корпорации ОПК.

При формировании стратегии корпорации ОПК, прежде всего, нужно учитывать состав и структуру корпоративной собственности. В основе управления предприятиями корпораций ОПК лежит реализация управленческого цикла, представленного на рисунке 2.

Для осуществления, представленного на рисунке управленческого цикла, руководство корпорации должно определить и согласовать с предприятиями корпорации организационную структуру и информацию о функционировании. Одним из рычагов воздействия на руководителей предприятий корпорации является процедура перераспределения прибыли от предприятия ОПК в пользу корпорации.

При этом управление предприятиями корпорации строится по принципу: управляющая компания разрабатывают стратегию развития, а руководители предприятий – порядок функционирования предприятий в соответствии со стратегическими интересами корпорации.

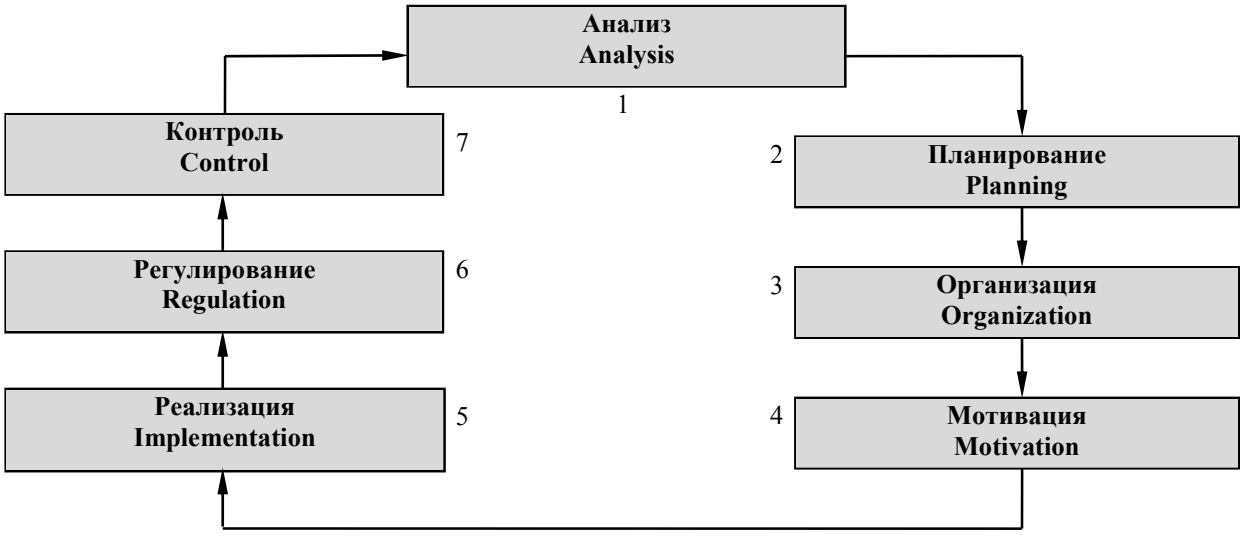


Рисунок 2. Цикл управления предприятием корпорации

Figure 2. Corporate enterprise management cycle

В связи с этим каждое предприятие корпорации имеет специфические цели развития и функционирования, а управленческий процесс должен быть реализован в соответствии с поставленными целями.

В целом эффективность отдельных предприятий оборонно-промышленного комплекса можно определять через показатель общей рентабельности предприятия:

$$Э = \frac{П}{ВА},$$

где Э – эффективность функционирования предприятия ОПК; П – чистая прибыль предприятия; ВА – валовые активы предприятия.

Сравнение фактического значения с плановым, позволяет определить на сколько предприятие эффективно осуществляет производственную деятельность в соответствии со стратегическими планами корпорации.

Важным направлением управления корпорациямиоборонно-промышленного комплекса является инвестиционная деятельность. Оценку инвестиционной деятельности необходимо проводить исходя из нескольких характеристик, среди которых ключевой является инвестиционная активность предприятия. При этом в качестве результата инвестиционной активности выступает экономическая выгода, а именно отдача на вложенный капитал. Доходы от инвестиций к выплате образуются, когда в капитал корпорации вкладываются средства внешних организаций, за счет эмиссии или получения инвестиционных кредитов.

Практическая реализация управления собственностью корпораций оборонно-промышленного комплекса осуществляются в рамках единого замкнутого управленческого процесса, представленного на рисунке 3.

Ключевой особенностью управления собственностью корпораций оборонно-промышленного комплекса является то, что отличительной особенностью данной собственности является масштаб обобществления, в связи с чем затруднена реализация оперативного управления собственника. В связи с этим при управлении собственностью корпораций оборонно-промышленного комплекса актуальным является передача отдельных объектов собственности юридическим или физическим лицам, что позволяет локализовать управляющие воздействия на них.

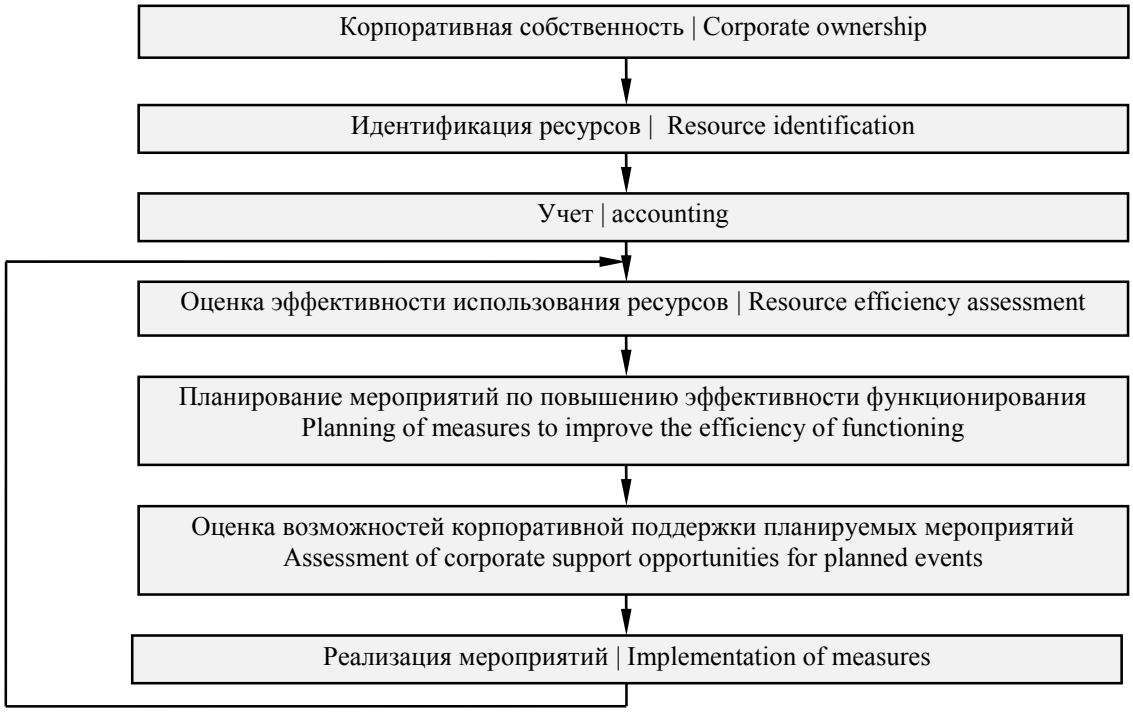


Рисунок 3. Процесс управления собственностью корпораций оборонно-промышленного комплекс

Figure 3. The process of managing the property of corporations of the military-industrial complex

Одной из важнейших задач управления собственностью корпораций оборонно-промышленного комплекса является обеспечение возможности научно-технического развития, которые после коммерциализации могут создать ключевые стратегические конкурентные преимущества предприятиям корпорации ОПК.

Управление собственностью корпораций оборонно-промышленного комплекса, как правило, направлено на их структурное развитие для повышения инвестиционной и инновационной активности, а также конкурентоспособности.

Система корпоративных интересов дает импульс системе интересов конкурентных структур к формированию инновационных

факторов, при этом вводя соответствующие ограничения на использование корпоративных ресурсов предприятий ОПК. Учитывая вводные ограничения, должны быть конкретизированы задачи управления корпоративной собственностью. Содержание указанных задач должно быть направлено на формирование возможностей достижения стратегических и тактических целей развития предприятий корпорации ОПК. К числу ключевых стратегических целей необходимо отнести следующие:

— создание условий для роста капитализации корпорации;

— рост социальной защиты сотрудников корпорации ОПК;

— оптимизация и поддержание корпоративного баланса.

Обеспечить достижение указанных целей позволит использование следующих механизмов:

— сокращение консолидированного корпоративного бюджета;

— оптимизация эмиссионной политики;

— спроса и регулирование уровня присутствия на рынке военной техники и вооружения;

— обеспечение бесперебойной производственной деятельности.

— оптимизация кадрового состава.

Заключение

Определение приоритетных целей и задач корпоративного развития опирается на специфику и текущее положение всей экономической системы страны. Доходы корпорации ОПК составляют корпоративный бюджет корпорации ОПК и определяют возможные направления развития всех предприятий корпорации ОПК.

В условиях динамичной цифровизации экономики проблема эффективного управления собственностью корпораций оборонно-промышленного комплекса является крайне актуальной. Это обусловлено тем, что повышение эффективности управления собственностью отечественных корпораций оборонно-промышленного комплекса, являющихся драйвером для развития многих отраслей, может стать одним из важнейших направлений повышения инвестиционной привлекательности всей российской экономики.

Литература

1 Громов Ю.Ю., Дидрих И.В., Иванова О.Г., Ивановский М.А. и др. Информационные технологии. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. 260 с.

2 Петухов В.Н. Корпорации в российской промышленности: законодательство и практика. М.: Городец, 1999. 208 с.

3 Бандурин А.В, Дроздов С.А., Кушаков С.Н. Проблемы управления корпоративной собственностью. М.: "БУКВИЦА", 2000. 160 с.

4 Герхардт Э., Богданов О. Эффективность и результативность использования информационных систем // Вестник НГУЭУ. 2013. № 4. С. 265-275.

5 Орехов С.А. Диверсифицированные корпоративные объединения: проблемы статистического анализа. М.: БУКВИЦА, 2000, 120 с.

6 Программа «Цифровая экономика Российской Федерации»: распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р.

7 Филимонова Е.В., Черненко Н.А., Шубин А.С. Информационные технологии в экономике. Изд-во Феникс, Ростов. 2008.

8 Westerman G. Digital Transformation: A Road-Map for Billion-Dollar Organizations // MIT Center for Digital Business and Capgemini Consulting. 2011. P. 1–68.

9 Коваленко Б.Б. Цифровая трансформация: пути создания конкурентных преимуществ бизнес-организаций // Наука и бизнес: пути развития. 2017. № 9(9). С. 49–52.

10 Шеремет А.Д., Сайфулин Р.С. Методика финансового анализа. М.: ИНФРА-М, 1996.

11 Mohanty S. Restructuring and Globalization of Telecommunications Industry // Handbook of Research on Corporate Restructuring and Globalization. IGI Global, 2019. P. 52–72.

12 Namwijit C., Maneejuk P., Yamaka W. An Analysis of the Impact of Telecommunications Technology and Innovation on Economic Growth // The 6th International Postgraduate Student Colloquium. 2019. P. 71-78.

13 Sawhney H. Global economy and international telecommunications networks // Global Communication: A Multicultural Perspective. 2019. P. 21.

14 Муравьева Н.Н., Талалаева Н.С. Оценка целевых значений индикаторов эффективности управления финансами на предприятиях малого и среднего бизнеса с учетом отраслевой и региональной специфики // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 2. С. 290–300. doi: 10.20914/2310–1202–2019–2–290–300/

15 Миндлин Ю.Б., Колпак Е.П., Балыкина Ю.Е. Проблемы использования кластеров в российской федерации // Вестник НГУЭУ. 2014. № 1. С. 22-32.

16 Обухова Е.А. Опыт формирования национальных инновационных систем стран брикс // Вестник НГУЭУ. 2014. № 1. С. 237-251.

17 Юдина С.В. Система управления интеллектуальным трудом в корпорации // Вестник НГУЭУ. 2014. № 1. С. 252-261.

18 Бахин А.В. Метод реальных опционов в проектах внедрения новых информационных технологий // Вестник НГУЭУ. 2014. № 1. С. 320-325.

19 Batkovskiy A.M., Leonov A.V., Pronin A.Y., Semenova E.G. et al. Sustainable development of Industry 4.0: the case of high-tech products system design // Entrepreneurship and Sustainability Issues. 2019. V. 6. №. 4. P. 1823. doi: 10.9770/jesi.2019.6.4(20)

20 Transchel S., Bansal S., Deb M. Managing production of high-tech products with high production quality variability // International Journal of Production Research. 2016. V. 54. №. 6. P. 1689-1707. doi: 10.1080/00207543.2015.1053579

References

1 Gromov Yu.Yu., Didrikh I.V., Ivanova O.G., Ivanovsky M.A. and other information technologies. Tambov, Publishing house of FGBOU VPO "TSTU", 2015. 260 p. (in Russian).

2 Petukhov V.N. Corporations in Russian Industry: Legislation and Practice. Moscow, Gorodets, 1999. 208 p. (in Russian).

3 Bandurin A.V., Drozdov S.A., Kushakov S.N. Corporate property management problems. Moscow, "BUKVITSA", 2000. 160 p. (in Russian).

4 Gerhardt E., Bogdanov O. Efficiency and effectiveness of using information systems. Vestnik NSUEM. 2013. no. 4. pp. 265-275. (in Russian).

5 Orekhov S.A. Diversified corporate associations: problems of statistical analysis. Moscow, BUKVITSA, 2000. 120 p. (in Russian).

6 Program "Digital Economy of the Russian Federation": order of the Government of the Russian Federation dated July 28, 2017 No. 1632 r. (in Russian).

7 Filimonova E.V., Chernenko N.A., Shubin A.S. Information technology in the economy. Phoenix publishing house, Rostov. 2008. (in Russian).

8 Westerman G. Digital Transformation: A Road-Map for Billion-Dollar Organizations. MIT Center for Digital Business and Capgemini Consulting. 2011. pp. 1–68.

9 Kovalenko B.B. Digital transformation: ways to create competitive advantages of business organizations. Science and business: ways of development. 2017. no. 9 (9). pp. 49-52. (in Russian).

10 Sheremet A.D., Saifulin R.S. Financial analysis technique. Moscow, INFRA-M, 1996. (in Russian).

11 Mohanty S. Restructuring and Globalization of Telecommunications Industry. Handbook of Research on Corporate Restructuring and Globalization. IGI Global, 2019. pp. 52–72.

12 Namwijit C., Maneejuk P., Yamaka W. An Analysis of the Impact of Telecommunications Technology and Innovation on Economic Growth. The 6th International Postgraduate Student Colloquium. 2019. pp. 71-78.

13 Sawhney H. Global economy and international telecommunications networks. Global Communication: A Multicultural Perspective. 2019. pp. 21.

14 14 Muraveva N.N., Talalaeva N.S. Assessment of target values of indicators of the effectiveness of financial management at small and medium-sized businesses, taking into account the industry and regional specifics. Proceedings of VSUET. 2019. vol. 81. no. 2. pp. 290-300. doi: 10.20914/2310–1202–2019–2–290–300/ (in Russian).

15 Mindlin Yu.B., Kolpak E.P., Balykina Yu.E. Problems of using clusters in the Russian Federation. Vestnik NSUEM. 2014. no. 1. pp. 22-32. (in Russian).

16 Obukhova E.A. Experience in the formation of national innovation systems in brix countries. Vestnik NSUEM. 2014. no. 1. pp. 237-251. (in Russian).

17 Yudina S.V. Management system for intellectual work in a corporation. Vestnik NSUEM. 2014. no. 1. pp. 252-261. (in Russian).

18 Bakhin A.V. The method of real options in projects for the introduction of new information technologies. Vestnik NSUEM. 2014. no. 1. pp. 320-325. (in Russian).

19 Batkovskiy A.M., Leonov A.V., Pronin A.Y., Semenova E.G. et al. Sustainable development of Industry 4.0: the case of high-tech products system design. Entrepreneurship and Sustainability Issues. 2019. vol. 6. no. 4. pp. 1823. doi: 10.9770/jesi.2019.6.4(20)

20 Transchel S., Bansal S., Deb M. Managing production of high-tech products with high production quality variability. International Journal of Production Research. 2016. vol. 54. no. 6. pp. 1689-1707. doi: 10.1080/00207543.2015.1053579

Сведения об авторах

Николай В. Рогов старший преподаватель, кафедра восстановления авиационной техники, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» , ул. Старых Большевиков, 54 «А», г. Воронеж, 394064, Россия, nik_rogov_78@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9834-2951

Ирина В. Казьмина к.э.н., доцент, кафедра восстановления авиационной техники, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» , ул. Старых Большевиков, 54 «А», г. Воронеж, 394064, Россия, kazminakazmina@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-2610-8656

Information about authors

Nikoiay V. Rogov senior lecturer, aviation engineering restoration department, Air Force Academy named after Professor N.Ye. Zhukovsky and Yu.A. Gagarina, st. Old Bolsheviks, 54 "A", Voronezh, 394064, Russia, nik_rogov_78@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9834-2951

Irina V. Kazmina Cand. Sci. (Econ.), associate professor, aviation engineering restoration department, Air Force Academy named after Professor N.Ye. Zhukovsky and Yu.A. Gagarina, st. Old Bolsheviks, 54 "A", Voronezh, 394064, Russia, kazminakazmina@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-2610-8656

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/01/2021	**После редакции** 15/02/2021	**Принята в печать** 05/03/2021
Received 20/01/2021	**Accepted in revised** 15/02/2021	**Accepted** 05/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-360-366 Оригинальная статья/Research article
УДК 65.05 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Дивергентный подход в процессно-ориентированном кадровом контроллинге

Елена В. Ендовицкая [1] elena.endovitskaya@ya.ru 0000-0003-3440-097X

1 Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1, Воронеж, 394018, Россия

Аннотация. В настоящее время с разной степенью успешности находят применение новые и обновленные инструменты контроллинга кадров как специфических приемов персонал-менеджмента. Предметом исследования являются сущностные стороны и содержательные признаки управленческих отношений, складывающихся в ходе формирования и развития контроллинга кадров перерабатывающих организаций. Цель исследования заключается в теоретическом обосновании и инструментарном обеспечении процессов кадрового контроллинга на основе использования преимуществ дивергентного подхода для полноценного задействования креативной составляющей управленческих решений. Методологической основой исследования являются методы, раскрывающие логику изложения: общенаучные – диалектики (дедуктивный, индуктивный), системный; частнонаучные – исторический, матричный, сравнение. Научная новизна исследования состоит в разработке положений, направленных на обоснование условий, способствующих формированию дивергентного мышления в решении управленческих контрольных задач организации инструментами контроллинга кадров. В отличие от существующих функциональных подходов при проведении кадрового контроля рекомендуется применять процессно-ориентированный подход, способствующий реализации синергизма и эмерджентности в ходе проявления креативности капитала кадров для обеспечения конкурентоустойчивости развивающейся перерабатывающей организации.

Ключевые слова: перерабатывающая организация, кадровый контроллинг, процессный контроль, инструменты, дивергентный подход, синергизм, эмерджентность, креативный капитал, кадровый капитал

Divergent approach in process-oriented HR controlling

Elena B. Endovitskaya [1] elena.endovitskaya@ya.ru 0000-0003-3440-097X

1 Voronezh State University, University sq., 1 Voronezh, 394000, Russia

Abstract. Currently, new and updated tools for controlling personnel as specific methods of personnel management are being used with varying degrees of success. The subject of the research is the essential aspects and content features of management relations that develop during the formation and development of controlling personnel of processing organizations. The purpose of the research is to provide theoretical justification and instrumental support for the processes of personnel controlling based on the use of the advantages of the divergent approach for the full use of the creative component of management decisions. The methodological basis of the research is the methods that reveal the logic of the presentation: General scientific – dialectics (deductive, inductive), system; private scientific – historical, matrix, comparison. The scientific novelty of the research consists in the development of provisions aimed at substantiating the conditions that contribute to the formation of divergent thinking in solving managerial control tasks of the organization with the tools of personnel controlling. In contrast to the existing functional approaches, it is recommended to apply a process-oriented approach to personnel control, which contributes to the implementation of synergy and emergence in the course of displaying the creativity of human capital to ensure the competitiveness of a developing processing organization.

Keywords: processing organization, personnel controlling, process control, tools, divergent approach, synergy, emergence, creative capital, human capital

Введение

Главный фактор успеха обновленного взгляда на кадровый контроллинг перерабатывающей организации – ориентация на креативный капитал кадров, который создаѐт новый креативный продукт. Мы видим генезис креативного капитала в превращѐнной форме креативного потенциала на основе существующего человеческого капитала, самовоспроизводящегося, самовоссоздающегося из человеческого потенциала. Креативный капитал организации есть превращѐнный креативный потенциал в форме суммарного креативного продукта, имеющего информационную форму существования, разнообразно отформатированного, с новыми формами обращения. В системе кадрового контроллинга создается новую информация, основанная на философски освоенных теоретических знаниях об управленческих процессах, которая делает существование преобладающей сегодня рентной экономики, игнорирующей креативные научные знания, нерентабельной. Поэтому возникает потребность установить и обосновать параметры реализации преимуществ процессной ориентации на основе обновления подходов к их формированию.

Методы

При рассмотрении человеческого аспекта категорий капитала и потенциала следует иметь в виду его условность, исходящую из того, что капитал формируется в перерабатывающей организации существует в виде инвестиций в здоровье и образование личности. Следовательно, креативный капитал как и составляющий

Для цитирования
Ендовицкая Е.В. Дивергентный подход в процессно-ориентированном кадровом контроллинге // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 360–366. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-360-366

For citation
Endovitskaya E.V. Divergent approach in process-oriented HR controlling. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 360–366. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-360-366

© 2021, Ендовицкая Е.В. / Endovitskaya E.V.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

его основу человеческий капитал уже присутствует в агенте его выражения – человеческом потенциале в особой форме его преобразования.

Человеческий капитал в составе креативного капитала обладает производительной энергией, являющейся продуктом жизнедеятельности живых организмов. Его креативная составляющая способна преображать энергию качественно. Она увеличивается в результате самоорганизации коллектива с социальными взаимосвязями и творческим генезисом, как проявление синергизма, идеи которого пришли в экономику из теоретической физики, рассматривающей диссипативные структуры в физике неравновесных процессов [1, 2], дав теоретическое обоснование управленческой практике. Потенциальный синергизм заложен на каждой стадии, в каждом элементе управления перерабатывающей организацией, который приводит в движение еѐ персонал, а его кадровая составляющая технологией и инструментами менеджмента находит лучшее сочетание частей в целом, дающий максимальный экономический эффект. Однако в целях поддержания объективности необходимо рассмотреть все возможные причинно-следственные связи управляемых процессов в системе процессно-ориентированного кадрового контроллинга. Непрофессиональный подход к разработке рекомендаций для менеджмента организации может вызвать отрицательную синергию, проявляющуюся как хаос, разбалансирование связей экономической системы и потерю конкурентоспособности организации. Напротив, ценности, создаваемые становятся высокопрофессиональной и организованной командой контроллѐров больше суммы индивидуальных вкладов. Такие миниколлективы способны возбуждать положительную синергию в бизнес-процессах, используя различные инструменты.

В связи с этим уместно и целесообразно рассмотрение фактора эмерджентности систем [3, 4] и в этой плоскости изучение подсистем: социальной, где человек – субъект и объект управления; биологической – где человек объект управления. Эмерджентность систем объясняет целое исходя из изучения его частей с применением метода редукции и пошагового анализа [5]. При этом редукция сводится к поэтапному преобразованию исходной задачи к частным и более простым в решении, вплоть до уровня получения элементарных задач, объединѐнных в сеть редукционных связей, дающих описание свойств частей-элементов.

Появление у контроллинга кадров перерабатывающей организации новых свойств эмерджентности, порождающей синергию, является закономерным следствием содержания в его активе креативного капитала с нестандартным, вариативным подходом к решению управленческих задач. Особенностью носителей креативного капитала является дивергентность мышления, проявляющаяся в способности мыслить объѐмно и анализировать объект с разных сторон в системе его множественных связей с другими объектами, их свойствами и отношениями. Это – способ мышления, который подразумевает творческий подход, поиск нескольких, равнозначных в нахождении истины решений для одной задачи. Понятие дивергентности трактуется нами как разнообразие в ходе развития признаков и свойств, действий и способов поведения на основе их постепенного расхождения. Еѐ следует рассматривать как суммирующее следствие проявления дивергентного мышления, которое оценивается нами как развитие линейного конвергентного мышления, основанного на поэтапном выполнении задания и следовании алгоритмам.

Управленческое решение как дивергентный продукт представляет собой соединение в одной точке достаточной базы опыта, понятий, критериев и представлений о возможном результате бизнес-процессов, реализованном контроллингом кадров организации. Управленческие решения в кадровом контроллинге, использующем дивергентный подход, одновременно имеют два адресата с темой развития: организация, которая является объектом и предметом управления, и персонал, развивающий кадровый капитал как субъект управления.

Этот процесс схематично отражѐн на рисунке 1. На этом рисунке показан также и инструмент активизации развития креативного капитала – мотивация креативности.

Продуктивная креативность основана на положительной мотивации, в то же время стихийно складывающиеся процессы мотивации могут вызывать обратные процессы. Положительная мотивация, продуцирующая креативность кадров, может быть обоснована целым рядом теорий, из которых предпочтительными мы считаем следующие, дающие наиболее полноценное обоснование целям данного исследования, при условии их комплексного использования:

• теория Z У. Оучи, построенная на принципах коллективизма [6]; в то же время чрезмерная абсолютизация этой идеи, обедняет еѐ творческое значение;

• теоретические исследования Б. Вайнера в области мотивации достижений, утверждающего, что путь к успеху есть результат собственных способностей и усилий [7];

• мотивация креативности, развивающая внутреннюю мотивацию, делающую работу интересной; социальный аспект мотивации креативности состоит в восприятии ценности своей работы и воздействия еѐ результатов на текущих и будущих пользователей [8, 9].

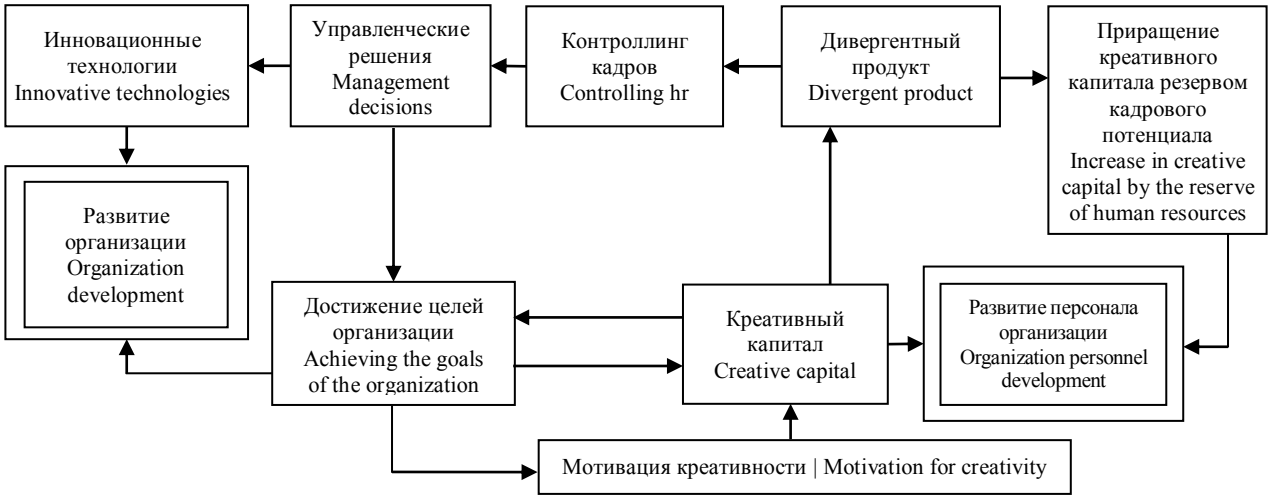


Рисунок 1. Дивергентный продукт креативного капитала в контроллинге кадров перерабатывающей организации

Figure 1. Divergent product of creative capital in personnel controlling of a processing organization

Таким образом, в современном восприятии контроллинга кадров всѐ в большей степени осознаѐтся ключевая роль процессов управления, в том числе, управления персоналом и его кадровой составляющей, которая поставляет креативные идеи. Интенсивное проникновение идей процессного подхода, основанного на принципах системного метода, и развитие на его принципах процессноориентированных технологий управления является ответом на кризисные явления в мировой экономике двадцатого века [12, 13–20]. Оно исторически оформлено в нашей стране как поиск организационной формы управления, способной активизировать внутренние и внешние направления деятельности перерабатывающей организации с переносом акцента эффективности от функционального управления к управлению процессами. Ведущая роль процессного подхода в контроллинге кадров диктуется также стремительным развитием и внедрением в материальное производство и корпоративное управление цифровых технологий, природа которых тождественна информационным потокам, организованным в информационные процессы.

С позиций процессного подхода кадровый контроллинг может восприниматься как совокупность последовательно протекающих управленческих процессов по мобилизации креативного капитала кадров перерабатывающей организации. Идея реализации процессного подхода к формированию контроллинга кадров позволяет рассматривать организацию в рамках структурных подразделений изначально как систему с позиций конвергентности и гармонизации. Условия конвергентности имеют в виду, что элементы, участвующие в выполнении одинаковой трудовой функции в разных процессах имеют одинаковое или сходное структурное и инструментальное построение. Гармонизация, имея смысл «продукта непротивления сторон» рассматривается как процесс взаимного согласования, обеспечения взаимного соответствия мер, действий, мероприятий по унификации, регламентации, стандартизации правил межличностных и групповых взаимодействий и отношений.

Процессный подход к контроллингу кадров представлен нами как обобщѐнная система процессов, имеющих стадии: кадрового мониторинга, кадрового анализа, контроля кадров, аудита кадров, проводимых в режиме постоянного регулирования, координирования и мотивирования. Подобное формирование стадий управления в структурном формате организации позволяет с адресных и временных позиций оптимизировать экономические, финансовые и социальные процессы не только в еѐ внутренней среде, но и влиять на внешнее окружение.

Как дальнейшее углубление понимания процессного подхода к кадровому контроллингу организации с точки зрения логики обеспечения вполне правомерен дивергентный подход, учитывая изложенные выше его преимущества. Дивергенция выводится нами из фактов разнонаправленных изменений, имеющих одну цель – сохранение устойчивости развития организации как системы при разнообразии способов выбора вариантов достижения целей менеджмента. Эффективное преодоление управленческих сложностей средствами контроллинга кадров требует проработки не одного, а нескольких вариантов управленческих решений. При этом важно системно выстроить этапность контроллинга с позиций дивергентного подхода, обеспечивающему процессную ориентацию контроллинга кадров в перерабатывающей организации.

Результаты и обсуждение

Дивергентность в процессноориентированном кадровом контроллинге проявляется в специфических чертах постановки и выработки управленческих решений, а именно:

- способом принятия решений вполне нормальным считается подсознательное рекомбинирование потока сознания, использующегося в конструктивном мыслительном процессе; на этом основана креативность процессов мышления;
- на этапе формирования креативной идеи предлагаются несколько вариантов принятия решений их реализации, равнозначных с точки зрения результативности, но разнонаправленных по способам еѐ достижения;
- обязательным является этап всестороннего рассмотрения всех вариантов креативных идеи для еѐ реализации.

Дивергентность мышления представляет собой способность индивида мыслить в разных направлениях, то есть изучать объект с разных сторон в системе его множественных связей с другими объектами, их свойствами и отношениями. Особенностью конечного мыслительного продукта, получаемого с помощью дивергентного мышления, следует считать разнообразие возможных ответов, имеющих примерно одинаковый ценностный уровень.

При этом имеет место быть следующая логическая формула:

$$\underset{\text{деятельности}}{\text{дивергентность}} = \underset{\text{мышление}}{\text{творческое}} = \underset{\text{процесс}}{\text{когнитивный}} = \underset{\text{продукт.}}{\text{креативный}}$$

Дивергентный подход обладает свойством разнонаправленности как распространяемым в разных направлениях процессом мышления, оправдывающим себя в условиях непроявленности постановки цели или среды еѐ реализации. Такое мышление равновелико исследовательскому интересу.

В аспекте дивергентного подхода правомерным является утверждение, что человек в процессе управления должен рассматриваться как спонтанно меняющаяся, но условно управляемая субстанция. Это определяет специфические черты менеджмента, в том числе контроллинга кадров, находящие своѐ выражение в направлении, содержании, компетенциях и инструментальной оснащѐнности менеджера–контроллера. С этих позиций значимость приобретает вопрос о соотношении руководства и лидерства в управленческом труде, формирующем институт власти. Формальная власть относится к власти «должности» в лице еѐ носителя, занимающего официальное место в организации как руководителя определѐнной организационной структуры. Отдельно следует рассматривать феномен реальной власти, построенной на умении влиять на коллектив силой личного авторитета и добровольного права брать на себя ответственность.

Процессный подход к кадровому контроллингу увеличивает масштаб влияния лидера в коллективном субъекте управления. В таблице 1 более подробно показано место и роль «руководителя» и «лидера» в процессе контроллинга кадров.

Процессный подход к контроллингу кадров делает ставку на менеджераконтроллера с ощутимо проявленными свойствами лидера, так как он сам управляет персоналом в режиме творчества и креатива.

Таблица 1.

Различие мировоззренческих и поведенческих реакций разных типов менеджеров в контроллинге кадров

Table 1.

The difference in worldview and behavioral reactions of different types of managers in personnel controlling

Руководитель	Leader	Характеристики поведенческих реакций	Characteristics of behavioral responses	Лидер	Leader
1		2		3	
Управляет средой	Manages the environment	Место в процессе управления	Place in the management process	Изменяет среду	Changes the environment
Краткосрочная реакция	Short term reaction	Видение будущего	Vision of the future	Долгосрочные перспективы	Long term prospects
Правильное исполнение полномочий	Correct execution of powers	Стратегия деятельности	Activity strategy	Правильное выполнение правильно выбранных задач	Correct performance of correctly selected tasks
Принятие текущей ситуации	Acceptance of the current situation	Реакция на изменения	Reaction to changes	Личностное развитие	Personal development
Единица в табели о рангах	Unit in the table of ranks	Самоосознание места и времени	Self-awareness of place and time	Единица в личном пространстве	A unit in personal space

Продолжение таблицы 1 | Continuation of table 1

1		2		3	
На объекте управления	At the facility	Фокус внимания	Focus of attention	На субъекте управления	On the subject of management
Административный контроль исполнения	Administrative control of execution	Стиль взаимодействий	Interaction style	Исполнение на основе доверия через мотивацию	Execution based on trust through motivation
Исполнение на уровне «что» и «когда»	Execution at the “what” and “when” level	Контроль исполнения	Execution control	Исполнение на уровне «как» и «почему»	Execution at the "how" and "why" level
Внимание на растиражированные образцы	Focus on replicated samples	Направление развития	Development direction	Создание новых образцов	Creating new samples
Проверяет итоги работы	Checks the results of work	Общение на выходе процессов	Communication at the exit of processes	Интересуется перспективами будущего	Interested in future prospects

При этом следует учитывать, что лидерские черты даются человеку от рождения. Составленная исходя из тезисов теорий лидерства [10, 11] схемаматрица, изображѐнная на рисунке 1, подтверждает важность и объясняет возможность оценивать свойства дивергентности в личности субъекта управления. В этой схемематрице дан набор свойств дивергентности и построен профиль личности двух типов менеджеров – руководителя и лидера. Он даѐт портрет абстрактной, идеальной личности в его крайних проявлениях свойств дивергентности. Предлагаемая матрица может послужить основой для создания нормативных инструментов оценки дивергентности физических лиц в кадровом контроллинге организации.

На рисунке 2 схематично представлен процесс структурирования внутренней среды контроллинга кадров, позиционирующей место менеджераконтроллера с чертами руководителя и лидера, которые предопределяют успешность контроллинга и эффективность экономической деятельности организации.

	Тип руководителя	Относительная оценка свойств дивергентности в личности субъекта менеджмента Relative assessment of the properties of divergence in the personality of the subject of management	Тип лидера	
	Профиль личности – преобладание свойств:		Профиль личности – преобладание свойств:	
$Р_1$	90%	1. Свойства ФУНКЦИОНАЛИСТА (одновариантность и исполнительность) 1. Properties of the FUNCTIONALIST (single-variance and diligence)	10%	$Л_1$
$Р_2$	80%	2. Свойства АДМИНИСТРАТОРА (контроль и аудит) 2. Properties of the ADMINISTRATOR (control and audit)	20%	$Л_2$
$Р_3$	70%	3. Свойства КОММУНИКАТОРА (общение и контакты) 3. Properties of the COMMUNICATOR (communication and contacts)	30%	$Л_3$
$Р_4$	60%	4. Свойства МЕНЕДЖЕРА (управление и руководство) 4. Properties of the MANAGER (management and guidance)	40%	$Л_4$
$Р_5$	50%	5. Свойства ПРЕДПРИНИМАТЕЛЯ (проекты развития и бизнес–деятельности организации) 5. Properties of the ENTREPRENEUR (development projects and business activities of the organization)	50%	$Л_5$
$Р_6$	40%	6. Свойства АНАЛИТИКА (расчѐты и прогнозы) 6. Properties ANALYST (calculations and forecasts)	60%	$Л_6$
$Р_7$	30%	7. Свойства СПЕЦИАЛИСТА (профессиональность и мастерство) 7. Properties of the SPECIALIST (professionalism and skill)	70%	$Л_7$
$Р_8$	20%	8. Свойства НОВАТОРА (генерация новых идей) и ИННОВАТОРА (как катализатора и индикатора интеллектуальных услуг) 8. Properties of the INNOVATOR (generation of new ideas) and INNOVATOR (as a catalyst and indicator of intellectual services)	80%	$Л_8$
$Р_9$	10%	9. Свойства МОТИВАТОРА (человека, вдохновляющего других людей и побуждающего на осознанную продуктивную деятельность) 9. Properties of a MOTIVATOR (a person who inspires other people and encourages them to consciously productive activity)	90%	$Л_9$

Рисунок 2. Относительная оценка свойств дивергентности в личности субъектов кадрового контроллинга

Figure 2. Relative assessment of the properties of divergence in the personality of subjects of personnel controlling

Таким образом, дивергентный подход в процессноориентированном контроллинге кадров перерабатывающей организации исчерпывает свою актуальность.

Заключение

Неотъемлемая составляющая бизнес успеха любой перерабатывающей организации – это внутренний процессный подход в работе с кадрами, состоящий в использовании и развитии нематериальных активов. К ним следует прежде всего относить кадровый капитал, интегрирующий главные профессии, который создаѐт информационный капитал в виде соответствующего портфеля управленческих технологий, реализующий организационные изменения по правилам дивергенции, лидерства и работы в команде. При этом команда рассматривается нами в качестве совокупности людей, использующих свои личностные креативные ресурсы так, как недостижимо для отдельного индивида. Они, поддерживая друг друга и реализуя дивергентное мышление, создают положительный синергетический эффект.

Наиболее важным элементом в системе подходов к процессноориентированному кадровому контроллингу, следует считать дивергентный, так как он решает значимую задачу креативных преобразований в экономической деятельности, кардинально изменяющих систему ценностей, организацию управленческой деятельности в системе менеджмента и мобилизующих факторы конкурентоустойчивости перерабатывающей организации.

Литература

1 Пригожин И., Стенгерс И. Время, Хаос, Квант. 2003. 240с.

2 Корчагин Ю.А. Человеческий капитал как аналог производительной энергии и энтропии. URL: www.lere.ru/Ipart=bulletinEcart=68page=1.

3 Баркалов С.А., Душкин А.В., Колодяжный С.А., Сумин В.И. Введение в системный анализ. 2017. 234с.

4 Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.

5 Коросов А.В. Принципы эмерджентности в экологии // Принципы экологии. 2012. № 3. С. 48–66.

6 Шелдрейк Дж. Теория менеджмента: от тейлоризма до японизации. СПб: Питер, 2001. 349 с.

7 Weiner B. An attributional theory of motivation and emotion. NewYork: Springer-Verlag, 1986.

8 Гузева Б.М. Развитие креативности персонала в предпринимательских структурах на основе внутриорганизационного поведения // Креативная экономика. 2009. № 10 (34). С. 27–31.

9 Грант Адам М. Мотивация креативности на рабочем месте (информационный бюллетень Американской Психологической Ассоциации)

10 Синявец Т.Д. Теоретико-методологические основы контроллинга системы управления персоналом: монография. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. 372 с.

11 Базаров Т. Ю. Психология управления персоналом // Теория и практика. М.: Юрайт. 2014.

12 Федченко А.А. Трансформация социально-трудовых отношений в цифровой экономике // Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление. 2018. № 3. С. 91–95.

13 Шевченко С.А. Практическая реализация предпринимательской деятельности организации в условиях цифровой экономики // Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление. 2019. № 2. С. 52–58.

14 Удальцова М.В. Стратегия преобразования экономического роста в человеческое развитие // Вестник НГУЭУ. 2014. № 2. С. 10-17.

15 Кузьмин Е.А. Феномен неопределенности в экономических теориях и концепциях // Вестник НГУЭУ. 2014. № 2. С. 18-36.

16 Akhmetshin E.M., Brager D.K., Pokramovich O.V., Mariya N. et al. Modern theoretical and methodological approaches to personnel management in manufacturing enterprises // Revista ESPACIOS. 2018. V. 39. №. 31.

17 Lebedev K.A., Reznikova O.S., Dimitrieva S.D., Ametova E.I. Methodological approaches to assessing the efficiency of personnel management in companies // J. Advanced Res. L. & Econ. 2018. V. 9. P. 1331.

18 Renter A. Personnel management in western europe-Development, situation and concepts // European approaches to international management. De Gruyter, 2019. P. 351-368. doi: 10.1515/9783110849844-026

19 Riccucci N.M., Naff K.C., Hamidullah M.F. Personnel management in government: Politics and process. Routledge, 2019.

20 Ahammad T. Personnel management to human resource management (HRM): How HRM functions // Journal of Modern Accounting and Auditing. 2017. V. 13. №. 9. P. 412-420. doi: 10.17265/1548-6583/2017.09.004

References

1 Prigogine I., Stengers I. Time, Chaos, Quantum. 2003. 240p. (in Russian).

2 Korchagin Yu.A. Human capital as an analogue of productive energy and entropy. Available at: www.lere.ru/Ipart=bulletinEcart=68page=1. (in Russian).

3 Barkalov S.A., Dushkin A.V., Kolodyazhny S.A., Sumin V.I. Introduction to systems analysis. 2017. 234p. (in Russian).

4 Saaty T., Kearns K. Analytical planning. Organization of systems. Moscow, Radio and communication, 1991. 224 p. (in Russian).

5 Korosov A.V. Principles of emergence in ecology. Principles of ecology. 2012. no. 3. pp. 48–66. (in Russian).

6 Sheldrake J. Management theory: from Taylorism to Japaneseization. SPb, Peter, 2001. 349 p. (in Russian).

7 Weiner B. An attributional theory of motivation and emotion. NewYork: Springer-Verlag, 1986.

8 Guzeva B.M. Development of Personnel Creativity in Entrepreneurial Structures Based on Intraorganizational Behavior. Creative Economy. 2009. no. 10 (34). pp. 27–31. (in Russian).

9 Grant Adam M. Motivating Creativity in the Workplace (American Psychological Association Fact Sheet) (in Russian).

10 Sinyavets T.D. Theoretical and methodological foundations of controlling the personnel management system: monograph. Novosibirsk, Publishing house SB RAS, 2014. 372 p. (in Russian).

11 Bazarov T.Yu. Psychology of personnel management.Theory and practice. Moscow, Yurayt. 2014. (in Russian).

12 Fedchenko A.A. Transformation of social and labor relations in the digital economy. Vestnik VSU. Series: Economics and Management. 2018. no. 3. pp. 91–95. (in Russian).

13 Shevchenko S.A. Practical implementation of the organization's entrepreneurial activity in the digital economy. Vestnik VSU. Series: Economics and Management. 2019. no. 2. pp. 52–58. (in Russian).

14 Udaltsova M.V. Strategy for transforming economic growth into human development. Vestnik NSUEM. 2014. no. 2. pp. 10-17. (in Russian).

15 Kuzmin E.A. The phenomenon of uncertainty in economic theories and concepts. Vestnik NSUEM. 2014. no. 2. pp. 18-36. (in Russian).

16 Akhmetshin E.M., Brager D.K., Pokramovich O.V., Mariya N. et al. Modern theoretical and methodological approaches to personnel management in manufacturing enterprises. Revista ESPACIOS. 2018. vol. 39. no. 31.

17 Lebedev K.A., Reznikova O.S., Dimitrieva S.D., Ametova E.I. Methodological approaches to assessing the efficiency of personnel management in companies. J. Advanced Res. L. & Econ. 2018. vol. 9. pp. 1331.

18 Renter A. Personnel management in western europe-Development, situation and concepts. European approaches to international management. De Gruyter, 2019. pp. 351-368. doi: 10.1515/9783110849844-026

19 Riccucci N.M., Naff K.C., Hamidullah M.F. Personnel management in government: Politics and process. Routledge, 2019.

20 Ahammad T. Personnel management to human resource management (HRM): How HRM functions. Journal of Modern Accounting and Auditing. 2017. vol. 13. no. 9. pp. 412-420. doi: 10.17265/1548-6583/2017.09.004

Сведения об авторах

Елена В. Ендовицкая к.э.н, доцент, зав.каф. международной экономики и внешнеэкономической деятельности, Воронежский государственный университет, Московский пр, 88, г. Воронеж, 394036, Россия, elena.endovitskaya@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-3440-097X

Вклад авторов

Елена В. Ендовицкая написала рукопись, корректировал еѐ до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Elena B. Endovitskaya Cand. Sci. (Econ.), associate professor, h head of departmentinternational economy and foreign economic activity, Voronezh State University, Moskovsky prospect, 88, Voronezh, 394036, Russia, elena.endovitskaya@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-3440-097X

Contribution

Elena B. Endovitskaya wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Поступила 20/01/2021	**После редакции** 17/02/2021	**Принята в печать** 03/03/2021
Received 20/01/2021	**Accepted in revised** 17/02/2021	**Accepted** 03/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-367-374 Оригинальная статья/Research article
УДК 360 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Процесс инновационного развития предприятия в регионе

Лариса О. Житинская [1] lorazh@rambler.ru 0000-0002-8852-9800
Виктор Г. Лутченко [2] 180@vniivega.ru 0000-0001-7626-9725
Александр И. Хорев [1] al.khorev@gmail.com 0000-0002-8438-0607
Николай М. Паршин [2] nmparshin@ya.ru 0000-0002-0158-6483
Азрет Ю. Беккиев [3] azret.bek@gmail.ru
Сергей В. Ионов [4] cadet-1966@mail.com 0000-0002-427-9587

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 АО «ВНИИ «Вега», Московский проспект 7Б, г. Воронеж, 394026, Россия
3 АО «Объединѐнная приборостроительная корпорация», Варейкиса, 29, стр. 141, г. Москва, 121357, Россия
4 АО «Научно-исследовательский институт систем связи и управления», Старокалужское ш, д.58, г. Москва, 117630, Россия

Аннотация. При вхождении в интегрированную структуру дочернего предприятия оно обязано выполнять установленный регламент построения процесса инновационного развития, установленный в этой структуре. В рассматриваемом реальном дочернем предприятии инновационное развитие должно развиваться в соответствии со следующими документами: программой инновационного развития на 5 лет, среднесрочной программой инновационного развития на 3 года, стратегией диверсификации на 5 лет и стратегией развития бизнеса на 5 лет. Главной целью инновационного развития любого предприятия должно являться обеспечение высоких конкурентных преимуществ предприятия, путем целенаправленного приспособления внутренних ресурсов к новым направлениям деятельности и внедрения новых технологических разработок, построение инфраструктуры под разработку и производство новых инновационных продуктов и услуг. Система управления реализацией процесса инновационного развития на предприятии предусматривает планирование в программах инновационного развития мероприятий по проведению НИОКР как по гражданской так и оборонной продукции, а стратегии предусматривают методы и способы их реализации. Одним из главных вопросов в процессе становления инновационного развития предприятия является формирование инновационной инфраструктуры, которая является комплексом взаимосвязанных структур, ресурсов и средств, обслуживающих и обеспечивающих внедрение инноваций и реализацию инновационных процессов. К числу наиважнейших проблем, которые в настоящее время приходится решать предприятиям, внедряющим инновационные процессы, является кадровое обеспечение этого процесса. Бессмысленно рассчитывать на успех в инновационном развитии предприятия, если у него нет опытных руководителей и достаточного количества специалистов, обладающих необходимыми знаниями и интеллектуальным капиталом. Таким образом, проведение инновационных преобразований на предприятии является довольно рискованным делом и поэтому такому предприятию необходимы руководители, способные ясно осознавать неизбежность инновационного пути развития и готовность его осуществления.

Ключевые слова: инновационное развитие, гражданская продукция, оборонная продукция, стратегии, интеллектуальный капитал

The process of innovative development of an enterprise in the region

Larisa O. Zhitinskaya [1] lorazh@rambler.ru 0000-0002-8852-9800
Viktor G. Lutchenko [2] 180@vniivega.ru 0000-0001-7626-9725
Aleksandr I. Khorev [1] al.khorev@gmail.com 0000-0002-8438-0607
Nikolay M. Parshin [2] nmparshin@ya.ru 0000-0002-0158-6483
Azret Yu. Bekkiev [3] azret.bek@gmail.ru
Sergej V. Ionov [4] cadet-1966@mail.com 0000-0002-427-9587

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
2 JSC Vega, Moscow Avenue, 7B, Voronezh, 394026, Russia
3 JSC United Instrument-Making Corporation, Vareikisa, 29, p. 141, Moscow, 121357, Russia
4 JSC Research Institute of Communication and Control Systems, Starokaluzhskoe sh., 58, Moscow, 117630, Russia

Abstract. When entering the integrated structure of a subsidiary, it is obliged to comply with the established regulations for building the process of innovative development established in this structure. In the considered real subsidiary, innovative development should be developed in accordance with the following documents: an innovative development program for 5 years, a medium-term innovative development program for 3 years, a diversification strategy for 5 years and a business development strategy for 5 years. The main goal of the innovative development of any enterprise should be to ensure high competitive advantages of the enterprise by purposefully adapting internal resources to new areas of activity and introducing new technological developments, building an infrastructure for the development and production of new innovative products and services. The management system for the implementation of the process of innovative development at the enterprise provides for planning in innovative development programs activities for R&D both for civilian and defense products, and strategies provide methods and ways of their implementation. One of the main issues in the process of forming the innovative development of an enterprise is the formation of an innovative infrastructure, which is a complex of interrelated structures, resources and means that serve and ensure the introduction of innovations and the implementation of innovative processes. One of the most important problems that currently have to be solved by enterprises implementing innovative processes is the staffing of this process. It makes no sense to count on success in the innovative development of an enterprise if it does not have experienced managers and a sufficient number of specialists with the necessary knowledge and intellectual capital. Thus, carrying out innovative transformations at an enterprise is a rather risky business and therefore such an enterprise needs managers who are able to clearly understand the inevitability of an innovative path of development and the willingness to implement it.

Keywords: innovative development, civilian products, defense products, strategies, intellectual capital

Для цитирования
Житинская Л.О., Лутченко В.Г., Хорев А.И., Паршин Н.М., Беккиев А.Ю., Ионов С.В. Процесс инновационного развития предприятия в регионе // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 367–374. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-367-374

For citation
Zhitinskaya L.O., Lutchenko V.G., Horev A.I., Parshin N.M., Bekkiev A.Yu., Ionov S.V. The process of innovative development of an enterprise in the region. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 367–374. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-367-374

© 2021, Житинская Л.О. и др. / Zhitinskaya L.O. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

В связи с вхождением дочернего предприятия (ДП) в интегрированную структуру (ИС) оно обязано выполнять установленный регламент построения процесса инновационного развития, установленный в этой структуре. В рассматриваемом реальном дочернем предприятии инновационное развитие должно развиваться в соответствии со следующими документами: программой инновационного развития на 5 лет, среднесрочной программой инновационного развития на 3 года, стратегией диверсификации на 5 лет и стратегией развития бизнеса на 5 лет. Поскольку дочернее предприятие входит в ИС оно обязано значительную часть прибыли перечислять в эту структуру, а уж оттуда оно может получить или не получить часть средств на проведение инициативных НИОКР с жесточайшим контролем со стороны ИС. Подобная ситуация, учитывая значительные риски, связанные с проведением инициативных работ поискового направления, могут приводить к значительным осложнениям во взаимоотношениях предприятия с руководством ИС. Тем не менее, на рассматриваемом предприятии разработаны и реализуются все вышеперечисленные документы, установленные регламентом проведения инновационной работы. На дочернем предприятии прекрасно понимают, что чтобы предприятию выжить сегодня ему необходимо постоянно меняться и внедрять инновации. Трансформации внешней среды сегодняшней России дают богатую пищу для того, чтобы успешно внедрять инновационные процессы, если для этого созданы необходимые условия. Демографические изменения, перемены в образе и уровне жизни населения, политике, технологиях дают богатую информацию для появления новых идей, которые должны превратиться в инновации. Инновационный процесс – это процесс последовательного преобразования идеи в продукт, проходящий этапы фундаментальных, прикладных исследований, конструкторских и технологических проработок, маркетинга, производства, сбыта. Основными свойствами инноваций должны быть научно-техническая новизна, ее нужность и возможность ее реализации [5].

Главной целью инновационного развития любого предприятия должно являться обеспечение высоких конкурентных преимуществ предприятия, путем целенаправленного приспособления внутренних ресурсов к новым направлениям деятельности и внедрения новых технологических разработок, построение инфраструктуры под разработку и производство новых инновационных продуктов и услуг [6–10].

Обсуждение

Схема инновационного процесса, которая используется на дочернем предприятии, приведена на рисунке 1



Рисунок 1. Схема инновационного процесса дочернего предприятия

Figure 1. Subsidiary innovation process diagram

Реализация, приведенной на рисунке 1 схемы на дочернем предприятии проходит по следующим направлениям:

- осознание необходимости непременного инновационного развития предприятию пришло в связи с сокращением оборонных заказов, общей сложной экономической ситуацией в стране;

- разработка и создание инфраструктуры для развития инновационных процессов;
- разработка системы мотивации за изобретательство, рационализацию, и подачу инновационных идей;
- – создание службы маркетинга для проведения работ по исследованию рынка, поиску инвесторов;
- усовершенствование службы создания интеллектуальной собственности по совершенствованию патентной деятельности и созданию нематериальных активов;
- оснащение предприятия новым оборудованием и приборами под новую продукцию;
- совершенствование кадровой системы за счет создания эффективной системы мотивации сотрудников и контактов с ВУЗами;
- взаимодействие с прикладной и академической наукой за счет проведения хоздоговорных НИОКР и создание прорывных технологий, осуществление подготовки для предприятия специалистов;
- разработка стратегии развития бизнеса, программ долгосрочного и среднесрочного инновационного развития, стратегии диверсификации как по оборонной так и гражданской продукции.

Система управления реализацией процесса инновационного развития на предприятии предусматривает планирование в программах инновационного развития мероприятий по проведению НИОКР как по гражданской так и оборонной продукции, а стратегии предусматривают методы и способы их реализации [11–14].

Одним из главных вопросов в процессе становления инновационного развития предприятия является формирование инновационной инфраструктуры, которая является комплексом взаимосвязанных структур, ресурсов и средств, обслуживающих и обеспечивающих внедрение инноваций и реализацию инновационных процессов [4, 15]. Предприятие должно иметь как внутреннюю инновационную инфраструктуру, так и иметь доступ к внешней инновационной инфраструктуре.

Основными направлениями развития инфраструктуры инновационной системы предприятия являются:

- вовлечение в систему инновационной деятельности всех основных служб предприятия;
- углубление сотрудничества с ИС, а также ВУЗами и научными центрами, осуществляющими исследования и разработки в интересах предприятия;
- совершенствование системы мотивации персонала за вклад в инновационное развитие предприятия;
- совершенствование взаимодействия с блоками внешней инновационной инфраструктуры [16, 17].

Схема доступа к внешней инновационной инфраструктуре приведена на рисунке 2

На рисунке 3 приведена внутренняя инновационная инфраструктура, как схема взаимодействия и ответственности основных подразделений в процессе инновационной деятельности.

С точки зрения инновационного менеджмента термины инновация и изменения используются как синонимы. Поэтому для достижения конкурентных преимуществ на предприятии могут быть проведены изменения четырех типов: продукты и услуги, стратегии и структура, культура и технология [1, 18]. На внутренней инновационной инфраструктуре дочернего предприятия (рисунок 3) видно, что реализация инновационных процессов вынудила предприятие адаптировать структуру под генерирование идей, разработку и изготовление новой продукции путем наделения соответствующих подразделений дополнительными функциями. Таким же образом были наделены соответствующие подразделения дополнительными функциями по разработке стратегии, программ инновационного развития, технологии.

К числу наиважнейших проблем, которые в настоящее время приходится решать предприятиям, внедряющим инновационные процессы, является кадровое обеспечение этого процесса. Бессмысленно рассчитывать на успех в инновационном развитии предприятия, если у него нет опытных руководителей и достаточного количества специалистов, обладающих необходимыми знаниями и интеллектуальным капиталом [2, 19]. Этому вопросу рассматриваемое дочернее предприятие уделяет очень много внимания благодаря контактам с ВУЗами и созданию системы мотивации.

Так как инновации – это конечный результат инновационного процесса, который воплощен в виде нового или усовершенствованного продукта, реализованного на рынке, нового или усовершенствованного технологического процесса или услуги, то в конечном счете должна быть проведена оценка экономической эффективности данной инновации желательно с получением прибыли.

По оценкам экспертов до 80 % новых продуктов терпят неудачу на этапе внедрения, а еще 10 % исчезают в течение первых 5 лет [2, 20]. Большинство проектов, связанных с внедрением инноваций, не приносят прибыли, особенно в первые годы, достаточной для покрытия расходов на разработку и производство нового продукта.

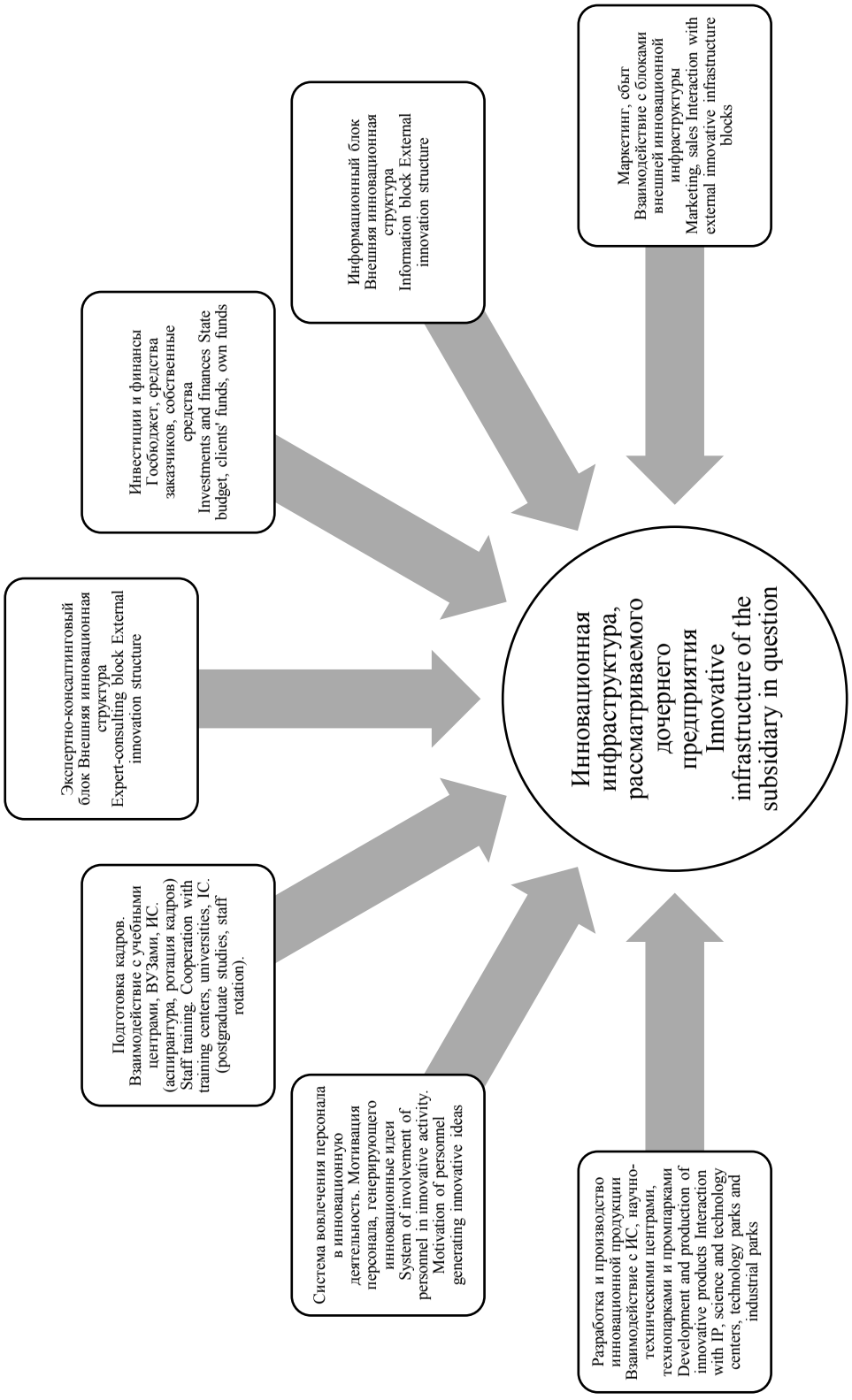


Рисунок 2. Схема доступа к внешней инновационной инфраструктуре

Figure 2. Access scheme to external innovation infrastructure

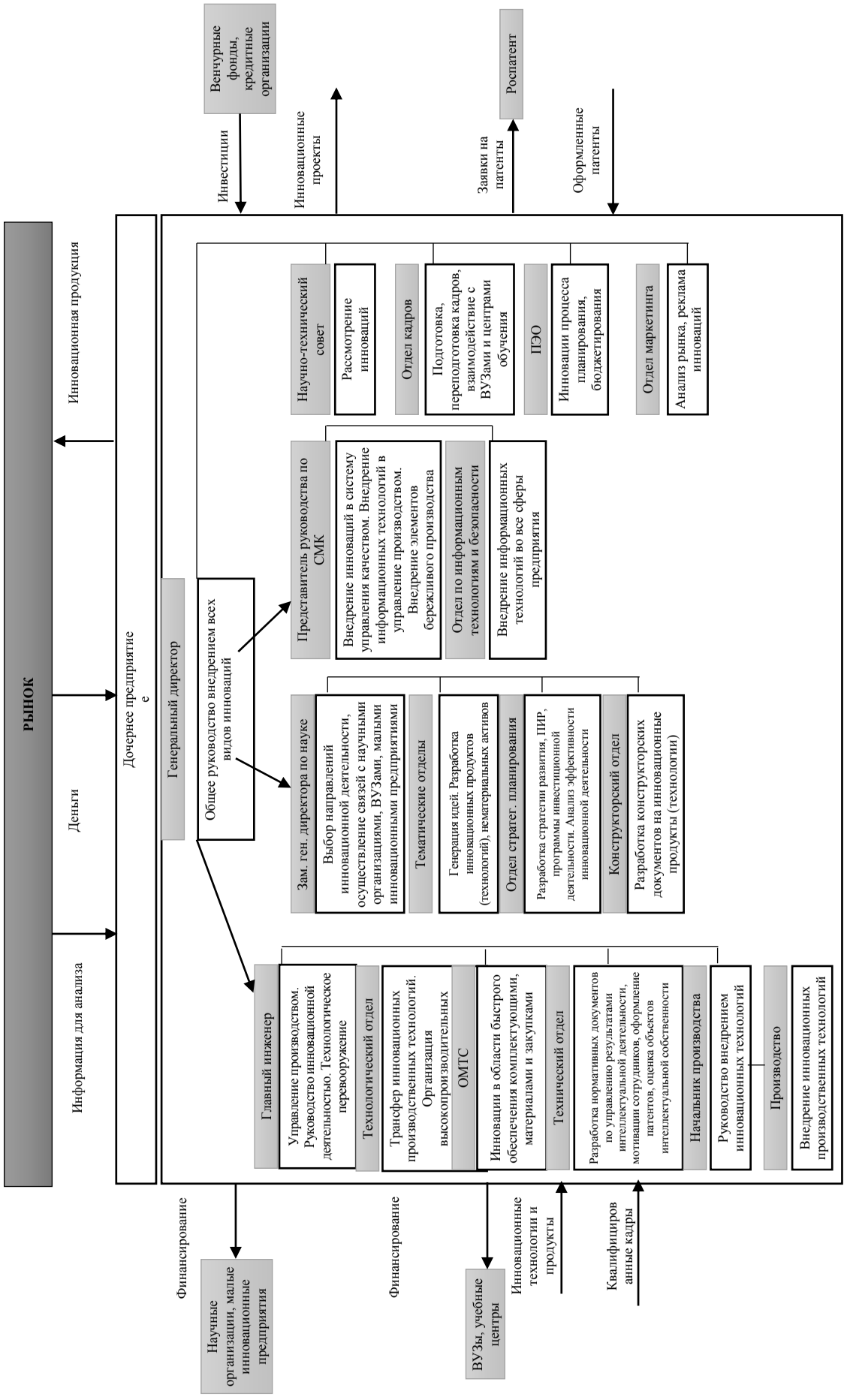


Рисунок 3. Внутренняя инновационная инфраструктура

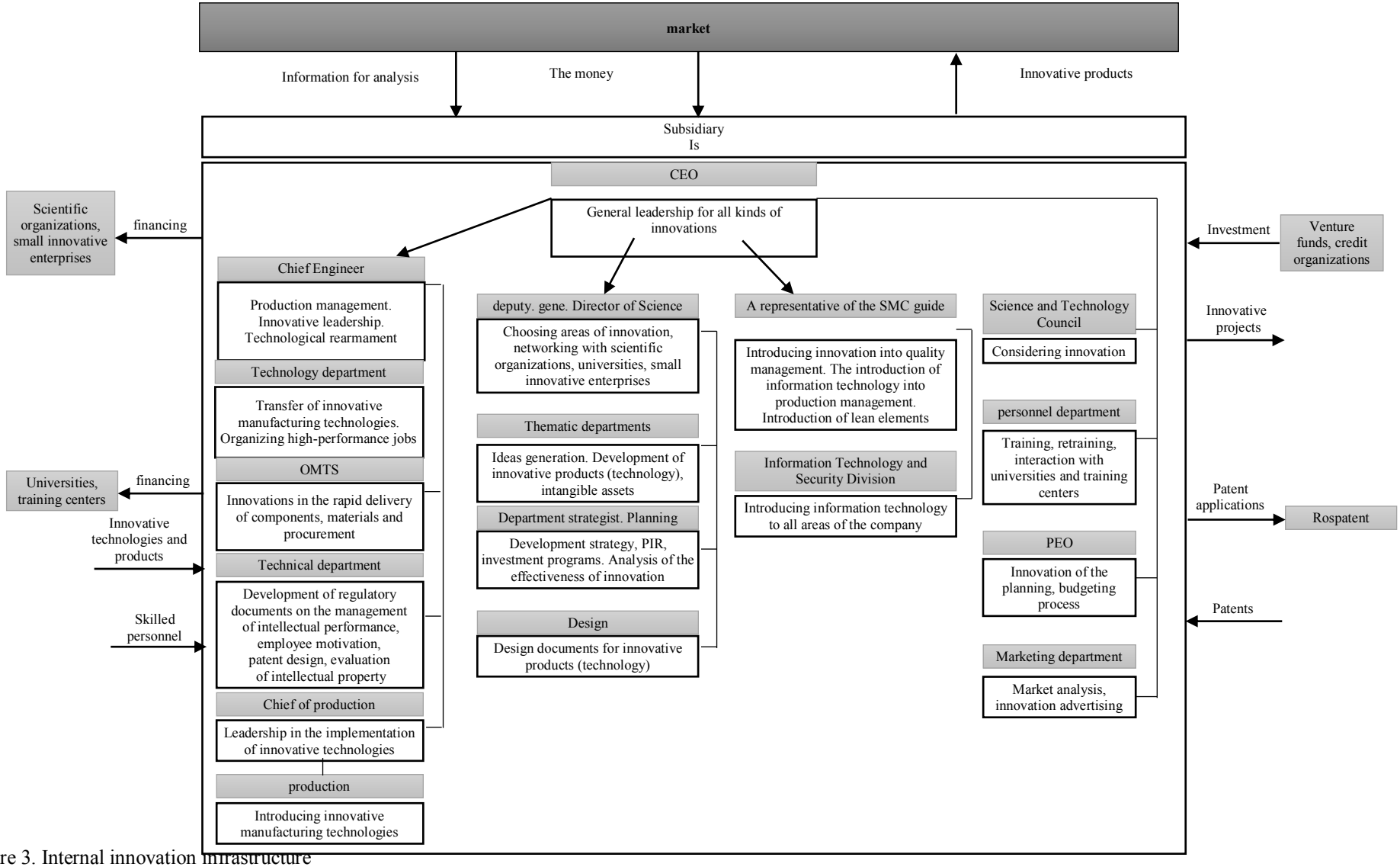


Figure 3. Internal innovation infrastructure

Заключение

Проведение инновационных преобразований на предприятии является довольно рискованным делом и поэтому такому предприятию необходимы руководители, способные ясно осознавать неизбежность инновационного пути развития и готовность его осуществления.

На анализируемом предприятии руководство отчетливо понимает, что в условиях растущей конкуренции ставка на инновационное развитие необходима не только для того, чтобы предприятие процветало, но и для того, чтобы просто выжить.

Литература

1 Парахина В.Н., Федоренко Т.М., Шацкая Е.Ю. Теория организации. 2017.

2 Штефан Е.В., Хорев И.А. Формирование эффективной системы генерирования персоналом инновационных идей // Экономика и предпринимательство: научный журнал. 2017. №. 12-1. С. 706-708.

3 Лукина О.О. Комплексный подход к развитию инновационной деятельности с учетом синергетического эффекта // Вестник ВГУИТ. 2018. № 3. С. 423-428. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-423-428

4 Ефимова Н., Маховикова Г. Инновационный менеджмент. Litres, 2020.

5 Морозов Д.И. Принципы инновационного развития предприятия // Актуальные вопросы экономических наук. 2010. № 15 (1). С. 181–185

6 Инновационное развитие: экономика, интеллектуальные ресурсы, управление знаниями; под ред. Б.З. Мильнера. М., 2010.

7 Дронова О.Б. Методические основы планирования ресурсов и оценки достижения целей организации при процессном подходе к управлению // Вестник НГУЭУ. 2014. № 2. С. 37-53.

8 Зиновьев А.Г., Щетинин Е.Н. Особенности формирования комплексной оценки использования трудовых ресурсов на региональном уровне // Вестник НГУЭУ. 2014. № 2. С. 108-118.

9 Ильиных С.А. Гендерная стратификация: сглаживание ситуации и управление представлениями // Вестник НГУЭУ. 2014. № 2. С. 174-182.

10 Andreeva E.S., Nechaev A.S. The mechanism of an innovative development of the industrial enterprise // World Applied Sciences Journal. 2013. V. 27. №. 13. P. 21-23. doi: 10.5829/idosi.wasj.2013.27.elelc.5

11 Stoyka A., Durmanov A., Kalinin N., Yanishevska K. et al. Features of application of innovative development strategies in international enterprise. 2020.

12 Ilin I.V., Anisiforov A.B. Improving the efficiency of projects of industrial cluster innovative development based on enterprise architecture model // WSEAS Transactions on Business and Economics. 2014. V. 11. P. 757-764.

13 Savchenko T.B. et al. Methodological approaches to the management of innovative development of an enterprise // Asian Social Science. 2015. V. 11. №. 8. P. 243. doi:10.5539/ass.v11n8p243

14 Bondarenko S.A., et al. Synergetic management as a management technology of enterprise innovative development // Journal of Applied Management and Investments. 2017. V. 6. №. 4. P. 223-230.

15 O'Sullivan M. The innovative enterprise and corporate governance // Cambridge Journal of Economics. 2000. V. 24. №. 4. P. 393-416. doi: 10.1093/cje/24.4.393

16 Malmendier U., Taylor T. On the verges of overconfidence // Journal of Economic Perspectives. 2015. V. 29. №. 4. P. 3-8. doi: 10.1257/jep.29.4.3

17 La Porta R., Shleifer A. Informality and development // Journal of Economic Perspectives. 2014. V. 28. №. 3. P. 109-26. doi: 10.1257/jep.28.3.109

18 Small M.L., Pager D. Sociological perspectives on racial discrimination // Journal of Economic Perspectives. 2020. V. 34. №. 2. P. 49-67. doi: 10.1257/jep.34.2.49

19 Baily M. N., Bosworth B. P. US manufacturing: Understanding its past and its potential future // Journal of Economic Perspectives. 2014. V. 28. №. 1. P. 3-26. doi: 10.1257/jep.28.1.3

20 Hsieh C.T., Olken B.A. The missing" missing middle" // Journal of Economic Perspectives. 2014. V. 28. №. 3. P. 89-108. doi: 10.1257/jep.28.3.89

References

1 Parakhina V.N., Fedorenko T.M., Shatskaya E.Yu. Organization theory. 2017. (in Russian).

2 Stefan E.V., Khorev I.A. Formation of an effective system for generating innovative ideas by personnel. Economics and Entrepreneurship: a scientific journal. 2017. no. 12-1. pp. 706-708. (in Russian).

3 Lukina O.O. An integrated approach to the development of innovative activities taking into account the synergistic effect. Proceedings of VSUET. 2018. no. 3. pp. 423-428. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-423-428 (in Russian).

4 Efimova N., Makhovikova G. Innovation management. Litres, 2020. (in Russian).

5 Morozov D.I. Principles of innovative development of an enterprise. Actual problems of economic sciences. 2010. no. 15 (1). pp. 181-185 (in Russian).

6 Innovative development: economics, intellectual resources, knowledge management; ed. B.Z. Milner. M., 2010. (in Russian).

7 Dronova O.B. Methodological foundations of resource planning and assessment of the achievement of organizational goals in a process approach to management. Vestnik NSUEM. 2014. no. 2. pp. 37-53. (in Russian).

8 Zinoviev A.G., Shchetinin E.N. Features of the formation of a comprehensive assessment of the use of labor resources at the regional level. Vestnik NSUEM. 2014. no. 2. pp. 108-118. (in Russian).

9 Ilinykh S.A. Gender stratification: smoothing the situation and managing perceptions. Vestnik NSUEM. 2014. no. 2. pp. 174-182. (in Russian).

10 Andreeva E.S., Nechaev A.S. The mechanism of an innovative development of the industrial enterprise. World Applied Sciences Journal. 2013. vol. 27. no. 13. pp. 21-23. doi: 10.5829/idosi.wasj.2013.27.elelc.5

11 Stoyka A., Durmanov A., Kalinin N., Yanishevska K. et al. Features of application of innovative development strategies in international enterprise. 2020.

12 Ilin I.V., Anisiforov A.B. Improving the efficiency of projects of industrial cluster innovative development based on enterprise architecture model. WSEAS Transactions on Business and Economics. 2014. vol. 11. pp. 757-764.

13 Savchenko T.B. et al. Methodological approaches to the management of innovative development of an enterprise. Asian Social Science. 2015. vol. 11. no. 8. pp. 243. doi:10.5539/ass.v11n8p243

14 Bondarenko S.A. et al. Synergetic management as a management technology of enterprise innovative development. Journal of Applied Management and Investments. 2017. vol. 6. no. 4. pp. 223-230.

15 O'Sullivan M. The innovative enterprise and corporate governance. Cambridge Journal of Economics. 2000. vol. 24. no. 4. pp. 393-416. doi: 10.1093/cje/24.4.393

16 Malmendier U., Taylor T. On the verges of overconfidence. Journal of Economic Perspectives. 2015. Vol. 29. no. 4. pp. 3-8. doi: 10.1257/jep.29.4.3

17 La Porta R., Shleifer A. Informality and development. Journal of Economic Perspectives. 2014. vol. 28. no. 3. pp. 109-126. doi: 10.1257/jep.28.3.109

18 Small M.L., Pager D. Sociological perspectives on racial discrimination. Journal of Economic Perspectives. 2020. vol. 34. no. 2. pp. 49-67. doi: 10.1257/jep.34.2.49

19 Baily M. N., Bosworth B. P. US manufacturing: Understanding its past and its potential future. Journal of Economic Perspectives. 2014. vol. 28. no. 1. pp. 3-26. doi: 10.1257/jep.28.1.3

20 Hsieh C.T., Olken B.A. The missing" missing middle". Journal of Economic Perspectives. 2014. vol. 28. no. 3. pp. 89-108. doi: 10.1257/jep.28.3.89

Сведения об авторах

Лариса О. Житинская соискатель, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lorazh@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0002-8852-9800

Виктор Г. Лутченко к.т.н., заместитель начальника отдела системного анализа, АО «ВНИИ «Вега», Московский проспект 7Б, г. Воронеж, 394026, Россия, 180@vniivega.ru
https://orcid.org/0000-0001-7626-9725

Александр И. Хорев д.э.н., профессор, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, al.khorev@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-8438-0607

Николай М. Паршин д.э.н., профессор, АО «ВНИИ «Вега», Московский проспект 7Б, г. Воронеж, 394026, Россия, nmparshin@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-0158-6483

Азрет Ю. Беккиев д.т.н., профессор, заместитель генерального директора, АО «Объединѐнная приборостроительная корпорация», Варейкиса, 29, стр. 141, г. Москва, 121357, Россия, azret.bek@gmail.ru

Сергей В. Ионов д.в.н. профессор, заместитель генерального директора, АО «Научно-исследовательский институт систем связи и управления», Старокалужское ш, д.58, г. Москва, 117630, Россия, cadet-1966@mail.com
https://orcid.org/0000-0002-427-9587

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Larisa O. Zhitinskaya applicant, economic security and financial monitoring department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lorazh@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0002-8852-9800

Viktor G. Lutchenko Cand. Sci. (Engin.), deputy head of system analysis, JSC Vega, Moscow Avenue, 7-B, Voronezh, 394036, Russia, 180@vniivega.ru
https://orcid.org/0000-0001-7626-9725

Aleksandr I. Khorev Dr. Sci. (Econ.), professor, economic security and financial monitoring department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, al.khorev@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-8438-0607

Nikolay M. Parshin Dr. Sci. (Econ.), professor, JSC Vega, Moscow Avenue, 7B, Voronezh, 394026, Russia, nmparshin@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-0158-6483

Azret Yu. Bekkiev Dr. Sci. (Engin.), professor, deputy general director, JSC United Instrument-Making Corporation, Vareikisa, 29, p. 141, Moscow, 121357, Russia, azret.bek@gmail.ru

Sergej V. Ionov Dr. Sci. (Milit.), professor, deputy general director, JSC Research Institute of Communication and Control Systems, Starokaluzhskoe sh., 58, Moscow, 117630, Russia, cadet-1966@mail.com
https://orcid.org/0000-0002-427-9587

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 19/01/2021	**После редакции** 15/02/2021	**Принята в печать** 01/03/2021

Received 19/01/2021	**Accepted in revised** 15/02/2021	**Accepted** 01/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-375-384 Оригинальная статья/Research article
УДК 631.81:383.43 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Рынок удобрений в России: состояние и направления развития

Валентина М. Кручинина [1] vmk.market@vniiesh.ru 0000-0003-0811-796X
Светлана М. Рыжкова [1] smr.market@vniiesh.ru 0000-0002-1908-0747

1 Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства, Хорошевское ш., 35/2, г. Москва, 123007, Россия

Аннотация. Удобрения используются во всем мире для поддержания устойчивости аграрного сектора и продовольственной безопасности. Сбалансированное применение удобрений повышает урожайность, одновременно увеличивая объемы продовольствия и обогащая почву необходимыми питательными веществами. Россия является одним из ведущих производителей удобрений, что обусловлено достаточными природными запасами. Исследование отечественного рынка удобрений, его состояние и перспективы рассмотрены в совокупности производственной базы, логистических и маркетинговых особенностей, намечены пути дальнейшего развития с применением таких научных методов, как: наблюдение, анализ и синтез, абстрагирование и сравнение, монографический. Мировой рынок удобрений отличается высокой степенью конкуренции. Россия не только на нем занимает прочные позиции, но обеспечивает и внутренний спрос. Но уровень внесения удобрений в России ниже, чем в развитых странах, что предполагает рост потребности в удобрениях в будущем. Поэтому дальнейшее расширение отечественного рынка связано с развитием материально-технической базы сельхозпроизводителей, которым необходимы не только средства для приобретения удобрений, но требуется и техника для их внесения. Для стимулирования внутреннего спроса необходимо всячески поощрять частные инвестиции, использовать государственно-частное и государственно-кооперативное партнерства в создании инфраструктуры рынка удобрений; расширять линейки удобрений за счет марочного ассортимента, привлекать на рынок мелких сельхозтоваропроизводителей, крестьянские (фермерские) хозяйства и хозяйства населения. Необходимо создавать условия для организации кооперативов по снабжению малых форм хозяйствования удобрениями, что позволит снизить затраты на их приобретение и будет способствовать увеличению производства и повышению доступности пищевых продуктов, а значит и достижению цели сельскохозяйственного сектора в контексте более широких макроэкономических задач общества – улучшения качества жизни населения.

Ключевые слова: рынок удобрений, минеральные удобрения, органические удобрения, производство удобрений, экспорт, импорт, инфраструктура, сельскохозяйственные организации

Fertilizer market in Russia: state and direction of development

Valentina M. Kruchinina [1] vmk.market@vniiesh.ru 0000-0003-0811-796X
Svetlana M. Ryzhkova [1] smr.market@vniiesh.ru 0000-0002-1908-0747

! All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Khoroshevskoe h., 35/2, Moscow, 123007 Russia

Abstract. Fertilizers are used all over the world to maintain the sustainability of the agricultural sector and food security. A balanced application of fertilizers increases crop yields, while increasing the amount of food and enriching the soil with essential nutrients. Russia is one of the leading producers of fertilizers, which is due to sufficient natural reserves. The study of the domestic fertilizer market, its state and prospects are considered in the aggregate of the production base, logistics and marketing features, the ways of further development are outlined using such scientific methods as: observation, analysis and synthesis, abstraction and comparison, monographic. The global fertilizer market is highly competitive. Russia not only occupies a strong position in it, but also provides domestic demand. But the level of fertilizer application in Russia is lower than in developed countries, which suggests an increase in the need for fertilizers in the future. Therefore, the further expansion of the domestic market is associated with the development of the material and technical base of agricultural producers, who need not only funds for the purchase of fertilizers, but also equipment for their application. To stimulate domestic demand, it is necessary to encourage private investment in every possible way, to use public-private and public-cooperative partnerships in creating the infrastructure of the fertilizer market; expand the range of fertilizers at the expense of the brand range, attract small agricultural producers, peasant (farmer) farms and households to the market. It is necessary to create conditions for the organization of cooperatives to supply small farms with fertilizers, which will reduce the cost of purchasing them and will contribute to increasing production and increasing the availability of food products, and thus achieve the goal of the agricultural sector in the context of broader macroeconomic objectives of society – improving the quality of life of the population.

Keywords: fertilizer market, mineral fertilizers, organic fertilizers, fertilizer production, export, import, infrastructure, agricultural organizations

Введение

Удобрения – один из методов повышения производительности сельскохозяйственного производства. Их использование не является самоцелью. Скорее это средство для увеличения выпуска продуктов питания и их доступности для населения. Удобрения вносят для компенсации потерь питательных веществ и пополнения их естественных запасов в почве, поддержания хороших почвенных условий для возделывания сельскохозяйственных культур. Очевидно существование непосредственной связи между уровнем потребления удобрений и повышением производительности агропроизводства. Применение удобрений, как обычная сельскохозяйственная практика, возникла в большинстве европейских стран с середины-конца XIX в., а наибольший рост произошел после Второй мировой войны.

Однако использование удобрений в аграрном секторе началось давно, вместе с развитием растениеводства. Исторически люди задействовали для удобрения своих земель навоз, золу, солому и прочие вещества, получаемые при хозяйственной

Для цитирования
Кручинина В.М., Рыжкова С.М. Рынок удобрений в России: состояние и направления развития // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 375–384. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-375-384

For citation
Kruchinina V.M., Ryzhkova S.M. Fertilizer market in Russia: state and direction of development. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 375–384. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-375-384

© 2021, Кручинина В.М. и др. / Kruchinina V.M. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

деятельности человека, или донные отложения рек или озер – ил, сапропель. Сначала это были органические вещества, а затем и минеральные с началом эпохи индустриализации.

Материалы и методы

Цель – исследование рынка удобрений в России. Для этого поставлены задачи: изучить классификацию удобрений, определить географию месторождений и производственную базу, логистические и маркетинговые особенности в отрасли, наметить пути дальнейшего развития с применением таких научных методов, как: наблюдение, анализ и синтез, абстрагирование и сравнение, монографический. Внимательным образом авторы анализировали отчеты и сборники Федеральной службы государственной статистики (ФСГС) и Федеральной таможенной службы (ФТС), официальные сайты производителей минеральных удобрений, статьи и работы ученых, опубликованные в периодических изданиях и полученные через Интернет.

Результаты

Сегодня принято подразделять удобрения на органические, минеральные и биологические. По содержанию основного вещества они делятся на азотные, фосфорные и калийные (рисунок 1).

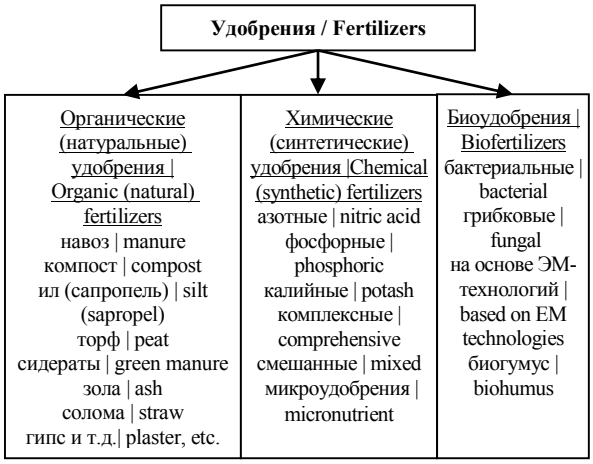


Рисунок 1. Классификация удобрений
Figure 1. Classification of fertilizers

Россия является одним из ведущих производителей удобрений. Это обусловлено достаточными природными запасами апатитов и фосфоритов, калийных руд и природного газа для производства фосфорных, калийных и азотных удобрений соответственно. Россия входит в тройку стран вместе с Канадой и Беларусью, имеющими наибольшие запасы калийных руд. На долю Верхнекамского месторождения в Пермском крае приходится более 30% мировых резервов калийных руд со средним содержанием калия в руде от 18 до 34%. Для производства фосфорных удобрений используют апатит и фосфорит –природные фосфорсодержащие руды, а также отходы металлургической промышленности. Крупнейшие мировые запасы фосфатных руд находятся в США, России и Марокко. Обладают ими и Бразилия, Алжир, Перу, ЮАР, Тунис и другие страны. Залежи апатитов в промышленных масштабах редки. К таким относится Хибинское месторождение на Кольском полуострове страны. В России залежи апатитов также встречаются в Бурятии, Якутии, Иркутской области. Месторождения апатитов есть в Мексике, США, Бразилии, Финляндии, Испании, Норвегии. Азотные удобрения до начала XX в. получали как побочный продукт при производстве кокса или коксового газа. Затем основным сырьем стал природный газ.

Расположение месторождений определяет географию химических заводов по производству удобрений. Например, АО «Апатит» находится в г. Кировск Мурманской области, ООО ПГ «Фосфорит» – в г. Кингисепп Ленинградской области (Кингисеппское месторождение фосфоритов), АО «Воскресенские минеральные удобрения» связано с Лопатинским фосфоритным рудником между Воскресенским и Егорьевским районами Московской области. Заводы по производству азотных удобрений находятся рядом с металлургическими заводами или они ориентированы на магистральные газопроводы: ОАО «Тольяттиазот» (г. Тольятти), ПАО «Акрон» (г. Великий Новгород), АО НАК «АЗОТ» (г. Новомосковск Тульской области), АО «Минудобрения» (г. Россошь Воронежской области), АО «Аммоний» (г. Менделеевск, Республика Татарстан), АО «ОХК «Уралхим» (г. Кирово-Чепецк Кировской области) и пр. Для производства удобрений могут использоваться и отходы нефтепереработки, что происходит на таких заводах как ООО «Газпром нефтехим Салават» (г. Салават, Республика Башкортостан) и ООО «Ангарский азотно-туковый завод» (г. Ангарск Иркутской области).

В настоящее время основные объемы минеральных удобрений производятся в Приволжском ФО, на долю которого приходится 45,9% в общем объеме выпуска удобрений в России. За ним следуют Северо-Западный (24,4%) и Центральный ФО (16,5%). Доля этих трех федеральных округов составляет 86,8% всего производства удобрений в стране. Производство удобрений развернуто и в Северо-Кавказском, Южном, Уральском и Сибирском округах. Однако на их долю приходится только 13,2% общероссийской выработки удобрений (рисунок 2).

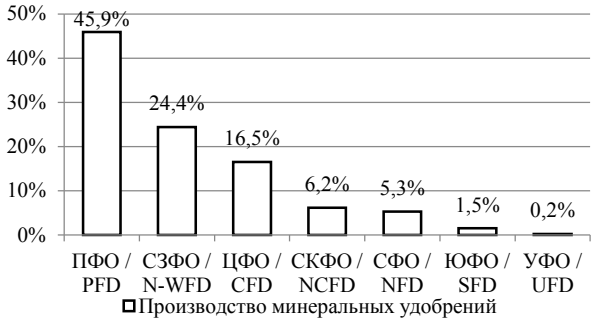


Рисунок 2. Распределение производства минеральных удобрений в разрезе федеральных округов в России в 2019 г., в % к общему объему производства

Figure 2. Distribution of mineral fertilizer production by federal districts in Russia in 2019, in% of total production

Производство минеральных удобрений постоянно растет. В 2019 г. произведено 23,6 млн т удобрений всех видов в пересчете на 100% питательных веществ, больше чем в 2018 г. на 2,6%. В период 2010–2019 гг. рост составил 31,8%. Большая часть приходится на азотные удобрения, доля которых составляет 46,2% в общем объеме производства удобрений. На калийные и фосфорные доводится 36,4% и 17,4% соответственно. Тенденция роста выпуска отмечается по всем видам удобрений (таблица 1).

Таблица 1.

Производство основных видов минеральных удобрений в России, млн т

Table 1.

Production of the main types of mineral fertilizers in Russia, million tons

Наименование продукции Product Name	Годы | Years						2019 к 2018, % 2019 to 2018, %
	2000	2015	2016	2017	2018	2019	
Удобрения минеральные или химические (в пересчете на 100% питательных веществ) Mineral or chemical fertilizers (in terms of 100% of nutrients)	17,9	20,1	20,8	22,6	23,0	23,6	102,6
в т. ч. | including							
азотные | nitric	7,6	8,7	9,5	10,1	10,4	10,9	104,8
фосфорные | farfornye	3,1	3,3	3,6	3,9	4,0	4,1	102,5
калийные | potash plants	7,2	8,1	7,8	8,6	8,5	8,6	101,2

Одной из причин увеличения производства удобрений является растущий спрос со стороны сельскохозяйственных производителей. За период 2000–2019 гг. произошло уменьшение посевных площадей сельскохозяйственных культур в сельскохозяйственных организациях на 28,2%, а многолетних насаждений – на 33,0%. Однако за этот же период выросло количество внесенных как органических, так и минеральных удобрений. Если в 2000 г. было внесено 66,0 млн т органических удобрений, то в 2019 г. – 70,7 млн т, что больше на 7,2%. На 1 га посевной площади в 2000 г. вносилось 0,9 т, а в 2019 г. – 1,9 т. Удельный вес площади, удобренной органическими удобрениями, во всей посевной площади сельскохозяйственных организаций вырос с 2,2 до 9,5%.

Такой же характер в сельском хозяйстве имеет и потребление минеральных удобрений: всего внесено в 2019 г. удобрений больше в 1,9 раза, чем в 2000 г., а на 1 га посевной площади – в 3,2 раза. Удельный вес площади, удобренной минеральными удобрениями, во всей посевной площади увеличился с 27 до 61%.

При проведении работ по химической мелиорации земель наблюдается другая ситуация: за период 2000–2019 гг. уменьшилось как количество произвесткованных кислых почв, гипсование солонцовых почв, фосфоритование кислых почв, так и использование на эти цели известняковой муки и других известняковых материалов, гипса, фосфогипса и других гипсосодержащих пород, а также фосфоритной муки (таблица 2).

Рынок удобрений отличается высокой степенью конкуренции. Лидерами на мировом рынке выступают заводы США, Китая, Канады, Индии и России. По отдельным видам удобрений устойчивые позиции занимают Беларусь, Польша, Австралия, Норвегия, Израиль, Грузия, Марокко и Великобритания. К ведущим российским производителям удобрений относятся ПАО «Акрон» (азотные, сложные удобрения), АО «МХК «ЕвроХим» (азотные, фосфорные, калийные, комплексные, водорастворимые), ПАО «ФосАгро» (азотные, азотно-фосфорные, комплексные и комплексные жидкие), АО «Аммоний» (азотные), ООО «Газпро Нефтехим Салават» (азотные), Лермонтовский Гидрометаллургический завод (водорастворимые), ПАО «Уралкалий» (хлористый калий), АО «Щелково Агрохим» (специальные), ПАО «КуйбышевАзот» (азотные), ОАО «Воскресенские минеральные удобрения» (азотные), ПАО «Тольяттиазот» (азотные), АО «ОХК «Уралхим» (азотные, фосфорные, калийные, комплексные и водорастворимые удобрения).

Таблица 2.

Внесение удобрений и проведение работ по химической мелиорации земель в сельскохозяйственных организациях по России

Table 2.

Fertilization and chemical land reclamation in agricultural organizations in Russia

Показатели | Indicators	Годы | Years							2019 к 2018, % 2019 to 2018, %
	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	
Посевные площади сельскохозяйственных культур, млн га The sown area of agricultural crops, million hectares (ha)	74,2	56,1	55,1	54,7	54,4	53,6	53,3	99,4
Площадь многолетних насаждений, тыс. га Area of perennial plantings, thousand ha	329,6	197,2	209,4	210,6	214,4	216,7	220,8	101,9
Внесено органических удобрений | Organic fertilizers were applied								
всего, млн т | total, million tons	66,0	53,1	64,2	65,2	66,8	68,8	70,7	102,8
на 1 га всей посевной площади, т | per 1 ha of the total area, t	0,9	1,1	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	106,7
Удельный вес площади, удобренной органическими удобрениями, во всей посевной площади, % Specific weight of the area fertilized with organic fertilizers in the entire sown area, %	2,2	7,5	8,4	9,3	9,2	9,4	9,5	101,1
Внесено минеральных удобрений | Mineral fertilizers were applied								
всего, млн т | total, million tons	1,4	1,9	2,0	2,3	2,5	2,5	2,7	108,0
на 1 га всей посевной площади, кг | per 1 ha of the total area, kg	19	38	42	49	55	56	61	108,9
Удельный вес площади, удобренной минеральными удобрениями, во всей посевной площади, % The specific weight of the area fertilized with mineral fertilizers in the entire sown area, %	27	42	48	53	58	59	61	103,4
Проведение работ по химической мелиорации земель | Carrying out works on chemical land reclamation								
Произвестковано кислых почв, млн га | Acidic soils, mln ha	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	100,0
Внесено известняковой муки и других известняковых материалов, всего, млн т, в т. ч. Limestone flour and other limestone materials were added, in total, million tons, including	2,8	2,0	2,1	1,9	2,1	2,5	2,3	92,0
на 1 га, т | per 1 ha, t	6,8	9,0	8,6	8,5	8,6	8,5	7,6	89,4
Проведено гипсование солонцовых почв, тыс. га Gypsum coating of saline soils, thousand ha	9,2	0,1	1,1	3,7	5,6	2,6	2,4	92,3
Внесено гипса, фосфогипса и других гипсосодержащих пород, всего тыс. т, в т. ч. Gypsum, phosphogypsum and other gypsum-containing rocks were added, total thousand tons, including	86	0,7	3,2	15,2	27,0	13,0	15,3	117,7
на 1 га, т | per 1 ha, t	9,3	7,6	2,8	4,2	4,9	5,0	6,2	124,0
Проведено фосфоритование кислых почв, тыс. га Held fosforitnaya acidic soils, thousand ha	54	3,7	16,8	17,5	8,6	12,6	21,7	1,7 р.
Внесено фосфоритной муки, всего, тыс. т, в т. ч Made of rock phosphate, total, thousand tons, including	67	3,8	9,7	20,4	7,6	11,0	20,6	1,9 р.
на 1 га, т | per 1 ha, t	1,2	1,0	0,6	1,2	0,9	0,9	1,0	111,1

Крупнейшие российские организации, такие как ПАО «ФосАгро» или АО «МХК «ЕвроХим», являются вертикально-интегрированными формированиями, которые добывают руду, вырабатывают удобрения, занимаются реализацией своей продукции, используя собственный транспорт, объекты хранения, портовые терминалы, железнодорожные ветки и вагоны.

Например, в состав ПАО «ФосАгро» входит АО «Апатит» – горнодобывающее и перерабатывающее предприятие, расположенное в г. Череповец Вологодской области, с филиалами в г. Кировск (Мурманская область), г. Балаково (Саратовская область) и г. Волхов (Ленинградская область).

ФосАгро специализируется на производстве:

- фосфорсодержащей продукции (апатитовый концентрат), 75% которой потребляется внутри компании, 11,3% поставляется на внутренний рынок и 18,0% отправляется на экспорт;
- фосфорсодержащих удобрений, которых произведено в 2019 г. 7,3 млн т;
- азотосодержащей продукции – в 2019 г. выпущено 0,6 млн т аммиачной селитры, 1,7 млн т карбамида и 1,9 млн т аммиака.

Общая сумма выручки ФосАгро за 2019 г. составила 248 млрд руб., из которой 201,2 млрд руб. получено от реализации фосфорсодержащей продукции, 37,9 млрд руб. – азотной и 9,0 млрд руб. при реализации прочей продукции. На внутреннем

рынке заработано 32,5% выручки от торговых операций. Большую часть денежных поступлений обеспечили экспортные поставки (167,4 млрд руб. или 67,5%) [1].

Основными рынками для ФосАгро являются страны Европы, Южной Америки и Северной Америки. В 2019 г. 62,7% продукции реализовано в странах дальнего зарубежья (таблица 3). Эффективная сбытовая работа невозможна без адекватной инфраструктуры. Сбыт осуществляется через собственные торговые офисы. В России сбытовая сеть компании состоит из региональных предприятий, расположенных в городах Белгород, Ростов-на-Дону, Краснодар, Курск, Липецк, Орел, Ставрополь, Нижний Новгород, Череповец, Тамбов, и 22 собственных складских баз сельскохозяйственной химии.

Таблица 3.
Объемы продаж ПАО «ФосАгро» на основных рынках, млн т [1]

Table 3.
Sales volumes of PJSC PhosAgro in the main markets, mln tons [1]

Страны Countries	Годы| Years		2019 к 2018, % 2019 to 2018, %
	2018	2019	
Россия и СНГ Russia and CIS	2,6	3,1	119,2
Европа | Europe	2,0	2,6	130,0
Северная и Южная Америки | North and South America	3,1	2,6	83,9
Итого | Total	7,7	8,3	107,8

За рубежом открыты представительства на Кипре, в Сингапуре, Швейцарии, Польше, Германии, Франции, Сербии, Латвии, Бразилии, Аргентине. В 2019 г. начало работать представительство в ЮАР, что позволило ФосАгро поставить в Африку 415 тыс. т удобрений, что на 36% больше, чем в предыдущем году. За 9 месяцев 2020 г. поставки составили 445 тыс. т. Данное направление является перспективным, т. к. в Африке объемы потребления удобрений растут на 4–5% в год при среднемировых темпах роста в 1,5–2% [1, 2].

Для повышения эффективности логистики ФосАгро расширяет пропускную способность железнодорожной инфраструктуры, увеличивая и модернизируя вагонный парк, что снижает транспортные издержки, а также развивает портовую инфраструктуру и оптимизирует распределение товарных потоков между портами. В 2019 г. компания использовала для перевозки своей продукции 14,2 тыс. шт. вагонов и 9,5 тыс. вагонов-хопперов (саморазгружающийся бункерный грузовой вагон для перевозки массовых сыпучих грузов), что больше чем в 2018 г. на 10,0% и 10,5% соответственно. При этом в большей части вагоны были собственными или приобретенными в лизинг. Так, в 2019 г. компания владела 5,8 тыс. шт. вагонов и 4,4 тыс. вагонами-хоппер, 3,1 тыс. вагонов и 2,4 тыс. вагонов-хоппер числились в лизинге.

ФосАгро имеет два портовых терминала, а на территории АО «Апатит» (Череповец) расположен промышленный речной порт, который используется для перевозки сырья и готовой продукции. Компания инвестирует средства в расширение железнодорожной логистической системы. В 2020 г. направлены средства на развитие станции Криолит и выход на станцию Нелазское Октябрьской железной дороги, начата перевалка готовой продукции на терминалах Вистино Ленинградской области. На 2021 г. запланировано строительство путей на станции Волховстрой II Октябрьской железной дороги, а на 2022 г. – развитие железнодорожной инфраструктуры Балаковского филиала АО «Апатит» [1].

В структуру ФосАгро интегрирован АО «Научно-исследовательский институт по удобрениям и инсектофунгицидам имени профессора Я.В. Самойлова» – ведущий в Европе и единственный в России институт такого профиля, который занимается исследованиями в области переработки фосфорсодержащего сырья, производства фосфорных и азотных минеральных удобрений, технических солей и неорганических кислот для нужд сельского хозяйства. НИИ практикует стандартизацию и сертификацию минеральных удобрений, фосфорной и серной кислот и сопутствующих продуктов, метрологическое обеспечение производства.

Цепочка получения высокой добавленной стоимости в ФосАгро строится на политике использовании собственных горнорудных комбинатов, перерабатывающих производств, логистической инфраструктуры, применении гибкой системы продаж и снижении потенциала сторонних операторов.

При увеличении спроса на удобрения со стороны сельскохозяйственных товаропроизводителей отечественный рынок характеризуется невысоким потреблением: только 25–30% произведенных удобрений поступает на российский рынок, а до 70% экспортируется за рубеж. При этом потенциал внутреннего рынка не исчерпан, т. к. спрос организаций сельского хозяйства будет расти. Рост цен на сельскохозяйственную продукцию позволяет приобретать удобрения, которые относятся к продуктам первой необходимости. Уровень внесения удобрений на 1 га

посевной площади в России ниже, чем в развитых странах, что также предполагает рост потребности в удобрениях. По данным Минсельхоза объем внесения удобрений в России составляет 48 кг/га, при рекомендуемой норме в 70 кг/га. В странах Европы годовое потребление минеральных удобрений на 1 га пахотных земель значительно выше и составляет 149 кг (в Германии – 189 кг) в пересчете на 100% питательных веществ. Это же относится и к другим странам, например, в США вносится 131 кг/га, а в Канаде – 102.

Внутренний спрос обеспечивается собственным производством. Импорт удобрений незначителен. В 2019 г. в страну ввезено удобрений на 137,2 млн долл. США (267946 т), что больше на 14,0%, чем в предыдущем году. За период 2010–2019 гг. импорт в денежном выражении вырос в 3,3 раза. В количественном выражении объемы импорта снизились в 2019 г. на 13,8% в сравнении с 2018 г. (таблица 4). Импортируются все виды удобрений. Однако основная доля приходится на калийные удобрения из Беларуси и комплексные удобрения, состоящие из двух или трех питательных элементов, география поставок которых изменяется по годам. Самым крупным поставщиком комплексных удобрений на российский рынок является Казахстан, который ввозит в Россию более 50% данных удобрений. Так, из импортированных 96329 т комплексных удобрений в 2019 г. 61872 т была привезена из Казахстана (64,2%). Ввозятся они и из Бельгии, Польши, Финляндии, Китая, но в малых количествах – от двух до пяти тонн.

Россия – один из крупнейших поставщиков удобрений на мировой рынок. Экспорт удобрений в 2019 г. составил 34,6 млн т (+1,5% к 2018 г.) на сумму 8,4 млрд долл. (+2,1%). Основной вид вывозимых удобрений – азотные: в 2019 г. отправлено за рубеж 14,4 млн т или 41,6% от общего объема экспорта. Следующие позиции занимают комплексные удобрения и калийные – 10,8 млн т (31,2%) и 9,4 млн т (27,2%) соответственно. Это выделяет Россию из стран-экспортеров, которая является единственной страной, поставляющей большие объемы азотных, калийных и сложных удобрений. Органические и фосфорные удобрения экспортируются в мизерных количествах. В 2019 г. продано на экспорт 4286 т органических удобрений и 4702 т фосфорных.

Таблица 4.

Экспорт и импорт России по товарной группе «удобрения»

Table 4.

Export and import of Russia by product group «fertilizers»

Годы | Years	Экспорт | Export		Импорт | Import	
	Количество, млн т Quantity, million tons	Стоимость, млн долл. США Cost, USD million	Количество, тыс. т Quantity, thousand tons	Стоимость, млн долл. США Cost, USD million
2010	27,7	7388,9	74,7	40,9
2011	26,8	10978,1	81,6	67,1
2012	28,9	11162,6	83,5	63,6
2013	27,3	9121,2	87,7	69,1
2014	30,9	8988,3	149,4	85,0
2015	31,6	8853,3	147,4	75,0
2016	31,5	6637,5	169,5	78,4
2017	34,3	7217,2	414,6	131,0
2018	34,1	8225,7	310,9	120,4
2019	34,6	8402,1	324,8	137,2
2019 к 2018, % 2019 to 2018, %	101,5	102,1	140,5	114,0

Россия отправляет удобрения более чем в 120 стран, но три из них занимают ведущие позиции: Бразилия, США и Китай. В Бразилию в 2019 г. отправлено 7,8 млн т удобрений (доля по массе 22,5%) на сумму 1,9 млрд долл., в США – 3,8 млн т (11,0%), стоимость которых составляет 745,5 млн долл., и в Китай (10,0%) – 3,5 млн т на сумму 838,9 млн долл. К ведущим получателям экспорта российских удобрений относятся Эстония, Финляндия, Индия, Украина, Польша, Румыния, Мексика, Латвия, Индонезия и Литва, доля которых в экспорте занимает 28,5%. На первых позициях среди регионов по экспорту удобрений находятся Пермский край (доля по массе – 28,9%; доля по стоимости – 29,2%), Вологодская область (доля по массе – 14,9%; доля по стоимости – 17,1%) и Новгородская область (доля по массе – 16,0%; доля по стоимости – 13,3%) [3].

В настоящее время отрасль производства удобрений является довольно устойчивой. Однако на рынок удобрений влияние оказывают как внешние, так и внутренние факторы.

Существенное воздействие демонстрирует государственное регулирование. Так, субсидирование сельскохозяйственных производителей в рамках Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия стимулирует спрос на удобрения. Цели государственной политики по обеспечению продовольственной независимости и продовольственной безопасности страны, ускоренного импортозамещения в отношении овощей открытого и закрытого грунта, плодово-ягодной продукции и семенного картофеля, повышению конкурентоспособности отечественной сельхозпродукции, увеличению объемов производства продукции в 2025 г. к уровню 2017 г. по растениеводству на 14,8%, достижению объема экспорта продукции АПК в размере 45 млрд долл. к началу 2025 г. диктуют рост производительности, в т. ч. и в растениеводстве, что невозможно без увеличения внесения удобрений на 1 га пахотных земель.

Удовлетворение внутреннего спроса не может быть за счет снижения экспортных поставок. В настоящее время очевидна экспортная направленность рынка удобрений, что объясняется стабильностью спроса, небольшими ценовыми колебаниями, укреплением доллара – за счет высоких курсов валют компании компенсируют потери от снижения спроса и падения цен на мировом рынке. Внутренний рынок можно насытить с помощью инвестиционной активности. Большинство производителей удобрений в последние годы развивают мощности по выпуску своей продукции. Так, АО «МХК «ЕвроХим» запустило в г. Кингисепп самую мощную в Европе установку по производству аммиака – 1 млн т продукции в год; ПАО «Акрон» планирует увеличить мощность установки карбамид-6 в Великом Новгороде на 500 тыс. т, до 735 тыс. т, после чего она станет крупнейшей как в России, так и Европе по производству карбамида с суммарной мощностью 1,9 млн т в год; в ПАО «КуйбышевАзот» в 2022 г. должно стартовать новое производство карбамида на 525 млн т совместно с итальянской компанией Maire Tecnimont S.p. A. и т. д.

С 01.01.2021 г. Правительством России внесены поправки в Налоговый кодекс, устанавливающие увеличивающий «рентный коэффициент» 3,5 к ставке налога на добычу полезных ископаемых (НДПИ) для многих видов твердых полезных ископаемых, в т. ч. для производства апатитовых, апатит-нефелиновых и фосфоритовых руд (действующая ставка – 4%) и удобрений – калийных солей (3,8%). Производители удобрений добились пятилетней отсрочки на применение коэффициента к НДПИ для новых проектов через механизм соглашения о защите и поощрении капиталовложений (СЗПК) сроком на 5 лет: рентный коэффициент устанавливается в размере 1 после начала разработки, степень отработанности запасов по состоянию на 01.01.2021 г. должна составлять менее 1% [4]. Как правило, налоговые нагрузки на производителей повышают цены на производимую ими продукцию. В данной ситуации возможен рост цен на удобрения, но первые результаты будут видны в 2021 г.

Пандемия COVID-19 не мешала развиваться внутреннему рынку удобрений. В России режим ограничений для сельскохозяйственной отрасли не вводился, поэтому общее для страны снижение деловой активности не отразилось на внутреннем спросе, а к началу посевного сезона традиционно растет потребление удобрений. При этом влияние пандемии ощущалось на мировом рынке. К примеру, в Китае, крупнейшем производителе фосфатов, значительная доля мощностей по производству этого вида удобрений сосредоточена в провинции Хубэй – истоке распространения нового коронавируса. Сокращение производства в Китае позволило восстановить цены на фосфаты, которые упали до многолетних минимумов в 2019 г.

Регуляторные меры со стороны иностранных государств также оказывают влияние на рынок удобрений. По просьбе компании Mosaic, крупнейшего производителя фосфатов в Северной Америке, введены пошлины на импорт фосфорных удобрений из России и Марокко. В ноябре 2020 г. Министерством торговли США установлены предварительные компенсационные пошлины для ПАО «ФосАгро» на уровне 20,94%, АО «МХК «ЕвроХим» – 72,5%, для прочих российских поставщиков – 32,92%, для марокканской компании OCP – 23,46%. Серьезного влияния на российских производителей эти меры не окажут, т. к. на этом рынке их доля невелика, а цены растут, тем не менее ПАО «ФосАгро» оспаривает действия Минторга США.

Россия занимает прочные позиции на мировом рынке удобрений и обеспечивает внутренний спрос на данную продукцию. Дальнейшее расширение рынков связано с развитием материально-технической базы сельхозпроизводителей. Не только необходимы средства для приобретения удобрений, но требуется и техника для их внесения. В настоящее время в стране низкий уровень оснащения сельхозпроизводителей специальной техникой. Так, если в 2000 г. в России было 34,3 тыс. шт. разбрасывателей твердых минеральных удобрений, 22 тыс. шт. машин для внесения в почву твердых органических удобрений и 12, 1 тыс. шт. для внесения жидких органических удобрений, то в 2019 г. их насчитывалось 15,7 тыс. шт. (-54,2%), 4,5 тыс. шт. (-79,5%) и

4,1 тыс. шт. (-66,1%) соответственно. Поэтому необходима государственная поддержка для увеличения парка технических средств по работе с удобрениями.

Важной составляющей рынка удобрений является инфраструктура. Компании по производству удобрений сами выстраивают логистическую систему, строят терминалы в портах. Однако на сегодняшний день мощностей российских терминалов для перевалки удобрений не хватает, т. к. в основном отечественные минеральные удобрения отправляются на экспорт морским транспортом. Большие объемы удобрений отгружаются транзитом через порты Прибалтики и Финляндии. Переориентировать потоки с зарубежных портов на российские будет возможно после введения терминалов навалочных грузов в Усть-Луге, Мурманске, Тамани. Для поддержки отечественных производителей удобрения внесены в перечень грузов, железнодорожная перевозка которых субсидируется из бюджета.

Обсуждение

Развитие внутреннего рынка удобрений требует участия государства. В то же время для стимулирования внутреннего спроса необходимо всячески поощрять частные инвестиции, использовать государственно-частное и государственно-кооперативное партнерства в создании инфраструктуры рынка удобрений и в научной сфере. Необходимо разработать программу субсидирования применения новейших и инновационных видов удобрений и использования информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) для поднятия плодородия почв, создать образовательные программы и центры инжиниринга, как инкубаторы для малого и среднего бизнеса, на базе которых знакомить сельхозпроизводителей с инновационными разработками сложных удобрений и аграрными методиками их внесения в почву [5]. Известно, что сбалансированное внесение удобрений зависит как от качества почв, так и от набора выращиваемых сельскохозяйственных культур, поэтому важно взаимодействие и взаимопонимание аграриев и региональных властей в формировании и реализации аграрной политики на местах, соучастие в программно-целевом планировании [6].

Развитые страны создали экономику замкнутого цикла (круговое, цикличное хозяйство) – ресурсоемкую модель экономики с многооборотным применением произведенной продукции, предполагающую повышение эффективности производства вследствие уменьшения потребности в первичном сырье, экономии используемого материала, что снижает себестоимость произведенной продукции [7]. Отечественный рынок также заинтересован в безотходных технологиях производства удобрений на базе предприятий углерододобывающей промышленности, что способствует повышению его устойчивости [8].

Производство удобрений обеспечивает рабочие места, наполняет региональные бюджеты и в то же время создает экологические проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды промышленными отходами, сточными водами, провалами грунта, образованием воронок. Поэтому важно в процессе поступления вопросов анализировать возникающие трудности и привлекать специалистов, которые могут решить поставленную задачу [9]. Сельское хозяйство генерирует различные инновационные идеи, выступает двигателем экономического роста, являясь производственной системой, формирующей основное богатство страны: человеческие ресурсы и землю. Устойчивое развитие объединяет триаду сфер: экономическую, социальную и экологическую [10]. Ведущие мировые ученые считают, что глобальная экологическая устойчивость, безусловно, должна быть главным двигателем будущих инноваций. Примеры ключевых достижений, к которым следует стремиться, включают повышение эффективности использования азотных минеральных удобрений, которые на 30–50% повышают урожайность сельскохозяйственных культур, а также развитие комплексного снабжения белками и аминокислотами с значительно улучшенной эффективностью по сравнению с традиционными сельскохозяйственными системами [11].

Непрерывная задача фермера состоит в том, чтобы применять правильный источник питательных веществ с нужной скоростью, в нужное время и в нужном месте, чтобы поддерживать оптимальную урожайность и в то же время минимизировать воздействие на окружающую среду. Ввиду этих соответствующих преимуществ, минеральные и органические питательные вещества дополняют друг друга. Лучшие практики управления используют возможности этой синергии [12]. Поэтому наравне с традиционным, зависимым от различных удобрений, в России необходимо развивать и органическое, и экологически чистое сельскохозяйственное производство, основанное на воссоздании природного иммунитета почв [13].

Также участники отечественного рынка удобрений являются частью международного глобального бизнеса, поэтому нужны стандартизированные единые источники информации и аналитики, что необходимо для мониторинга конкурентной среды, разработки ценовой политики, выявления новых возможностей и планирования. Необходимо переходить к умному

внесению удобрений для достижения стабильного роста производства продовольствия для жителей страны, что в свою очередь требует развития IT–технологий и ИКТ [14–20].

Заключение

Мировой рынок удобрений отличается высокой степенью конкуренции, и Россия занимает на нем прочные позиции и обеспечивает внутренний спрос. Но уровень внесения удобрений на 1 га посевной площади в России ниже, чем в развитых странах. При этом потенциал внутреннего рынка не исчерпан, т. к. спрос организаций сельского хозяйства будет расти. Дальнейшее расширение отечественного рынка связано с развитием материально-технической базы сельхозпроизводителей, которым необходимы не только средства для приобретения удобрений, но требуется и техника для их внесения; с созданием необходимой инфраструктуры, с проведением научных изысканий и внедрением инновационных разработок.

Удобрения имеют особую важность для продовольственной безопасности государства. Обеспечение стабильного внутреннего спроса зависит от финансовых возможностей сельскохозяйственных организаций. Расширение линейки удобрений за счет марочного ассортимента позволит выйти на рынок мелким сельхозтоваропроизводителям: К(Ф)Х и хозяйствам населения. Привлечение кооперативов для снабжения малых форм хозяйствования в АПК удобрениями позволит снизить затраты на приобретение этого вида продукции. Увеличение производства пищевых продуктов и повышение их доступности с внедрением «умной системы внесения удобрений в зависимости от качества почв» рассматривается как цель сельскохозяйственного сектора в контексте более широких макроэкономических задач общества – улучшения качества жизни населения.

Литература

1 Природа плодородия. Интегрированный отчет 2019 ПАО «ФосАгро». URL: https://www.phosagro.ru/upload/iblock/219/219c4cdb0015f5738520593a8c5074bd.pdf.

2 Отечественный производитель удобрений ФосАгро увеличивает поставки в Африку. URL: https://spb.aif.ru/society/otechestvennyy_proizvoditel_udobreniy_fosagro_uvelichivaet_postavki_v_afriku.

3 Статистика внешней торговли России. URL: https://statimex.ru/statistic/31/export/def/world/RU/.

4 Госдума повысила в 3,5 раза НДПИ на металлы и минеральные удобрения. URL: https://www.interfax.ru/business/729337.

5 Шаркова А.В., Килячков Н.А., Белобрагин В.В. и др. Концепция эффективного предпринимательства в сфере новых решений, проектов и гипотез: 3-е изд. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2021. 641 с.

6 Апырбаев Г.А. Механизмы реализации государственных программ в аграрном секторе экономики // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 2. С. 190–196. doi: 10.20914/2310–1202–2020–2–190–196

7 Шаркова А.В., Шапкин И.Н. Чалдаева Л.А. и др. Развитие предпринимательства: инновации, технологии, инвестиции: 2-е изд. М: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2021. 352 с.

8 Шаркова А.В., Прудникова А.А. Колесник Г.В. и др. Развитие предпринимательства: концепции, цифровые технологии, эффективная система: изд. 2-е. М: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2020. 605 с.

9 Джубари М.К., Алексеева Н.В., Балабанова М.Ю. Сочетание обратного осмоса и электродиализа для улучшения рекуперации воды в промышленных сточных водах // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 4. С. 227–235. doi: 10.20914/2310–1202–2020–4–227–235

10 Кручинина В.М. Пространство для развития кооперации в современной России // Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2018. № 4. С. 78–88.

11 Erisman J.W., Sutton M.A., Galloway J., Klimont Z. et al. How a century of ammonia synthesis changed the world // Nature Geoscience. 2008. № 1. P. 636 – 639. doi: 10.1038/ngeo325.

12 Chivenge P., Vanlauwe B., Six J. Does the combined application of organic and mineral nutrient sources influence maize productivity? A meta-analysis // Plant Soil. 2011. V. 342. P. 1–30. doi: 10.1007/s11104–010–0626–5

13 Рыжкова С.М. К вопросу о формировании кластеров дикоросов на региональном уровне // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 2017. № 4 (65). С. 216–231. doi: 10.21295/2223–5639–2017–4–216–231

14 Kruchinina V.M., Ryzhkova S.M. Consumer Cooperation in Russia in the Digital Economy // Complex Systems: Innovation and Sustainability in the Digital Age. Springer, Cham, 2020. P. 215-224. doi: 10.1007/978–3–030–44703–8_24

15 Takeshima H., Nkonya E. Government fertilizer subsidy and commercial sector fertilizer demand: Evidence from the Federal Market Stabilization Program (FMSP) in Nigeria // Food Policy. 2014. V. 47. P. 1-12. doi: 10.1016/j.foodpol.2014.04.009

16 Liverpool- Tasie L.S.O. Fertilizer subsidies and private market participation: the case of Kano State, Nigeria // Agricultural Economics. 2014. V. 45. №. 6. P. 663-678. doi: 10.1111/agec.12114

17 Redza A., Nordin S.M., Saad S., Wahab H. Inter-organization communication management between organizations in a subsidized fertilizer market in Malaysia // UMK Procedia. 2014. V. 1. P. 33-41. doi: 10.1016/j.umkpro.2014.07.005

18 Hernandez M.A., Torero M. Market concentration and pricing behavior in the fertilizer industry: a global approach // Agricultural Economics. 2013. V. 44. №. 6. P. 723-734. doi: 10.1111/agec.12084

19 Lahmiri S., Bekiros S. The Informational Dynamics of Mean–Variance Relationships in Fertilizer Markets: An Entropic Investigation // Entropy. 2018. V. 20. №. 9. P. 677. doi: 10.3390/e20090677

20 Heffer P., Prud'homme M. Global nitrogen fertilizer demand and supply: Trend, current level and outlook // International Nitrogen Initiative Conference. Melbourne, Australia. 2016.

References

1 The nature of fertility. Integrated Report 2019 of PJSC PhosAgro» Available at: https://www.phosagro.ru/upload/iblock/219/219c4cdb0015f5738520593a8c5074bd.pdf (in Russian).

2 Domestic fertilizer producer PhosAgro increases supplies to Africa Available at: https://spb.aif.ru/society/otechestvennyy_proizvoditel_udobreniy_fosagro_uvelichivaet_postavki_v_afriku (in Russian).

3 Russian foreign trade statistics Available at: https://statimex.ru/statistic/31/export/def/world/RU/ (in Russian).

4 The State Duma increased the mineral extraction tax on metals and mineral fertilizers by 3.5 times Available at: https://www.interfax. ru/business/729337 (in Russian).

5 Sharkova A.V., Kilyachkov N.A., Belobragin V.V. and others. The concept of effective entrepreneurship in the field of new solutions, projects and hypotheses: 3rd ed. Moscow, Publishing and Trade Corporation "Dashkov and Co", 2021. 641 p. (in Russian).

6 Apyrbaev G.A. Mechanisms for the implementation of state programs in the agrarian sector of the economy. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 2. pp. 190–196. doi: 10.20914/2310–1202–2020–2–190–196 (in Russian).

7 Sharkova A.V., Shapkin I.N. Chaldaeva L.A. and others. Development of entrepreneurship: innovation, technology, investment: 2nd ed. Moscow, Publishing and trade corporation "Dashkov and Co", 2021. 352 p. (in Russian).

8 Sharkova A.V., Prudnikova A.A. G.V. Kolesnik and others. Development of entrepreneurship: concepts, digital technologies, effective system: ed. 2 f. Moscow, Publishing and Trade Corporation "Dashkov and Co", 2020. 605 p. (in Russian).

9 Dzhubari M.K., Alekseeva N.V., Balabanova M.Yu. The combination of reverse osmosis and electrodialysis to improve water recovery in industrial wastewater. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 4. pp. 227–235. doi: 10.20914/2310–1202–2020–4–227–235 (in Russian).

10 Kruchinina V.M. Space for the development of cooperation in modern Russia. Fundamental and applied research of the cooperative sector of the economy. 2018. no. 4. pp. 78–88. (in Russian).

11 Erisman J.W., Sutton M.A., Galloway J., Klimont Z. et al. How a century of ammonia synthesis changed the world. Nature Geoscience. 2008. no. 1. pp. 636 – 639. doi: 10.1038/ngeo325.

12 Chivenge P., Vanlauwe B., Six J. Does the combined application of organic and mineral nutrient sources influence maize productivity? A meta-analysis. Plant Soil. 2011. vol. 342. pp. 1–30. doi: 10.1007/s11104–010–0626–5

13 Ryzhkova S.M. On the question of the formation of clusters of wild plants at the regional level. Bulletin of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law. 2017. no. 4 (65). pp. 216-231. doi: 10.21295/2223–5639–2017–4–216–231 (in Russian).

14 Kruchinina V.M., Ryzhkova S.M. Consumer Cooperation in Russia in the Digital Economy. Complex Systems: Innovation and Sustainability in the Digital Age. Springer, Cham, 2020. pp. 215-224. doi: 10.1007/978–3–030–44703–8_24

15 Takeshima H., Nkonya E. Government fertilizer subsidy and commercial sector fertilizer demand: Evidence from the Federal Market Stabilization Program (FMSP) in Nigeria. Food Policy. 2014. vol. 47. pp. 1-12. doi: 10.1016/j.foodpol.2014.04.009

16 Liverpool- Tasie L.S.O. Fertilizer subsidies and private market participation: the case of Kano State, Nigeria. Agricultural Economics. 2014. vol. 45. no. 6. pp. 663-678. doi: 10.1111/agec.12114

17 Redza A., Nordin S.M., Saad S., Wahab H. Inter-organization communication management between organizations in a subsidized fertilizer market in Malaysia. UMK Procedia. 2014. vol. 1. pp. 33-41. doi: 10.1016/j.umkpro.2014.07.005

18 Hernandez M.A., Torero M. Market concentration and pricing behavior in the fertilizer industry: a global approach. Agricultural Economics. 2013. vol. 44. no. 6. pp. 723-734. doi: 10.1111/agec.12084

19 Lahmiri S., Bekiros S. The Informational Dynamics of Mean–Variance Relationships in Fertilizer Markets: An Entropic Investigation. Entropy. 2018. vol. 20. no. 9. pp. 677. doi: 10.3390/e20090677

20 Heffer P., Prud'homme M. Global nitrogen fertilizer demand and supply: Trend, current level and outlook. International Nitrogen Initiative Conference. Melbourne, Australia. 2016.

Сведения об авторах

Валентина М. Кручинина к.э.н., вед. науч. сотр., отдел маркетинга и развития продуктовых рынков, Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства, Хорошевское ш., 35/2, Москва, 123007, Россия, vmk.market@vniiesh.ru
https://orcid.org/0000-0003-0811-796X

Светлана М. Рыжкова к.э.н., вед. науч. сотр., отдел маркетинга и продуктовых рынков, Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства, Хорошевское ш., 35/2, Москва, 123007, Россия, smr.market@vniiesh.ru
https://orcid.org/0000-0002-1908-0747

Information about authors

Valentina M. Kruchinina Cand. Sci. (Econ.), senior research fellow, department of marketing and development of food markets, All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Khoroshevskoe h, 35/2, Moscow, 123007 Russia, vmk.market@vniiesh.ru
https://orcid.org/0000-0003-0811-796X

Svetlana M. Ryzhkova Cand. Sci. (Econ.), senior research fellow, department of marketing and development of food markets, All-Russian Research Institute of Agricultural Economics , Khoroshevskoe h., 35/2, Moscow,123007 Russia, smr.market@vniiesh.ru
https://orcid.org/0000-0002-1908-0747

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 25/01/2021	**После редакции** 19/02/2021	**Принята в печать** 05/03/2021
Received 25/01/2021	**Accepted in revised** 19/02/2021	**Accepted** 05/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-385-393 Оригинальная статья/Research article

УДК 159.937 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Бренд как психологическое средство рекламы и самовыражения личности

Юлия Б. Кострова [1] ubkostr@mail.ru 0000-0002-5693-2267

Юлия О. Лящук [1] ularzn@mail.ru 0000-0002-3612-1707

Людмила В.Черкашина [1] milasergey2000@gmail.com 0000-0002-1134-5536

Ольга Ю. Шибаршина [1] oshibarshina@mail.ru 0000-0002-8843-9661

1 Московский университет имени С.Ю. Витте (филиал в г. Рязань), Первомайский проспект, 62, г. Рязань, Россия

Аннотация. В статье рассматривается процесс брендинга как средства саморекламы и самовыражения личности. При проведении исследования в качестве методологической основы авторами использованы теория потребительского поведения А. Маслоу, а также визуальные структуры личности З. Фрейда, К. Юнга. Целью исследования является анализ процесса брендинга как психологического средства саморекламы и самовыражения личности. В ходе проведения исследования применялись общенаучные методы познания в рамках диалектического и системного подходов, методы логического и ситуационного анализа. Определены основные задачи личностного самовыражения, решаемые с помощью брендовых продуктов. При этом авторами утверждается, что в основе выбора брендовых продуктов для саморекламы во всех трёх случаях лежит один психологический мотив – самореализация и самовыражение. Показано, что бренд приносит дополнительный доход, поскольку многие потребители готовы переплатить, отдав дополнительную сумму денег за возможность обладать престижным продуктом даже за premium-цену. Бренды имеют эмоциональную связь со своими потребителями. Компании-лидеры, имеющие знаменитые бренды, давно отметили для себя, что связь их товаров с потребителями лежит через эмоции. Бренды помогают людям исполнять их мечты, желания, открывают больше возможностей в жизни. Чем сильнее и значимее для потребителя уникальные, рациональные и эмоциональные характеристики бренда, тем большую цену он готов платить за товар, тем больше возможность получения прибыли компанией. Повышение прибыли в свою очередь ведет к повышению стоимости акций и к повышению стоимости самой компании, поскольку бренд является своего рода нематериальным активом. Обладание брендом - победный результат истории фирмы, судьбы ее основателей и руководителей, умелых талантливых бренд-мейкеров. Не каждое имя фирмы может быть названо брендом, не каждому суждено таковым стать, не каждому дано удержать уровень бренда. Наличие бренда означает, что даже при приблизительно равных потребительских и иных свойствах товар будут больше покупать, у идеи будет больше приверженцев.

Ключевые слова: бренд, личность, реклама, потребительские предпочтения, мотивы, самореклама

Comparative analysis of brand management strategies

Yuliya B. Kostrova [1] ubkostr@mail.ru 0000-0002-5693-2267

Yuliya O. Lyashchuk [1] ularzn@mail.ru 0000-0002-3612-1707

Lyudmila V. Cherkashina [1] milasergey2000@gmail.com 0000-0002-1134-5536

Olga Yu. Shibarshina [1] oshibarshina@mail.ru 0000-0002-8843-9661

1 Moscow University named after S.Yu. Witte (Ryazan branch), Pervomaisky avenue, 62, Ryazan, Russia

Abstract. The article considers the process of branding as a means of self-promotion and personal expression. When conducting the study, the authors used the theory of consumer behavior of A. Maslow as a methodological basis, as well as the visual structures of the personality of Z. Freud, K. Jung. The aim of the study is to analyze the process of branding as a psycho-logical means of self-promotion and personality expression. During the study, general scientific methods of cognition were used within the framework of dialectical and systemic approaches, methods of logical and situational analysis. The main tasks of personal expression, solved with the help of brand products, have been identified. At the same time, the authors argue that the choice of brand products for self-promotion in all three cases is based on one psychological motive - self-realization and self-expression. It is shown that the brand brings additional income, since many consumers are ready to overpay, giving an additional amount of money for the opportunity to have a prestigious product even for a premium price. Brands have an emotional connection with consumers. Leading companies with famous brands have long noted for themselves that the connection of their goods with consumers lies through emotions. Brands help people fulfill their dreams, desires, open up more opportunities in life. The stronger and more significant the unique, rational and emotional characteristics of the brand for the consumer, the higher the price he is willing to pay for the product, the greater the opportunity for the company to profit. The increase in profits in turn leads to an increase in the value of shares and to an increase in the value of the company itself, since the brand is a kind of intangible asset. Brand ownership is a winning result of the history of the company, the fate of its founders and executives, skillful talented brand makers. Not every name of the company can be called a brand, not everyone is destined to become one, not everyone is given to maintain the level of the brand. Having a brand means that even with approximately equal consumer and other properties, the product will buy more, the idea will have more adherents.

Keywords: brand, personality, advertising, consumer preferences, motives, self-promotion

Для цитирования

Кострова Ю.Б., Лящук Ю.О., Черкашина Л.В., Шибаршина О.Ю. Бренд как психологическое средство рекламы и самовыражения личности // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 81. № 1. С. 385–393. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-385-393

For citation

Kostrova Yu.B., Lyashchuk Yu.O., Cherkashina L.V., Shibarshina O.Yu. Comparative analysis of brand management strategies. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 81. no. 1. pp. 385–393. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-385-393

© 2021, Кострова Ю.Б. и др./ Kostrova Yu.B. et al.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Разработка долгосрочного покупательского предпочтения рассматривается как деятельность по представлению потребителю достоинств товара или услуги, и их особенностей по сравнению с похожими предлагаемыми товарами или услугами, формированию в сознании потребителей устойчивых ассоциаций, впечатлений, связанных с данным товаром, его маркой [1].

Эти ассоциации, как образное соединение отдельных впечатлений в общую, яркую и устойчивую картину взаимосвязанного представления потребителя о товаре, его марке, называют брендом (от англ. brand – клеймо, марка, производить впечатление) [2].

Бренд представляет собой образ марки конкретного товара (услуги), выделенной покупателем среди конкурирующих изделий [1].

Сегодня рост конкуренции вынуждает все ближе изучать своего потребителя, подстраиваться под его желания, говорить в рекламе на его «языке». В противном случае человек не захочет выделить конкретное сообщение из того информационного шума, который окружает его в повседневной жизни. Если реклама не опирается на важный для покупателя мотив, то самонадеянно ждать, что он как-то отреагирует на такое сообщение. В результате рекламный бюджет будет израсходован впустую, а товар или услуга так и не найдут своего покупателя [4].

Объекты и методы

Объект исследования – факторы и мотивы выбора, использования и демонстрации бренда.

Предмет исследования – бренд как один из способов саморекламы и самовыражения личности потребителя.

В ходе проведения исследования применялись общенаучные методы познания в рамках диалектического и системного подходов, методы логического и ситуационного анализа. Методологическая основа исследования также включила в себя методологические принципы психологии: единства сознания и деятельности, детерминизма, развития, системности, личностного подхода, комплексности представления изучаемого психологического явления.

Гипотеза исследования заключается в следующем: предпочитаемый бренд выступает как способ самопрезентации потребителя и взаимосвязан с его структурой ценностей, особенностями самоотношения и уровнем социального самоконтроля.

Результаты и обсуждение

Большинство работ и исследований в области брендинга посвящены тому, как создавать бренд, как выводить его на рынок, продвигать, позиционировать, отстраивать от конкурентов. В то же время бренд также является психологическим средством саморекламы личности. С помощью брендовых вещей покупатели могут самовыражаться, в контексте саморекламы, повышая, таким образом, свою значимость и статусность [5]. В связи с этим возникает необходимость специального рассмотрения психологических мотивов, подталкивающих потребителя к приобретению тех или иных марок товара или брендов.

А. Маслоу считал, что в основе потребительского поведения людей лежит мотивация. Согласно теории мотивации, разработанной Маслоу, существует 7 базовых групп потребностей [6]:

1 – физиологические потребности (голод, жажда, сон и т. д.);

2 – потребности в безопасности (самосохранение, чувство безопасности, защищённости себя, своих близких, своего имущества и т. д.);

3 – потребности в принадлежности и любви (принадлежность к общности, общение, дружба, любовь и т. д.);

4 – потребность в уважении (самоуважение, одобрение, признание);

5 – познавательные потребности (образование, знания, навыки, исследования, умения);

6 – эстетические потребности (красота, изящество, гармония и т. п.);

7 – потребности самоактуализации (самовыражение, саморазвитие, творчество, самореализация).

Потребности признания, связанные со статусом и престижем, а также потребности самореализации, предполагающие и самовыражение личности, находятся на самой вершине пирамиды.

Наиболее известными являются визуальные структуры личности, представленные З. Фрейдом [12] и К. Юнгом [9].

Фрейд считал, что в структуру человеческой личности входят [12]:

- бессознательное (филогенетически древняя, наследственная часть личности) – вместилище желаний, влечений, интуиции, сновидений;
- надсознательное (социальная часть личности) – вместилище общественных норм и правил, языка, социальных ролей и статусов и т. д.
- сознательное (сознание) – продукт единства и борьбы противоположностей (надсознательного и бессознательного), выражающийся в мыслях, речи, действиях, поведении и т. д.

Карл Юнг в своих трудах уделял огромное внимание природе бессознательного, существенно расширив и дополнив исследования в этой области. В частности, им было введено понятие коллективного и индивидуального

бессознательного. Согласно концепции Юнга, бессознательное является вместилищем архетипов – трансцендентных по отношению к сознанию реальностей, вызывающих в жизни целые комплексы представлений разного рода, выступающих в виде мифологических мотивов.

Юнг выделил две доминанты коллективного бессознательного, между которыми скользит сознание: инстинкты (представляющие собой физическую основу личности – природу или материю) и архетипы (представляющие собой духовную основу личности – универсальные идеи). Юнг создал модель движения психической энергии между инстинктом и архетипом. Согласно которой одна часть психической энергии тратится на обеспечение жизнедеятельности организма (удовлетворение базовых потребностей), а оставшаяся часть энергии трансформируется в создание культуры. Трансформация энергии происходит под воздействием образов-символов, которые синтезируются из бессознательного, то есть из архетипов (символы, трансформирующие психическую энергию, гнездятся в бессознательном архетипе). Для того чтобы процесс трансформации увенчался успехом, символы должны быть достаточно притягательными. Автор отождествляет понятия «архетипический образ» и «символ», перенося на символ роль доминанты. Собственно, образами-символами и оперирует современная реклама, поскольку они составляют язык бессознательного.

Описанные выше постулаты великих ученых и послужили теоретико-методологической основой данного исследования.

Как показывает опыт практической психологии, нормальная, социально ориентированная личность стремится выразить свою индивидуальность и незаурядность, что является абсолютно закономерным, поскольку каждая личность действительно уникальна, и двух одинаковых, в психологическом плане, людей нет, так же как нет двух абсолютно одинаковых тел или отпечатков пальцев [9].

Есть общие составляющие и закономерности, строения и функционирования тела и психики в норме, но никак не их одинаковости. Любые научные теории и концепции предлагают лишь усреднённый вариант, полученный в результате исследований, но никак не истину в конечной инстанции, поскольку истина – это область идеального, и, как любой объект нематериального мира, она является «размытой». Таким образом, каждая личность имеет уникальное тело и уникальную психику, что и побуждает к самовыражению [10]. Самовыражение же, как и любая другая человеческая деятельность, имеют смысл лишь в том случае, когда есть некто «Иной», не являющийся «Я». Нет смысла писать картину, если её никто кроме автора не увидит. Он и так её видит в собственном воображении. Нет смысла создавать привлекательный образ, если некого привлекать. На кого этим образом воздействовать в таком случае? Для того чтобы был смысл человеческой деятельности, необходима (как минимум!) дуальная пара «Я» – «Иной» (внутренний мир и внешнее иномирье). «Я» выражает себя, свою уникальность, индивидуальность, идеи, образы, мысли, с одной стороны, для «Иного», с другой стороны, таким образом «Я» самореализуется, воплощает себя в жизни. Но «Я» не только воплощает и реализует себя. Для кого-то наше «Я» и есть «Иной». На реальной жизненной сцене «Иной», конечно же, не один, их много. «Иные» могут быть как «актерами», играющими вместе с «Я», так и «зрителями» разыгрываемого «спектакля», аналогичным образом «Я» тоже «сидит в зрительском зале». Причём, происходит это всё одновременно! Наше «Я» одновременно и «главная героиня», и «актриса-партнёрша» и «зрительница», поскольку в процессе жизнедеятельности мы одновременно несём в себе и на себе целый набор ролей и статусов. Роли и статусы, которые воплощаются в процессе «спектакля», несут в себе информацию, кодируемую в виде образов (образ успешного человека соответствует статусу бизнесмена, воплощающего роль главы крупной компании, например, но это только с одной стороны, ибо личность играет множество ролей, ориентируясь по ситуации). Образы бывают индивидуальные (то есть существующие внутри одной личности) и коллективные (к ним относятся образы коллективного бессознательного – архетипы). По сути своей образ – это компактно закодированная информация. Причём, информация, воздействующая, главным образом, на подсознание. Ведь гораздо проще посмотреть на «картинку», чем прочесть или прослушать текст, её описывающий.

Язык образов – это язык подсознания. Это у «Я» есть внутренний голос, ибо сознание учили тому или иному человеческому языку, то есть языку на основе знаков-символов. «Оно» же оперирует языком образов-символов, что, конечно же, более ёмко с точки зрения информации. Это не означает, что «Я» не видит или не понимает образы-символы. Видит и понимает, но только тогда, когда осознает. А для этого необходим перевод с языка образов-символов на язык знаков-символов, то есть в речь, письменную или устную (внутренний голос тут тоже участвует) [11]. Если нет «перевода», то нет и осознания. Но это не значит, что это не действует на личность, не возбуждает желаний и стремлений. Действует. Только на уровне

подсознания. Люди порой сами не понимают, почему хотят купить ту или иную вещь (или воспользоваться той или иной услугой) [12].

Таким образом, с одной стороны, публичное признание своей заурядности, отсутствие индивидуальности, потеря чувства собственного достоинства и низкая самооценка могут являться либо признаками фальши (а значит, сознательного расчета именно такого поведения), либо симптомами психических нарушений. Однако, с другой стороны, в силу защитных механизмов (подробно описанных различными психоаналитиками), личность зачастую стыдится признаться окружающим (и самой себе тоже), что проявляет свою активность из тщеславия, самолюбия и эгоцентризма, поэтому отрицает и скрывает подобную мотивацию. Мотивация самовыражения и саморекламы, имеет место быть на протяжении всей жизни личности. Однако наиболее ярко она проявляется в подростковом возрасте, что связано с целым рядом факторов: стремлением к преодолению давления со стороны взрослых, некоему подростковому бунту, обусловленному реакцией эмансипации, а также самоутверждением и выделением среди сверстников, в том числе, и с целью привлечения противоположного пола. В этот возрастной период самовыражение может проявляться в агрессивной форме (и не всегда совпадать с содержанием психики личности). Также подростковый возраст является наиболее показательным с точки зрения диагностики акцентуаций характера, которые также являются важнейшей составляющей личности.

В процессе саморекламы путем приобретения брендовых товаров личность, как правило, решает задачи трёх типов, представленных на рисунке 1.

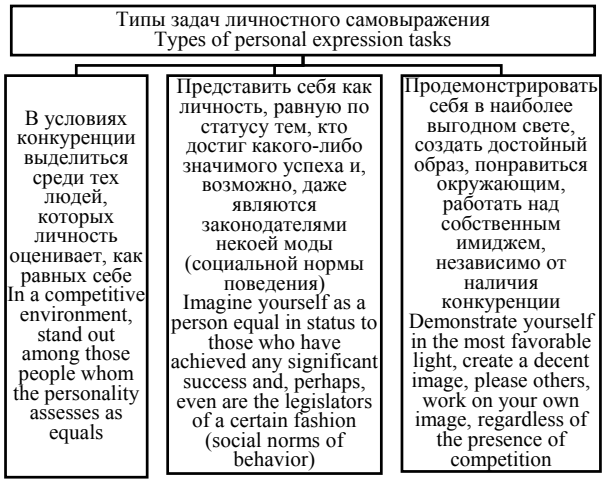


Рисунок 1. Задачи личностного самовыражения, решаемые с помощью брендовых продуктов

Figure 1. Tasks of personal expression, solved using branded products

В основе выбора брендовых продуктов для саморекламы во всех трёх случаях, по сути, лежит один и тот же психологический мотив – самореализация и самовыражение. Однако, в зависимости от индивидуальных особенностей, личность может идти «против течения» общественного мнения, «по течению» или же своим собственным путём.

При решении задач первого типа, имеющих своей целью выделение из толпы, личность делает акцент на нетипичном, нестандартном, эпатажном поведении, используя для этого бренды, несущие на своих продуктах такие символические образы как свобода воли, бесшабашность юности, дерзость мечтаний, безграничность возможностей.

При решении задач второго типа, имеющих своей целью влиться в желаемую статусную группу и мимикрировать под членов коллектива, личность, наоборот, делает акцент на поведении, соответствующем сложившимся представлениям о той или иной референтной группе, нормах и правилах этой группы, проявляя конформность принятому и коллективно признанному облику (например, dress code, статусные автомобили, дорогие аксессуары), конечно, при условии того, что это является значимым для личности. Для этого используются бренды, несущие на своих продуктах образы классического стиля, строгой, но в тоже время роскошной утончённости, элегантности, успеха, устойчивых позиций, стабильности и надёжности.

При решении задач третьего типа, имеющих своей целью индивидуальное развитие, личность делает акцент на поведении, позволяющем работать над собой и собственным имиджем без оглядки на наличие или отсутствие конкуренции, находя и подчёркивая собственные достоинства. Для этого используются бренды, несущие на своих продуктах образы творческого подхода, научных достижений и открытий, технического прогресса, литературы, музыки, живописи и, в принципе, всех видов искусства, то есть всего того, что тем или иным образом способствует процессу индивидуализации.

Рекламная продукция апеллирует к воображению потребителей, используя символический язык заряженных чувством образов, вызывая эмоции и желания [13]. Человеческий разум содержит довольно много психического материала, который мы по большей части не осознаём. Рекламная продукция устанавливает в психике потребителей своеобразные «мины», как в игре «солитер». И если установка полностью сформирована, то единственное, что требуется, чтобы запустить покупательское поведение –

это подходящий сигнал или триггер. Следовательно, после многократного предъявления потребителям рекламной продукции достаточно нажать на "спусковой крючок" ключевым словом (слоганом, например: «Не тормози, сникерсни» или «Сделай паузу, скушай…»), и в сознании начнут всплывать нужные образы, запуская ассоциации по принципу домино. Рекламная продукция «говорит» напрямую с бессознательным. Говорит неслышимым шёпотом. А ведь бессознательное – это тайный источник большинства мыслей, чувств, поступков людей. И сила его воздействия на них велика, в первую очередь, потому что воздействие это – незаметное.

Любая личность – нечто большее, чем «я», которым она себя считает. Скрытая часть нашего существа обладает сильными чувствами и желает их выразить. Но, несмотря на все усилия по самопознанию, только очень маленькая часть огромной энергетической системы бессознательного может быть подключена к осознающему разуму и функционировать на уровне сознания (в каждый конкретный момент осознающий разум может сосредоточиться только на ограниченном секторе нашего существа, как свет маяка над бескрайней морской гладью, осознавая только «подсвеченный» в данный момент времени участок). Бессознательное проявляет себя посредством языка эмоционально окрашенных образов-символов, в связи с чем, в процессе брендинга важное место занимает цветовое оформление.

На основе эмпирического исследования были идентифицированы некоторые параметры выбора, использования и демонстрации бренда.

Наблюдается следующие мотивы использования бренда: социальные (возможность соответствовать референтной группе, налаживание коммуникации, подчеркивание национальной принадлежности, отражение корпоративной культуры организации, поддержка семейных традиций), экономические (атрибут социального статуса, престижа, экономического положения в обществе), психологические (выражение нематериальные ценностей, поддержка уверенности в себе, самовыражение), рациональные (знание о качестве продукта), смешанные.

Сравнительный анализ выявил достоверные различия ($p<0,05$) между двумя выборками потребителей, признающих и отрицающих важность для них бренда, по показателям «самоуверенность», «саморуководство», «конфликтность», «самообвинение», «приписывание себе достижений», «пример для подражания», «традиции» («нормативные идеалы»), «самостоятельность» («профиль личности»), «достижения» («профиль личности»).

В выборке респондентов, которые говорят об отсутствии значимости для них бренда, сравнительный анализ в группах с различными факторами выбора бренда как способа самопрезентации установил статистически значимые различия средних значений показателей «самостоятельность» ($p<0,01$), «гедонизм» ($p<0,01$), «достижения» ($p<0,001$), «власть» ($p<0,001$) (нормативные идеалы), «стимуляция» ($p<0,05$), «гедонизм» ($p<0,05$) (профиль личности), «саморуководство» ($p<0,05$), «зеркальное Я» ($p<0,05$), «конфликтность» ($p<0,05$) и «самообвинение» ($p<0,05$).

В выборке потребителей, которым бренд важен, сравнительный анализ в группах с различными факторами выбора бренда как способа самопрезентации показал, что существуют достоверные различия средних значений по шкалам «стимуляция» ($p<0,05$), «традиции» ($p<0,05$) и «саморуководство» ($p<0,01$).

Таким образом, можно сформировать портрет потребителя, который признает важность для него бренда. Испытуемые предложенной категории относятся к себе, как к личности, обладающей потенциалом, способной самостоятельно добиться успеха новыми способами и желающей быть для других примером. Было выявлено, что параметры выбора, использования и демонстрации бренда в большей степени оказывают воздействие на внутренний план личности потребителя (его самоотношение и структуру ценностей), чем на внешний (техники самопрезентации; уровень социального самоконтроля проявляется одинаково во всех изучаемых группах потребителей).

Было выдвинуто предположение о том, что потребители, которые заявляют о важности для них бренда, характеризуются более устойчивыми личностными особенностями. Что представляет собой научную ценность в виде возможностей для исследований в рамках социальной психологии бренда.

Проанализировано воздействие факторов выбора, использования и демонстрации бренда. У потребителей разных групп качественно различается уровень самоуверенности, саморуководства, конфликтности, самообвинения, приписывания и преувеличения своих достижений, а также таких ценностей как традиции («нормативный идеал»), самостоятельность («профиль личности») и достижения («профиль личности»).

Таким образом, в исследовании была частично подтверждена гипотеза о том, что параметры выбора, использования и демонстрации бренда как способа самопрезентации взаимодействуют с отношением к себе у потребителя, его ценностями и техниками самопрезентации.

Согласно исследованиям, проведенным J. Escalas и J. Bettman (2003), С.В. Друповой (2006), А.А. Краснослободцевым (2009), В.Е. Чунаковой (2014), А.А. Щербак (2016), с помощью бренда формируется идентичность и Я-концепция потребителя [1]. Результаты нашей работой согласуется с ранее полученными данными.

Выдвинуто предположение, требующее дальнейшей проверки, о том, что брендовый выбор делается ради усиления определенного отношения к себе или утверждения упомянутых выше ценностей.

Заключение

Результаты исследования рекомендуется использовать для расширения пространства социальной психологии бренда и методологии его изучения. Кроме того, рекомендуется применять полученные знания в практике брендинга и маркетинга при построении психологической платформы бренда, стратегии позиционирования, формировании бренд-коммуникаций, стратегии развития и продвижения, ориентируясь на психологические и психоэмоциональные выгоды бренда на основе особенностей потребительского поведения и их взаимосвязи с самоотношением и структурой ценностей. Что предполагает экологичное создание и внедрение брендов в обыденную жизнь, а также гигиеничное взаимодействие с самой личностью потребителя.

Как показывает приведённый выше анализ, бренд имеет ряд особенностей, в отличие от просто известной марки, позволяющих найти отклик в душе потребителей, чтобы они совершали покупку «не разумом, а сердцем», ощущая глубокую внутреннюю связь. К таким особенностям бренда можно отнести: уникальность, эмоциональность, оригинальность, сопричастность, статусность, наличие легенды.

Брендовые марки предлагают уникальные в своём роде продукты, продукты «с изюминкой», выделяющиеся из общей массы, не имеющие аналогов. Каждый бренд имеет свой оригинальный стиль, несущий отпечаток личности создателей (как авторский почерк в литературе) [13]. И, отчасти, именно поэтому так высоки цены именно на авторские продукты (товары, изделия, услуги, проекты, работы и т. д., это далеко не всегда материальный продукт), поскольку именно частичка авторского «Я» делает этот продукт уникальным, одухотворяет простейшую, на первый взгляд, вещь. Просто круглые очки и очки Джона Леннона будут иметь разную цену на «E-bay».

Оригинальность отчасти коррелирует с уникальностью. Можно сделать миллиард качественных копий Моны Лизы, но они будут стоить копейки, по сравнению с оригиналом. И ощущения будут иные. Это будет уже не совсем Мона Лиза великого Леонардо. Почему? Потому, что в ней нет самого Леонардо. Он не касался полотна. Это всего лишь копия. Это не рука мастера. И ни грамма души мастера там нет. А значит не будет и «того самого», неповторимого чувства прикосновения к великому. И это касается не только искусства. Сумочки «Chanel» на определённом этапе жизненного цикла моды копируются баснословным тиражом трудолюбивыми китайскими рабочими. И на них даже стоит знак марки. Но, взяв такую сумочку в руки, девушка не почувствует ничего, кроме того, что это – фальшивка. Даже если подделка под брендовую марку качественно выполнена. А раз вещь – фальшивка, то и хозяйка немного ненастоящая (притворщица, примерившая чужую личину). Это чувство сопровождается подсознательным страхом разоблачения фальши (а вдруг найдётся ценительница, знающая, как выглядит оригинал сумочки, и засмеёт, застыдит?). Механизм переноса, описанный в книге «Психология переноса» К. Юнгом, является той базой, на которой строится вся индустрия продаж.

Вместе с брендовой вещью мы «примеряем» на себя не только конкретный образ, который она на себе несёт, но и имя создателей, и легенду бренда, историю возникновения или культовое происшествие, сделавшее марку брендовой. И это касается всех отраслей. Например, «Apple» прочно ассоциируется с именем Стива Джобса, несёт на себе образы высочайшего качества, передовых технологий, удобства и надёжности. Работая на ноутбуке «Apple», мы не просто получаем в распоряжение новую супер-функциональную «печатную машинку», мы можем вдохновляться образом, почувствовать сопричастность легенде (умнейшая личность, упорно поднимался с самых низов, благодаря упорству, вере в себя, творчеству, таланту, доле авантюризма). Несмотря на то, что самого Джобса уже нет, образ марки, носящий отпечаток его личности, живёт. Конечно же, бренд – это продукт работы множества людей, коллектива, а не только одного человека. Но, всё же, у любого

коллектива есть вдохновляющая личность, занимающая лидирующую позицию (или таких личностей несколько), есть коллективный дух, есть коллективный разум и коллективный почерк. И это тоже делает марку брендовой, уникальной, неповторимой [15–20]. Да, можно выпустить качественную подделку. Что, собственно, и делают во всём мире. Но, тут кроется ловушка. Одно дело, если покупатели осознанно покупают недорогую подделку, и совсем иное, когда покупатели приобретают подделку, думая, что покупают брендовый продукт. Когда этот нюанс выходит на поверхность, покупатели чувствуют себя обманутыми. А покупатели не должны чувствовать себя обманутыми, иначе второй раз они товар не приобретут, более того, могут испортить репутацию бренда, осветив этот случай скандальными постами в социальных сетях [10].

Поскольку бренд – это популярная и признанная потребителями торговая марка, которая в результате реализации маркетинговых мероприятий получает обратную связь в виде положительных эмоций потребителей и их устойчивого желания обладать продуктами данной торговой марки, то приобретая брендовый продукт, психологически повышают свой статус за счёт высокого статуса бренда [7].

Бренд преподносит свою историю потребительской аудитории так, словно это история каждой из нас. Создатели легенды заставляют нас мечтать, позволяя хотя бы ненадолго стать теми, кем мы хотели бы быть (но не стали), мысленно вернуться в определённые временные промежутки (в молодость, например), примерить на себя «образ желаемого» (вместо «образа действительного») или ощутить пряный аромат путешествий, дуновение загадочных стран, в которых мы никогда не были и, возможно, никогда не побываем [8]. Хотя бы на секундочку вообразить себя молодыми, успешными, свободными, умными и весёлыми, красивыми и стройными. Кто-то сочинил нам мечту. И мы очень её хотим увидеть, услышать и прикоснуться. Хотя бы в виде красивой легенды. Но не просто легенды. Легенда нематериальна. А вот брендовая вещь вполне. Её можно не только увидеть, но и потрогать, и даже купить. А потом примерить на себя, ощутить вкус, цвет, запах, т. е. войти внутрь этого образа мечты. И испытать волну забытых или новых, ещё доселе не испытанных эмоций.

Создатели бренда заставляют нас почувствовать сильные эмоции. Предвкушение покупки и обладания товаром с заветной биркой, радость от чувства превосходства, ведь теперь «ваше пальто белее, чем у соседки». У бренда есть цвет, вкус, запах и заветное слово – имя бренда, которые будоражат потребительское воображение задолго до совершения покупки. Таким образом, потребители платят немалые деньги не столько за саму вещь, сколько за багаж ощущений «прицепленный» к этой вещи. Следовательно, позитивные эмоции можно купить вместе с брендовой вещью.

Бренды создают личные, почти интимные, отношения с потребителями, таким образом, что у личности возникает ощущение, что эта вещь создана именно для неё (и только для неё!). Таким образом бренд начинает притягивать к себе личность, тонко подталкивая к совершению покупки для самовыражения.

Описанные особенности имеют циклическую зависимость с системой психоэмоционального воздействия на потребителей. С одной стороны, марка становится брендовой благодаря сигнальным маркерам, встраиваемым в комплекс маркетингового стимулирования, которые ловят внимание и притягивают потребителей, подталкивая к совершению покупки. С другой стороны, став брендовой, марка начинает автоматически вызывать обратный отклик у потребительской аудитории в виде желания обладать брендовым продуктом.

Литература

1 Бурыкин Е.С. Алгоритм использования конкурентных преимуществ продукта в рекламных коммуникациях // Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2019. № 2 (29). С. 94–100.

2 Acquaah M. Management control systems, business strategy and performance: A comparative analysis of family and non-family businesses in a transition economy in sub-Saharan Africa // Journal of Family Business Strategy. 2013. V. 4. №. 2. P. 131-146. doi: 10.1016/j.jfbs.2013.03.002

3 Ganter A., Hecker A. Configurational paths to organizational innovation: qualitative comparative analyses of antecedents and contingencies // Journal of Business Research. 2014. V. 67. №. 6. P. 1285-1292. doi: 10.1016/j.jbusres.2013.03.004

4 Теняева О.В. Половые различия проявления эмоционального интеллекта в профессиональной деятельности современных руководителей // Прикладная юридическая психология. 2020. № 2 (51). С. 101–106.

5 Теняева О.В., Шурикова Т.И. Подходы к пониманию феномена эмоционального интеллекта в зарубежной и отечественной психологии // Педагогика и психология как ресурс развития современного общества: материалы X Международной научно-практической конференции (4–6 октября 2018 г.). Рязань: «Концепция». С. 311–314.

6 Maslow A.H., Frager R.D., Fadiman J. Motivation and Personality. 1997. 336 p.

7 Arkin R.M. Self-presentation // The self in social psychology. 1980. P. 158–182.
8 Boyett J., Boyett J. The Guru Guide to Marketing: A Concise Guide to the Best Ideas from Today's Top Marketers. Wiley, 2002. 252 p.
9 Jung K. Two Essays on Analytical Psychology (revised, 2nd ed.), Collected Works Vol. 7. London: Routledge, 1966.
10 D'Alessandro D. Career Warfare: 10 Rules for Building a Successful Personal Brand and Fighting to Keep it. McGraw-Hill Education, 2002. 240 p.
11 Young K. Handbook of social psychology. Routledge, 2016.
12 Hammack P. L. The Oxford handbook of social psychology and social justice. Oxford University Press, 2018.
13 Knapp D. The Brand Promise: How Ketel One, Costco, Make-A-Wish, Tourism Vancouver, and Other Leading Brands Make and Keep the Promise That Guarantees Success. McGraw-Hill Education, 2008. 288 p.
14 Paulhus D.L. Graf P., Van Selst M. Attentional load increases the possibility of self-presentation // Social cognition. 1989. V. 7. P. 389–400.
15 Tedeschi J.T., Riess M. Identities, the phenomenal self, and laboratory research // Impression management theory and social psychological research. 1981. V. 3. P. 22.
16 Batra R., Ahuvia A., Bagozzi R. P. Brand love // Journal of marketing. 2012. V. 76. №. 2. P. 1-16. doi: 10.1509/jm.09.0339
17 Arvidsson A., Caliandro A. Brand public // Journal of Consumer Research. 2016. V. 42. №. 5. P. 727-748. doi: 10.1093/jcr/ucv053
18 Maurya U.K., Mishra P. What is a brand? A Perspective on Brand Meaning // European Journal of Business and Management. 2012. V. 4. №. 3. P. 122-133.
19 Becerra E.P., Badrinarayanan V. The influence of brand trust and brand identification on brand evangelism // Journal of Product & Brand Management. 2013.
20 Elliott R.H., Rosenbaum-Elliott R., Percy L., Pervan S. Strategic brand management. Oxford University Press, USA, 2015.

References

1 Burykin E.S. Algorithm for using the competitive advantages of a product in advertising communications. Vestnik Moskovskogo universiteta im. S.Yu. Witte. Series 1: Economics and Management. 2019. no. 2 (29). pp. 94-100. (in Russian).
2 Acquaah M. Management control systems, business strategy and performance: A comparative analysis of family and non-family businesses in a transition economy in sub-Saharan Africa. Journal of Family Business Strategy. 2013. vol. 4. no. 2. pp. 131-146. doi: 10.1016/j.jfbs.2013.03.002
3 Ganter A., Hecker A. Configurational paths to organizational innovation: qualitative comparative analyses of antecedents and contingencies. Journal of Business Research. 2014. vol. 67. no. 6. pp. 1285-1292. doi: 10.1016/j.jbusres.2013.03.004
4 Tenyaeva O.V. Sex differences in the manifestation of emotional intelligence in the professional activities of modern leaders. Applied legal psychology. 2020. no. 2 (51). pp. 101-106. (in Russian).
5 Tenyaeva O.V., Shurikova T.I. Approaches to understanding the phenomenon of emotional intelligence in foreign and domestic psychology. Pedagogy and psychology as a resource for the development of modern society: materials of the X International Scientific and Practical Conference (October 4-6, 2018). Ryazan, "Concept". pp. 311-314. (in Russian).
6 Maslow A.H., Frager R.D., Fadiman J. Motivation and Personality. 1997. 336 p.
7 Arkin R.M. Self-presentation. The self in social psychology. 1980. pp. 158–182.
8 Boyett J., Boyett J. The Guru Guide to Marketing: A Concise Guide to the Best Ideas from Today's Top Marketers. Wiley, 2002. 252 p.
9 Jung K. Two Essays on Analytical Psychology (revised, 2nd ed.), Collected Works Vol. 7. London: Routledge, 1966.
10 D'Alessandro D. Career Warfare: 10 Rules for Building a Successful Personal Brand and Fighting to Keep it. McGraw-Hill Education, 2002. 240 p.
11 Young K. Handbook of social psychology. Routledge, 2016.
12 Hammack P. L. The Oxford handbook of social psychology and social justice. Oxford University Press, 2018.
13 Knapp D. The Brand Promise: How Ketel One, Costco, Make-A-Wish, Tourism Vancouver, and Other Leading Brands Make and Keep the Promise That Guarantees Success. McGraw-Hill Education, 2008. 288 p.
14 Paulhus D.L. Graf P., Van Selst M. Attentional load increases the possibility of self-presentation. Social cognition. 1989. vol. 7. pp. 389–400.
15 Tedeschi J.T., Riess M. Identities, the phenomenal self, and laboratory research. Impression management theory and social psychological research. 1981. vol. 3. pp. 22.
16 Batra R., Ahuvia A., Bagozzi R. P. Brand love. Journal of marketing. 2012. vol. 76. no. 2. pp. 1-16. doi: 10.1509/jm.09.0339
17 Arvidsson A., Caliandro A. Brand public. Journal of Consumer Research. 2016. vol. 42. no. 5. pp. 727-748. doi: 10.1093/jcr/ucv053
18 Maurya U.K., Mishra P. What is a brand? A Perspective on Brand Meaning. European Journal of Business and Management. 2012. vol. 4. no. 3. pp. 122-133.
19 Becerra E.P., Badrinarayanan V. The influence of brand trust and brand identification on brand evangelism. Journal of Product & Brand Management. 2013.
20 Elliott R.H., Rosenbaum-Elliott R., Percy L., Pervan S. Strategic brand management. Oxford University Press, USA, 2015.

Сведения об авторах

Юлия Б. Кострова к.э.н., зав. кафедрой, кафедра бизнеса и управления, Московский университет имени С.Ю. Витте (филиал в г. Рязань), Первомайский проспект, 62, г. Рязань, Россия, ubkostr@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5693-2267

Юлия О. Лящук к.т.н., доцент, кафедра бизнеса и управления, Московский университет имени С.Ю. Витте (филиал в г. Рязань), Первомайский проспект, 62, г. Рязань, Россия, ularzn@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3612-1707

Людмила В.Черкашина к.э.н., доцент, кафедра бизнеса и управления, Московский университет имени С.Ю. Витте (филиал в г. Рязань), Первомайский проспект, 62, г. Рязань, Россия, milasergey2000@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-1134-5536

Ольга Ю. Шибаршина к.с.н., зам. зав. кафедрой, кафедра бизнеса и управления, Московский университет имени С.Ю. Витте (филиал в г. Рязань), Первомайский проспект, 62, г. Рязань, Россия, oshibarshina@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8843-9661

Information about authors

Yuliya B. Kostrova Cand. Sci. (Econ.), head of department, business and management department, Moscow University named after S.Y. Witte (Ryazan branch), Pervomaisky avenue, 62, Ryazan, Russia, ubkostr@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5693-2267

Yuliya O. Lyashchuk Cand. Sci. (Engin.), associate professor, business and management department, Moscow University named after S.Y. Witte (Ryazan branch), Pervomaisky avenue, 62, Ryazan, Russia, ularzn@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3612-1707

Lyudmila V. Cherkashina Cand. Sci. (Econ.), associate professor, business and management department, Moscow University named after S.Y. Witte (Ryazan branch), Pervomaisky avenue, 62, Ryazan, Russia, milasergey2000@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-1134-5536

Olga Yu. Shibarshina Cand. Sci. (Soc.), business and management department, Moscow University named after S.Y. Witte (Ryazan branch), Pervomaisky avenue, 62, Ryazan, Russia, oshibarshina@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8843-9661

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 29/01/2021	**После редакции** 15/02/2021	**Принята в печать** 02/03/2021

Received 29/01/2021	**Accepted in revised** 15/02/2021	**Accepted** 02/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-394-409 Оригинальная статья/Research article

УДК 303 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Разработка организационно управленческих и экономических решений в управлении операционной деятельности организации с использованием метода функционально стоимостного анализа

Ирина Е. Устюгова [1] ystugova@ya.ru 0000-0002-8832-4610

Юлия Н. Воронцова [1] voronzova904214@ya.ru 0000-0002-6268-7579

Андрей О. Кривенда [1] alopon221@gmail.com 0000-0002-3858-0683

Валерий В. Черников [1] chernikoff13@yandex.ru 0000-0002-3279-5747

Мирон А. Карпович [2] tb.gerolskih@cds.vrn.ru 0000-0002-5690-8400

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

2 Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия

Аннотация. Тенденции мировой экономики требуют пересмотра актуальных подходов к управлению ресурсосбережением, применения новых методов совершенствования эффективности деятельности социально-экономических систем, комплексного организационного проектирования. Раскрыты цель, задачи и принципы функционально-стоимостного анализа. Показаны его место и значение в системе управления производством и для совершенствования экономических расчетов. Уделено внимание разработке методических и руководящих материалов по организации и проведению функционально-стоимостного анализа. Сделана попытка показать его широкие возможности в качестве инструмента совершенствования управления предприятием. Разработаны рекомендации прикладного характера, которыми специалисты могли бы воспользоваться в практической работе при внедрении функционально-стоимостного анализа. Метод ФСА реализуется в различных отраслях производства независимо от их особенностей: промышленность, сельское хозяйство, транспорт, торговля, сервис, туризм, а также на различных стадиях производства согласно технологическому процессу. В статье были поставлены и решены задачи: рассмотрены теоретические аспекты разработки управленческих решений на основе результатов анализа функциональных стратегий компании с использованием метода функционально стоимостного анализа; раскрыто понятие и приведена классификация методов разработки и принятия управленческих решений; выявлена сущность, назначение, особенности, применения метода функционально стоимостного анализа; организационные и методические аспекты применения метода функционально стоимостного анализа; проведена разработка и представлен порядок выбора управленческих решений из альтернативных вариантов в управлении операционной (производственной) деятельности МУП «Школьный Комбинат». Разработка управленческого решения – один из наиболее важных управленческих процессов, от эффективности которого в значительной степени зависит успех всей организации. Профессиональный менеджер должен владеть современными технологиями выработки, принятия, реализации управленческих решений, без которых эффективное управление организацией в сложной экономической обстановке практически невозможно

Ключевые слова: экономические решения, организационные решения, управленческие решения, метод функционального стоимостного анализа

Development of organizational management and economic solutions in the management of the organization's operational activities using the method of functional cost analysis

Irina E. Ustyugova [1] ystugova@ya.ru 0000-0002-8832-4610

Julia N. Vorontsova [1] voronzova904214@ya.ru 0000-0002-6268-7579

Andrey O. Krivenda [1] alopon221@gmail.com 0000-0002-3858-0683

Valery V. Chernikov [1] chernikoff13@yandex.ru 0000-0002-3279-5747

Miron A. Karpovich [2] tb.gerolskih@cds.vrn.ru 0000-0002-5690-8400

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

2 Voronezh State Technical University, 84, 20th Anniversary of October St., Voronezh, 394006, Russia

Abstract. Trends in the global economy require a revision of current approaches to resource conservation management, the use of new methods to improve the efficiency of socio-economic systems, and integrated organizational design. The purpose, objectives and principles of functional cost analysis are disclosed. Its place and importance in the production management system and for improving economic calculations are shown. Attention is paid to the development of methodological and guidance materials for the organization and conduct of functional and cost analysis. An attempt is made to show its broad capabilities as a tool for improving enterprise management. Recommendations of an applied nature were developed, which specialists could use in practical work when implementing functional and cost analysis. The FSA method is implemented in various industries, regardless of their characteristics: industry, agriculture, transport, trade, service, tourism, as well as at various stages of production according to the technological process. The article sets and solves the following tasks: the theoretical aspects of the development of management decisions based on the results of the analysis of the company's functional strategies using the functional cost analysis method are considered; the concept and classification of methods of developing and making management decisions are revealed; the essence, purpose, features, application of the functional cost analysis method are revealed; organizational and methodological aspects of the application of the functional cost analysis method are revealed.; The author develops and presents the procedure for selecting management decisions from alternative options in the management of operational (production) activities of the Municipal Unitary Enterprise Shkolny Kombinat. The development of a management solution is one of the most important management processes, on the effectiveness of which the success of the entire organization largely depends. A professional manager must possess modern technologies for the development, adoption, and implementation of management decisions, without which effective management of an organization in a difficult economic environment is almost impossible

Keywords: economic decisions, organizational decisions, management decisions, the method of functional cost analysis

Для цитирования

Устюгова И.Е., Воронцова Ю.Н., Кривенда А.О., Черников В.В., Карпович М.А. Разработка организационно управленческих и экономических решений в управлении операционной деятельности организации с использованием метода функционально стоимостного анализа // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 394–409. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-394-409

For citation

Ustyugova I.E., Vorontsova Ju.N., Krivenda A.O., Chernikov V.V., Karpovich M.A. Development of organizational management and economic solutions in the management of the organization's operational activities using the method of functional cost analysis. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 394–409. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-394-409

© 2021, Устюгова И.Е. и др./ Ustjugova I.E. et al.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Разработка управленческого решения – один из наиболее важных управленческих процессов. От его эффективности в значительной степени зависит успех деятельности организации. Профессиональный менеджер должен владеть современными технологиями выработки, принятия, реализации управленческих решений, без которых эффективное управление организацией в сложной экономической обстановке практически невозможно.

Знаменитый американский ученый, основатель ФСА Л.Д. Майлс в своих трудах описал разработанную методику, получившую название «стоимостной анализ» (value analysis). Он определил предложенный им метод снижения издержек производства как «прикладная философия». Согласно Л. Майлсу «анализ стоимости… – это организованный творческий подход, цель которого заключается в эффективной идентификации непроизводительных затрат или издержек, которые не обеспечивают ни качества, ни полезности, ни долговечности, ни внешнего вида, ни других требований заказчика».

С точки зрения методологии ФСА представляет собой высокоэффективный метод оптимизации производства в широком смысле слова. Метод ФСА применим на следующих стадиях:

- научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) – предупреждение возникновения излишних затрат при обязательном соблюдении параметров, обеспечивающих реализацию функционального назначения объекта;
- производства и применения (эксплуатации) объекта – сокращение (исключение) неоправданных затрат и потерь при сохранении или улучшении потребительских свойств объекта;
- утилизации – определение варианта рационального использования остаточных потребительских свойств объекта или на минимизацию затрат на его утилизацию.

Метод ФСА реализуется в различных отраслях производства независимо от их особенностей: промышленности, сельском хозяйстве, транспорте, торговле, сервисе, туризме, а также на различных стадиях производства согласно технологическому процессу.

В процессе подготовки статьи были рассмотрены и решены задачи:

- рассмотрены теоретические аспекты разработки управленческих решений на основе результатов анализа функциональных стратегий компании с использованием метода функционально стоимостного анализа;
- в том числе раскрыто понятие и дана классификация методов разработки и принятия управленческих решений;
- выявлены сущность, назначение и особенности применения метода функционально стоимостного анализа;
- представлены организационные и методические аспекты применения метода функционально стоимостного анализа;
- проведена разработка и осуществлен выбор управленческих решений из альтернативных вариантов в управлении операционной (производственной) деятельности МУП РК «Школьный Комбинат».

Обсуждение

Понятие и классификация методов разработки и принятия управленческих решений

Управленческое решение – это результат анализа, прогнозирования, оптимизации, экономического обоснования и выбора альтернативы из множества вариантов достижения конкретной цели системы менеджмента.

Импульсом управленческого решения является необходимость ликвидации, уменьшения актуальности или решения проблемы, то есть приближение в будущем действительных параметров объекта (явления) к желаемым, прогнозным. Комплексные проблемы следует формализовывать, то есть количественно определять разницу между фактическим и желаемым состояниями объекта по его параметрам, а также выполнить структуризацию проблемы путем построения для ее решения дерева целей. Поскольку ресурсы для решения проблемы ограничены, следует ранжировать (определять важность, весомость, ранг) проблемы по их актуальности, масштабности, степени риска.

Основными факторами, оказывающими влияние на качество управленческого решения, являются: применение к системе менеджмента научных подходов и принципов, методов моделирования, автоматизация управления, мотивация качественного решения и др. Обычно в принятии любого решения присутствуют в различной степени три момента: интуиция, суждение и рациональность.

При принятии чисто интуитивного решения люди основываются на собственном ощущении того, что их выбор правилен. Здесь присутствует «шестое чувство», своего рода озарение, посещаемое, как правило, представителей высшего эшелона власти. Менеджеры среднего звена больше полагаются на получаемую информацию и помощь ЭВМ. Несмотря на то,

что интуиция обостряется вместе с приобретением опыта, продолжением которого как раз и является высокая должность, менеджер, ориентирующийся только на нее, становится заложником случайности, и с точки зрения статистики шансы его на правильный выбор не очень высоки.

Решения, основанные на суждении, во многом сходны с интуитивными, вероятно, потому, что на первый взгляд их логика слабо просматривается. Но все же в их основе лежат знания и осмысленный, в отличие от предыдущего случая, опыт прошлого. Используя их и опираясь на здравый смысл, с поправкой на сегодняшний день, выбирается тот вариант, который принес наибольший успех в аналогичной ситуации в прежнее время. Однако здравый смысл у людей встречается редко, поэтому данный способ принятия решений тоже не очень надежен, хотя подкупает своей быстротой и дешевизной.

Другой недостаток в том, что суждение невозможно соотнести с ситуацией, которая прежде не имела места, и поэтому опыта ее решения просто нет. Кроме того, руководитель при таком подходе стремится действовать преимущественно в тех направлениях, которые ему хорошо знакомы, в результате чего рискует упустить хороший результат в другой области, сознательно или бессознательно отказываясь от вторжения в нее.

Поскольку решения принимаются людьми, то их характер во многом несет на себе отпечаток личности менеджера, причастного к их появлению на свет. В связи с этим принято различать уравновешенные, импульсивные, инертные, рискованные и осторожные решения.

Уравновешенные решения принимают менеджеры, внимательно и критически относящиеся к своим действиям, выдвигаемым гипотезам и их проверке. Обычно, прежде чем приступить к принятию решения, они имеют сформулированную исходную идею.

Импульсивные решения, авторы которых легко генерируют самые разнообразные идеи в неограниченном количестве, но не в состоянии их как следует проверить, уточнить, оценить. Решения поэтому оказываются недостаточно обоснованными и надежными, принимаются «с наскока», «рывками».

Инертные решения становятся результатом осторожного поиска. В них, наоборот, контрольные и уточняющие действия преобладают над генерированием идей, поэтому в таких решениях трудно обнаружить оригинальность, блеск, новаторство.

Рискованные решения отличаются от импульсивных тем, что их авторы не нуждаются в тщательном обосновании своих гипотез и, если уверены в себе, могут не испугаться любых опасностей.

Осторожные решения характеризуются тщательностью оценки менеджером всех вариантов, сверхкритичным подходом к делу. Они в еще меньшей степени, чем инертные, отличаются новизной и оригинальностью.

Перечисленные виды решений принимаются, в основном, в процессе оперативного управления персоналом. Для стратегического и тактического управления любой подсистемы системы менеджмента принимаются рациональные решения, основанные на методах экономического анализа, обоснования и оптимизации.

Основные организационные причины некачественных решений следующие:

- значительный объем принимаемых решений, что не позволяет каждое из них тщательно разрабатывать и обосновывать;
- несогласованность вновь принимаемых решений с ранее принятыми, что вызывает дублирование, рассогласование действий и конфликтность;
- трансформация цели решения в процессе его движения по уровням управления, что приводит к расхождению интересов, несогласованности во времени, неопределенности процесса;
- принятие «псевдорешений», т. е. решений, не носящих конкретного содержания, расплывчатых, отражающих только общую установку: обратить внимание, повысить, принять необходимые меры; таких решений в практике управления до 10%, и они приводят к снижению качества управления;
- недостаточное информационное обеспечение принятия решений и учета действия огромного числа факторов внутренней и внешней среды организации, следствием чего является получение слабых решений, реализация которых не снимает сути проблемы.

Руководитель, принимающий управленческие решения, должен ориентироваться в главных организационных предпосылках, которые могут помочь ему повысить качество решений, тем самым способствовать повышению эффективности управления в целом.

Существуют некоторые общие психологические условия принятия качественных решений.

Прежде всего считается необходимым до объявления решения создать благоприятную психологическую обстановку, чтобы вызвать у подчиненных положительные эмоции, без оппозиции руководителю, без нагонения страха.

Обоснованность принятого решения не должна вызывать сомнения у исполнителей, они должны ясно понимать, почему нужно сделать именно так, насколько это соответствует их интересам. Второе условие – нельзя ставить исполнителей в ограниченные временные рамки, так как чем больше времени отводит себе руководитель на подготовку и принятие решения, тем меньше времени остается на его исполнение. Содержание решений может не соответствовать ожиданиям исполнителей, в этом случае различают три психологических варианта решений: запрещающие, разрешающие, конструктивные. Наиболее сложная психологическая ситуация создается при запрещающих решениях, неожиданных и неприятных для исполнителя, поэтому форма их подачи должна быть тщательно продумана, и они должны чередоваться с разрешающими. Разрешающее решение положительная реакция руководителя на инициативное предложение исполнителя.

Не менее важная психологическая предпосылка состоит в умении руководителя соизмерять свои способности и способности своего коллектива, поэтому психологи различают руководителей:

- с завышенной неадекватной самооценкой, переоценкой сил и средств, принимающих решения, непосильные для себя и подчиненных;
- заниженной неадекватной самооценкой, излишне осторожных, принимающих решения гораздо ниже своих реальных возможностей и возможностей исполнителей;
- с адекватно высокой самооценкой, принимающих качественные решения, точно соответствующие возможностям;
- с адекватно низкой самооценкой, действительно понимающего свои ограниченные возможности и принимающих соответственнующие этому решения.

Обеспечение высокого качества управленческих решений проблема комплексная. Ее разрешение зависит от соблюдения множества условий и учета организационных и психологических предпосылок. Наряду с соблюдением технологии разработки и реализации решений важен опыт руководителя и его управленческие способности.

При оценке эффективности управленческих решений необходимо обеспечить синтез экономических и социальных аспектов управления. В соответствии с этим должна разрабатываться и система критериев оценки эффективности.

В качестве критериев эффективности могут быть использованы такие показатели, как прирост прибыли, объемов производства и реализации продукции, изменение сроков окупаемости капиталовложений, повышение оборачиваемости оборотных средств, прирост экономической рентабельности, сокращение затрат на содержание управленческого аппарата и т. д.

В конечном итоге, почти все они приводят к увеличению прибыли предприятия.

Количественные изменения, полученные в результате реализации управленческого решения, называют экономическим эффектом.

В качестве базы при определении экономического эффекта принимаются запланированные значения показателей финансово-хозяйственной деятельности на действующем предприятии или аналогичных предприятий для вновь создаваемых фирм.

Всеми признается, что процесс оценки эффективности управленческих решений не является самоцелью, а выступает в качестве рычага для использования резервов повышения эффективности общественного производства. Оценка эффективности управленческого решения выступает мерой целесообразности изменений в системе управления предприятием, фирмой и, в конечном счете, должны определять характер и содержание конкретных изменений в деятельности предприятия, организации.

Экономическая оценка эффективности управленческого решения не может рассматриваться в отрыве от оценки эффективности производства. Но прямое использование оценки эффективности производства может оказаться нечувствительным к изменениям в управлении. Поэтому необходимо искать более конкретные, узкие показатели эффективности самого управления.

Принципы оценки эффективности разработки управленческого решения.

Целесообразно выделить некоторые принципы оценки управленческих решений. К ним относятся:

1) комплексность оценки эффективности управленческих решений;

2) объективность оценки управленческих решений;

3) обязательность оценки эффективности управленческих решений;

4) соответствие метода оценки характеру объекта управления;

5) сопоставимость показателей оценки различных управленческих решений;

6) учет индивидуальных особенностей предприятия, управленческой ситуации при построении модели оценки эффективности управленческого решения.

Анализ проблемы оценки экономической эффективности управленческих решений позволяет выделить следующие элементы содержания оценок эффективности:

1) критерии (как меры целей) экономической оценки эффективности;

2) эффекты как описания последствий, полученных в результате реализации управленческих решений.

В зависимости от характера, содержания и меры выражения изменений в деятельности предприятия подбирается тот или иной метод оценки эффективности управленческого решения.

1. С точки зрения роли методов в процессе оценки они подразделяются на:

1) методы учета связи социальных и политических факторов с оценкой экономической эффективности;

2) методы выбора критериев оценки эффективности управленческих решений;

3) методы выбора эффектов реализации управленческих решений;

4) методы определения значений критериев;

5) методы расчета эффектов.

2. По характеру выполняемых работ методы оценки можно разделить на:

1) методы выбора и идентификации в процессе выработки оценки эффективности;

2) методы расчета в процессе выполнения оценки;

3) методы описаний в процессе оценки.

С точки зрения роли человека в процессе оценки методы подразделяются на формальные и неформальные.

По точности достигаемых в процессе оценки результатов различают точные и приближенные методы.

Сточки зрения затрат выделяют методы, требующие значительных затрат времени специалистов, сложной вычислительной техники и финансовых ресурсов, и методы, не требующие значительных затрат.

По возможности реализации методы можно разделить на сложные и простые.

Сущность, назначение и особенности применения метода функционально стоимостного анализа

Знаменитый американский ученый, основатель ФСА Л.Д. Майлс в своих трудах описал разработанную методику, получившую название «стоимостной анализ» (value analysis). Он определил предложенный им метод снижения издержек производства как «прикладная философия». Согласно Л. Майлсу «анализ стоимости… – это организованный творческий подход, цель которого заключается в эффективной идентификации непроизводительных затрат или издержек, которые не обеспечивают ни качества, ни полезности, ни долговечности, ни внешнего вида, ни других требований заказчика».

С точки зрения методологии ФСА представляет собой высокоэффективный метод оптимизации производства в широком смысле слова. Метод ФСА применим на следующих стадиях:

- научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) предупреждение возникновения излишних затрат при обязательном соблюдении параметров, обеспечивающих реализацию функционального назначения объекта;
- производства и применения (эксплуатации) объекта – сокращение (исключение) неоправданных затрат и потерь при сохранении или улучшении потребительских свойств объекта;
- утилизации – определение варианта рационального использования остаточных потребительских свойств объекта или на минимизацию затрат на его утилизацию.

Метод ФСА реализуется в различных отраслях производства независимо от их особенностей: промышленности, сельском хозяйстве, транспорте, торговле, сервисе, туризме, а также на различных стадиях производства согласно технологическому процессу.

В наибольшей степени метод ФСА используется при анализе функций управления. Данный метод актуален в современных рыночных условиях хозяйствования. Сущность функционального подхода заключается в рассмотрении объекта не в его конкретной форме, а как совокупности функций, которые он должен выполнить.

Сегодня потребителя предметов труда, услуг интересует снижение затрат на единицу полезного эффекта: сокращение затрат при одновременном повышении потребительских свойств; повышение качества при сохранении или уменьшении уровня затрат; уменьшение затрат при сохранении уровня качества, сокращение затрат при обоснованном снижении технических, организационных, управленческих параметров до их функционально необходимого уровня.

К наиболее важной задаче ФСА относится изучение функций менеджмента.

Менеджмент – эффективное и производственное достижение целей организации посредством планирования, организации, лидерства (руководства) и контроля над организационными ресурсами.

Функции менеджмента:

- планирование – выбор целей и определение путей их достижения; контроль – наблюдение за предпринимаемыми действиями и внешние коррективы;

- организация – распределение ответственности за выполнение рабочих задач; лидерство (руководство) – использование влияния для мотивации работников.
- управлять – значит вести предприятие к осуществлению цели, используя как минимум три его составляющие: персонал, ресурсы, организационные процессы.

Определяя менеджмент как «…систему текущего и перспективного планирования, прогнозирования и организации производства, реализации продукции и услуг в целях получения прибыли», сферу применения методологии ФСА в управлении можно представить следующими направлениями:

- организационные структуры управления (закрепление функций за подразделениями и отдельными работниками, совершенствование их выполнения);
- собственно процесс принятия управленческого решения руководителем (анализ элементов управленческого цикла: планирования, организации, мотивации, контроля);
- информационные потоки (документооборот) как отражение технологии выполнения управленческих функций;
- методики (инструкции) по выполнению тех или иных работ как отражение технологии их проведения;
- документы (например, договоры) как носители информации;
- программное обеспечение управленческих задач (в этом случае прикладные компьютерные программы выступают как объект ФСА).

Учитывая, что сегодня основными задачами менеджмента являются формирование рынка, фирмы, системы управления, а также тот факт, что в наследство от социалистической системы хозяйствования предприятиям досталась негибкая с точки зрения оперативности и эффективности принятия решений организационная структура, которая практически непригодна для новых рыночных условий, становится ясно, что на настоящем этапе вопросы оптимизации структуры управления принимают первоочередное значение.

Под организационной структурой понимается состав, взаимосвязи и соподчиненность организационных единиц или звеньев, выполняющих функции управления: прогнозирование, планирование, координацию, регулирование, учет и контроль.

Структура должна обеспечить порядок расположения элементов аппарата управления и зависит от программных и внутренних целей фирмы, взаимоотношений с внешней средой.

Организационные и методические аспекты применения функционально стоимостного анализа

Попытаемся, используя методологию ФСА, разработать обоснованные предложения по оптимальной структуре управления предприятий малого бизнеса в сфере производства.

Что для компании является источником прибыли: определенные виды деятельности, продукты, клиенты, брэнды или каналы сбыта? Ответ на этот вопрос дает сопоставление доходов и расходов. Но если рассчитать доход по источнику прибыли обычно не составляет труда, то расчет себестоимости – гораздо более сложная задача. Одно из ее решений – применение функционально стоимостного анализа (ФСА). Проблема расчета себестоимости Задайтесь вопросом, существует ли в вашей компании необходимость знания себестоимости и структуры затрат? Если ответ «нет», то расчет себестоимости пригодится исключительно для составления отчетности и разговор не имеет смысла. Если ответ «да», то справедливо утверждать, что определение себестоимости в компании является важным аспектом анализа рентабельности продукции, точки безубыточности, динамики, структуры и источников затрат. Если информация о себестоимости и структуре является важной, то необходимо задуматься над вопросом: «Существует ли уверенность в том, что рассчитанная себестоимость отражает реальное положение вещей?» Обычно компании используют традиционные системы расчета себестоимости и распределения затрат. Эти системы имеют ряд ограничений и недостатков при распределении затрат и используют допущения, приводящие к искажению результатов расчетов. Причина искажения – некорректное распределение накладных расходов, которые невозможно напрямую отнести на продукты, услуги или клиентов, а их доля постоянно растет с увеличением масштабов бизнеса. Полученная себестоимость может оказаться недостоверной и неприемлемой для выработки и принятия решений. Очевидная зависимость: чем больше доля накладных расходов в деятельности компании, тем более искаженными получаются результаты распределения затрат. В отличие от традиционных систем калькуляции себестоимости и распределения затрат методика функционально стоимостного анализа, или Activitybased costing, дает более корректную информацию о распределении затрат на основе процессного

подхода. Методика ФСА приобрела значительную популярность в западных компаниях. Этот подход отличается от традиционного учета затрат тем, что фокусируется на подсчете затрат процессов, которые необходимы для производства продукта или предоставления услуги, а не на группировке затрат по статьям калькуляции. ФСА предполагает, что затраты ресурсов вызваны деятельностью и что продукты создают спрос на виды деятельности. Перераспределение затрат на продукт или услугу производится путем определения носителей (драйверов) затрат для потребляемых ресурсов и процессов. Таким образом, использование ФСА позволяет решить проблему правильного распределения затрат и предоставляет: более точную и достоверную информацию о себестоимости продуктов / услуг / клиентов по сравнению с традиционными системами; детальную информацию о стоимости бизнес-процессов, в том числе в разрезе статей и источников затрат; информацию о производительности ресурсов, временных затратах на операции и загрузке мощностей ресурсов; возможность более точного планирования и бюджетирования, а также применения в EVA-анализе. Информация о себестоимости и структуре затрат, как правило, необходима аналитическим подразделением компании, топ менеджменту, менеджерам функциональных отделов и департаментов. Владея данной информацией, руководители и специалисты компании имеют надежную базу для принятия решений.

Например, для компаний банковского сектора – такие специфические решения, как минимальный размер кредита, срок кредитования, штрафы или ставка процента. Проблемы разработки несмотря на простоту концепции, применение ФСА на практике – довольно сложная задача. Система ФСА, решающая в компании задачу распределения затрат и включающая в себя методические, технические и организационные аспекты, является более всего чувствительной к заложенной в ней методике расчета. Поэтому необходимо уделять пристальное внимание проблемам ее разработки. Период анализа. Система ФСА должна давать аналитические результаты с заданной периодичностью. С одной стороны, чем больший период анализа будет выбран, тем больше будет выборка и меньше сезонные или трендовые колебания. Соответственно, будут получены более точные данные. Но необходимо учитывать ряд критериев, накладывающих ограничения на выбор большого периода.

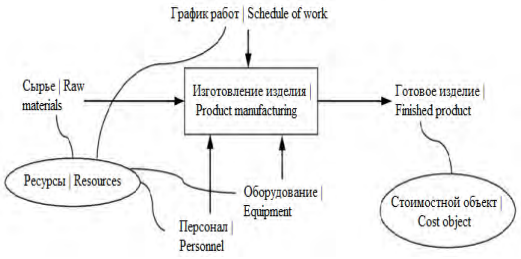


Рисунок 1. «ФСА – база для принятия решений»

Figure 1. FSA – the basis for decision-making

Например, бизнес-процессы за период могут существенно измениться, что приведет к необходимости разработки новой методики. Выбор короткого периода анализа позволяет получать более оперативную информацию о себестоимости. Данная возможность может быть существенно ограничена трудоемкостью сбора данных и проведения анализа. Также ограничения могут накладываться спецификой деятельности компании: в случае, если бизнес-процессы создания и реализации являются растянутыми или разрозненными во времени, на продукты / услуги будут распределены затраты прошлых периодов. Таким образом, при выборе периода анализа важно избегать крайностей, а также учитывать цели проведения ФСА, организационные и технические возможности разрабатываемой системы анализа.

В идеале методика расчета на базе ФСА должна включать все продукты и источники затрат (подразделения) компании. Практика показывает, что в этом случае затраты на проведение анализа могут быть неоправданно высокими и несопоставимыми с ценностью результатов. Комплексность системы расчета может быть достигнута при включении 80% наиболее важных продуктов.

Тем не менее расчет себестоимости на основе ФСА может быть проведен и для меньшего числа продуктов. Также важно определить организационный масштаб системы ФСА: какие подразделения, филиалы, представительства, дочерние компании или другие структурные единицы будут включены в анализ.

Например, часто бизнес-процессы по основной деятельности у филиалов не связаны с центральным подразделением и расходы являются несопоставимыми, что приводит к неточным результатам расчета общей себестоимости. Определение предмета расчета себестоимости. Необходимо четко понимать, что считается продуктом или услугой. От этого зависит определение начала и конца совокупности бизнес-процессов, через которые происходит распределение затрат.

Примером могут служить кредитные продукты банка. Выдача кредита происходит единовременно, а его последующее обслуживание – в течение периода действия кредита и представляет собой циклический бизнес-процесс, не связанный с бизнес-процессом выдачи. Поэтому для каждого кредита имеет смысл рассчитывать два показателя: себестоимость организации нового кредита и себестоимость обслуживания кредита. Обычно организация нового кредита включает в себя бизнес-процессы привлечения клиентов, обработки заявки на кредит, кредитного анализа, заключение договора, открытие счетов и перечисление денежных средств.

Таким образом, возможно несколько вариантов определения «нового кредита». Например, его можно определить, как затраты подразделений, охватывающие процесс от поступления заявки на кредит до перечисления средств на счет. Данная трактовка подходит для большинства розничных кредитных продуктов.

Задачи ФСА могут решаться на разных уровнях детализации процессов. При его выборе важно понимать, с какой целью выполняется анализ, и стараться избегать крайностей. С одной стороны, слишком высокий уровень агрегации процессов не позволит получить достоверные данные о себестоимости и произвести стоимостной анализ процессов. С другой – чрезмерная детализация слишком затрат на и может стать препятствием для разработки методики – пока производится анализ одних бизнес-процессов, другие уже могут измениться.

Одним из решений данной проблемы является ограничение детализации процессами «первого» уровня, то есть минимально необходимым набором процессов (групп процессов) для перераспределения затрат с источников затрат на продукты. Например, если функции отдела специализированы только для одного продукта компании и все его затраты можно отнести на этот продукт, то нет необходимо анализировать его бизнес-процессы детально. Данный подход также позволяет сократить время и затраты на разработку методики;

ФСА распределяет затраты на основе носителей затрат, которые описывают, какое количество ресурса потребляет тот или иной процесс. Стандартная методика определяет значения носителей затрат человеческих ресурсов на основе данных хронометража (замеров времени) операций.

Хронометраж – самый точный и в то же время самый дорогостоящий и трудоемкий метод определения затрат ресурсов на операцию. Помимо этих недостатков он не позволяет определить временные затраты в случае, если процессам свойственна высокая динамика или ситуативность. Например, функции сотрудников отдела корпоративных продаж банка сложно поддаются структуризации: имеют место различные побочные операции, некоторые операции могут быть разорванными во времени. Это значительно осложняет анализ и систематизацию бизнес-процессов, а также расчет носителей затрат методом хронометража.

При разработке методики, наряду с хронометражем, возможно применение более простого подхода – «косвенного» метода определения временных затрат ресурсов на единицу продукта. «Косвенный» метод заключается в сборе относительных данных (например, процентов рабочего времени или экспертных оценок сложности) о трудозатратах в необходимом разрезе: на процесс, продукт, категорию клиентов и т. д. После этого производится расчет трудозатрат на единицу продукции путем применения показателей количества продуктов и фонда рабочего времени на полученные относительные величины. Для определения баз распределения затрат, данные о трудозатратах персонала, полученные таким образом, преобразуются в «условные» человеко-часы. Это количество затрачиваемых человеко-часов на выполнение той или иной операции при условии, что все сотрудники отдела и оборудование работают 100% своего рабочего времени. Использование «косвенного» метода требует меньших затрат времени и ресурсов для получения значений носителей затрат. С другой стороны, данный метод характеризуется низкой степенью детализации, возможной потерей точности результатов, а также невозможностью проводить анализ «узких мест» и эффективности использования ресурсов. Автоматизация ФСА Большой объем информации и сложная методика расчета делают ФСА весьма трудоемкой задачей. Поэтому выполнение анализа на систематической основе без автоматизации практически невозможно. В рамках автоматизации ФСА решаются две задачи:

Для решения задачи сбора данных необходимо разработать систему, которая позволяла бы производить систематический сбор данных для расчета носителей затрат, статистических и финансовых данных. Такая система должна предоставлять возможности: сбора данных через интерфейс ввода непосредственно на рабочих местах сотрудников; интеграции с учетными и аналитическими системами, системами Workflow, штатным расписанием; настройки простых автоматизированных расчетов для

проверки правильности введенных данных и их обработки (усреднения, суммирования). Для автоматизации задачи распределения затрат и расчета себестоимости лучше использовать специализированное программное обеспечение. Данное решение должно иметь собой удобный интерфейс, который упрощает работу с моделью ФСА, оперативно рассчитывает модель, делает расчеты более прозрачными, позволяет детально проследить затраты от ресурсов к продуктам / услугам и построить отчеты. В настоящее время на рынке программного обеспечения представлен ряд программных продуктов, предназначенных для проведения ФСА. Поддержка и изменение внутри компании всегда происходят изменения, которые будут оказывать прямое влияние на систему ФСА. Необходима ее постоянная актуализация в соответствии с произошедшими изменениями. Для управления изменениями необходимо создать Систему регламентов поддержки и изменения модели ФСА. Она должна содержать следующие компоненты: описательную документацию и инструкции, которые содержат описание Системы ФСА «как есть». К ним относятся: методика распределения затрат, описание модели ФСА, документация программного обеспечения и прочего специфического инструментария; определение владельцев процессов. Назначение владельцев процессов, разработка должностных инструкций и системы мотивации определяют ответственных за ту или иную часть системы ФСА. В случае организационных изменений владельцы процессов должны информировать специалистов, поддерживающих систему ФСА для проведения ими соответствующих изменений; перечень организационных изменений содержит описание организационных изменений, инициирующих изменения методики / модели. К данным изменениям относятся изменение организационной структуры, внутренних процессов и ассортимента продукции / услуг; принципы и основные правила изменения методики / модели.

Это регламенты процессов адаптации системы ФСА к организационным изменениям, предназначенные для специалистов, поддерживающих систему. Также разработанная модель ФСА может быть использована для принятия решений по проведению организационных изменений. То есть, смоделировав возможные организационные изменения (в составе продуктов, затрат подразделений, количества ресурсов, организационной структуры, трудозатрат на единицу продукта и т. д.) можно провести анализ их эффективности. Анализ может дать аргументы для решений о проведении организационных изменений в реальности.

Разработка организационно управленческих и экономических решений в управлении операционной деятельностью

Основным видом деятельности является деятельность предприятий общественного питания по прочим видам организации питания, всего зарегистрировано 77 видов деятельности по ОКВЭД.

Неотъемлемой частью государственной стратегии перехода к устойчивому развитию является развитие городских территорий, в основе которого лежит оптимизация взаимодействия таких элементов системы как население, местное самоуправление и производственно-хозяйственный комплекс города. Такое триединство заключает в себе успешную реализацию идей формирования эффективной муниципальной экономики, представляющую собой актуальную задачу для всех уровней управления. Понятие муниципальной экономики имеет широкий диапазон дефиниций, но при характеристике городского округа необходимо рассматривать как ее свойства, так и специфические особенности развития городского округа как социально-экономической системы. Само понятие «муниципальная экономика» может характеризоваться по-разному, поэтому в литературе существует несколько различных подходов:

- во-первых, данный термин иногда отождествляется с понятием «муниципальное хозяйство», представляющее собой комплекс определённых субъектов хозяйствования, которые находятся в собственности муниципалитета;
- во-вторых, отождествляется с понятием «местное хозяйство», которое включает в себя непосредственно муниципальное хозяйство, а также домохозяйства.

Однако с точки зрения муниципального управления под муниципальной экономикой будем понимать комплекс экономических ресурсов, которые направлены на удовлетворение определённых жизненных потребностей населения муниципального образования, а также отношений, касающихся их использования.

Наиболее существенными элементами в процессе функционирования муниципального образования являются деятельность органов местного самоуправления (ОМСУ) в сфере экономики, управление экономическими ресурсами, а также процессами на его территории. Вследствие этого, использование этих ресурсов даёт возможность муниципалитету осуществлять деятельность по оказанию услуг своему населению. В этом отношении, муниципальная экономика представляет собой уже экономику, связанную непосредственно со сферой муниципальных услуг.

К числу базовых услуг, осуществляемые муниципальными образованиями, можно отнести следующие: электро, тепло, газо и водоснабжение населения; эксплуатация канализаций и переработка сточных вод; вывоз и переработка твёрдо бытовых отходов; осуществление пассажирских перевозок общественным транспортом на городских и пригородных маршрутах; предоставления различных социальных услуг и т. д.

Все эти перечисленные услуги фактически называются «вопросами местного значения», которые регулируются действующим законодательством РФ, а именно главой 3 Федерального закона от 06.10.2003 № 131ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации». Организация МУП РК «Школьный Комбинат», адрес: Р. Крым., г. Феодосия, ул. Украинская, д. 21, зарегистрирована 06.01.2015.

Исходя из данных, приведенных в таблице 2, можем сделать вывод: выручка от реализации в 2018 г. составила 51782 тыс. руб., что на 5157 больше чем в 2017 г., себестоимость продаж увеличилась на 4057, в сравнении с предыдущим годом, так же видим увеличение прибыли от продаж на 650 тыс. руб., увеличение среднегодовой величины активов на 573 тыс. руб., что составило 104,58% по отношению к предыдущему году. Существенно уменьшение собственного капитала, на 2579 тыс. руб. из-за чего мы можем наблюдать уменьшение обеспеченности собственными оборотными средствами на 2872 тыс. руб., уменьшение коэффициента текущей ликвидности на -0,368 по сравнению в 2017 г. в котором он составил 0,975.

Коэффициент отражает способность компании погашать текущие (краткосрочные) обязательства за счёт только оборотных активов. Чем показатель больше, тем лучше платежеспособность предприятия. Принимая во внимание степень ликвидности активов, можно предположить, что не все активы можно реализовать в срочном порядке.

Таблица 1.

Анализ деятельности МУП «Школьный Комбинат» за 2017–2018 гг.

Table 1.

Analysis of the activities of the Municipal Unitary Enterprise "School Combine" for 2017–2018

Показатели | Indicators	Годы | Years	
	2017 г.	2018 г.
Объем реализованной продукции в действующих ценах, тыс. р. Volume of products sold in current prices, th RUB	46625	51782
Среднесписочная численность, чел. | Average number of employees, people	16	16
Себестоимость продукции, тыс. р. | Production cost, th. RUB	45006	49063
Управленческие расходы, тыс. р. | Management expenses, th. RUB	10207	8219
Коммерческие расходы, тыс. р. | Commercial expenses, th. RUB	1754	4192
Материальные затраты, тыс. р. | Material costs, th. RUB	422	648
Прибыль от продаж, тыс. р | Profit from sales, th. RUB	-10342	-9692
Среднегодовая стоимость основных средств, тыс. р. | Ave annual cost of fixed assets, th. RUB	6377	8382
Фонд оплаты труда, тыс. р. | Salary fund, th. RUB	-	-
Оборотные средства, тыс. р | Working capital, th. RUB	4345	4625
Производительность труда одного работника | Labor productivity per employee	2914,0	3236,38
Затраты на 1 р. реализованной продукции, р. | Costs per 1 r. of products sold, r.	1,22	1,19
Рентабельность продукции | Product profitability	-18,15%	-15,77%
Фондовооруженность производства | Capital-to-weight ratio of production	398,56	523,88
Фондоотдача производства. | Capital productivity of production.	7,31	6,18
Материалоотдача, р. | Material efficiency, р	110,49	79,91
Коэффициент оборачиваемости оборотных средств | Working capital turnover ratio	10,73	11,20

Нормальным считается значение коэффициента от 1.5 до 2.5, в зависимости от отрасли. Значение ниже 1 говорит о высоком финансовом риске, связанном с тем, что предприятие не в состоянии стабильно оплачивать текущие счета. Значение более 3 может свидетельствовать о нерациональной структуре капитала. Коэффициент соотношения собственных и заемных средств составляет 0,6 в отчетном году, он уменьшился на 51,04% по отношению к предыдущему году. Чем больше коэффициент превышает 1, тем больше зависимость предприятия от заемных средств.

Если рассмотреть дебиторскую задолженность, то можно сделать вывод о том, что

она оборачивается быстрее оборотных средств, что означает довольно высокую интенсивность поступления на предприятие денежных средств.

Исходя из рисунка 2 (Краткий анализ баланса МУП «Школьный Комбинат») можем сделать вывод, о неизменном объеме внеоборотных активов предприятия, небольшой положительной динамике, чистых активов, капиталов и резервов, а также положительной динамике общего объема активов.

На данный момент на предприятии МУП «Школьный Комбинат» наблюдается серьезная проблема, снижение конкурентоспособности, падение чистой прибыли в 2018 году по отношению к 2017 на 4169 млн. руб., чистая прибыль составила -2503 млн. руб. Для определения масштабов и причин данной проблемы, проведем сравнительный анализ предприятия по отрасли и с средними значениями других предприятий в РФ.

Формируя выводы по результатам сравнительного анализа, отметим, что нами были рассмотрены девять наиболее важных показателей:

1. три показателя финансовой устойчивости (коэффициенты автономии, обеспеченности собственными оборотными средствами и покрытия инвестиций);
2. три показателя платежеспособности (коэффициенты текущей, быстрой и абсолютной ликвидности);
3. три показателя эффективности деятельности (рентабельность продаж, норма чистой прибыли, рентабельность активов).



Рисунок 2. Краткий анализ баланса МУП «Школьный Комбинат»

Figure 2. Brief analysis of the balance sheet of the Municipal Unitary Enterprise Shkolny Kombinat

Мы провели сравнительный анализ бухгалтерского баланса и отчета о финансовых результатах МУП «Школьный Комбинат» за 2018 год, содержащихся в базе данных ФНС. Основным видом деятельности Организации является деятельность предприятий общественного питания по прочим видам организации питания (код по ОКВЭД 56.29). В ходе анализа мы сравнили ключевые финансовые показатели Организации со средними (медианными) значениями данных показателей конкретной отрасли (вида деятельности) и всех отраслей Российской Федерации.

Среднеотраслевые и среднероссийские значения показателей рассчитаны по данным бухгалтерской отчетности за 2018 год, представленной ФНС. При расчете среднеотраслевых данных учитывались организации, величина активов которых составляет более 10 тыс. руб. и выручка за год превышает 100 тыс. руб. Из расчета также исключались организации, отчетность которых имела существенные арифметические отклонения от правил составления бухгалтерской отчетности. При сравнении использованы среднеотраслевые показатели организаций сопоставимого масштаба деятельности – микропредприятий с выручкой от 10 до 120 млн рублей в год. По результатам сравнения каждого из девяти ключевых показателей с медианным значением нами сделан обобщенный вывод о качестве финансового состояния Организации.

В результате анализа ключевых финансовых показателей Организации нами установлено следующее. Финансовое состояние МУП «Школьный Комбинат» на 31.12.2018 значительно хуже финансового состояния половины всех микропредприятий, занимающихся видом деятельности деятельность предприятий общественного питания по прочим видам организации питания (код по ОКВЭД 56.29). При этом в 2018 году финансовое состояние Организации существенно ухудшилось.

Такой же вывод можно сделать и при сравнении показателей Организации со средними показателями для всех отраслей Российской Федерации. Финансовое положение МУП «Школьный Комбинат» значительно хуже, чем у большинства сопоставимых по масштабу деятельности организаций Российской Федерации, отчетность которых содержится в информационной базе ФНС и удовлетворяет указанным выше критериям.

Таблица 2.

Результат сравнения основных показателей МУП «Школьный Комбинат» со схожими по виду деятельности и объему выручки предприятиями

Table 2.

The result of comparing the main indicators of the Municipal Unitary Enterprise Shkolny Kombinat with similar enterprises in terms of activity and revenue

Показатели | Indicators	Сравнение | Comparing	
	с отраслевыми | industry-specific	с общероссийскими | all-Russian
1. Финансовая устойчивость | Financial stability		
1.1. Коэффициент автономии Coefficient of autonomy	-1	1
1.2. Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами Coefficient of availability of own working capital	-2	-2
1.3. Коэффициент покрытия инвестиций Investment coverage ratio	-1	0
2. Платежеспособность | Solvency		
2.1. Коэффициент текущей ликвидности Current liquidity ratio	-2	-2
2.2. Коэффициент быстрой ликвидности Quick Liquidity Ratio	-2	-2
2.3. Коэффициент абсолютной ликвидности Absolute liquidity ratio	-1	1
3. Эффективность деятельности | Operational efficiency		
3.1. Рентабельность продаж Return on sales	-2	-2
3.2. Норма чистой прибыли Net profit margin	-2	-2
3.3. Рентабельность активов Return on assets	-2	-2
Итоговый балл Final score	-1.7	-1.1
	Финансовое состояние организации значительно хуже среднего по отрасли. The financial condition of the organization is significantly worse than the industry average.	Финансовое состояние организации значительно хуже среднего по РФ. The financial condition of the organization is significantly worse than the average in the Russian Federation.

Для анализа причин возникновения проблемы потери конкурентоспособности воспользуемся методом построения диаграммы Исикавы, которая представляет собой Графический способ исследования и определения наиболее существенных причинно-следственных взаимосвязей между факторами и последствиями в исследуемой ситуации или проблеме. Наглядно диаграмму причинно-следственных связей изобразим на рисунке 2.

На наш взгляд, для устранения проблемы потери конкурентоспособности МУП «Школьный Комбинат» необходимо совершенствовать подходы и методы обучения персонала организации, так же проведения комплексного маркетингового анализа рынка, для улучшения результатов деятельности предприятия, после устранения данных проблем возможно потребуется пересмотр подхода к управлению предприятием, его корректировка.

Рассмотрим этапы и возможные варианты развития событий при принятии такого управленческого решения с использованием метода дерева решений. Наглядно альтернативы изобразим в виде рисунка 3.

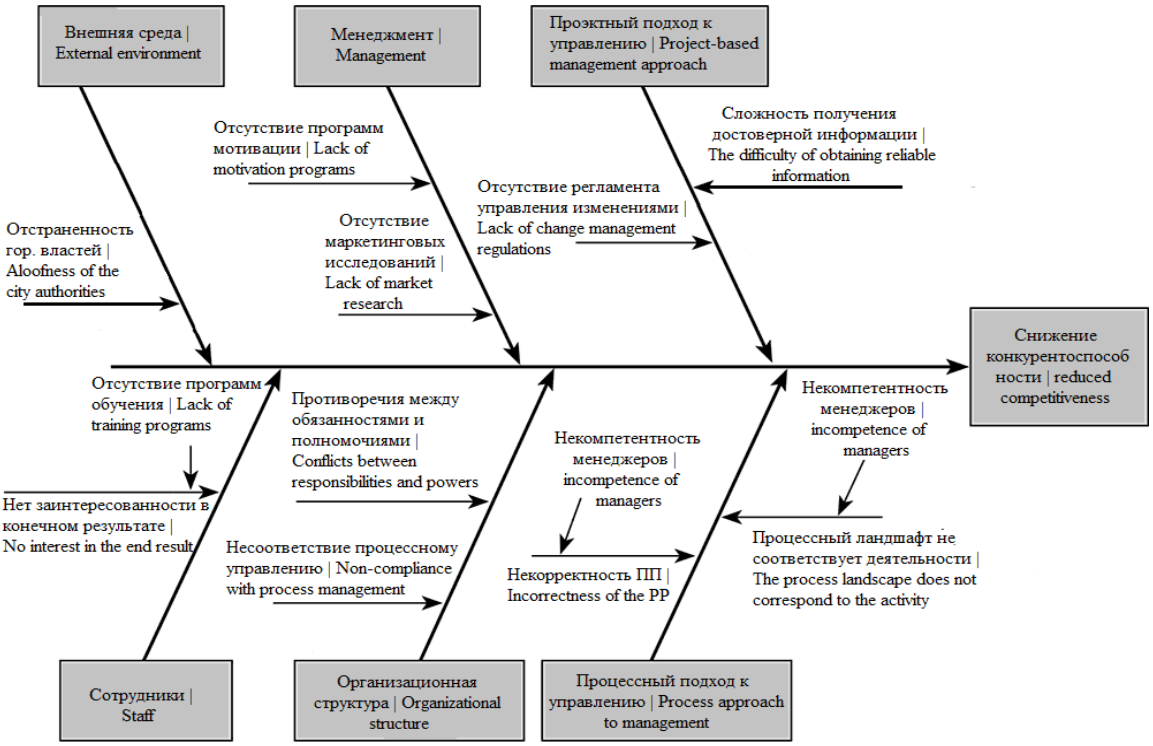


Рисунок 3. Диаграмма причинно-следственных связей Исикавы

Figure 3. Ishikawa Causal Relationship Diagram

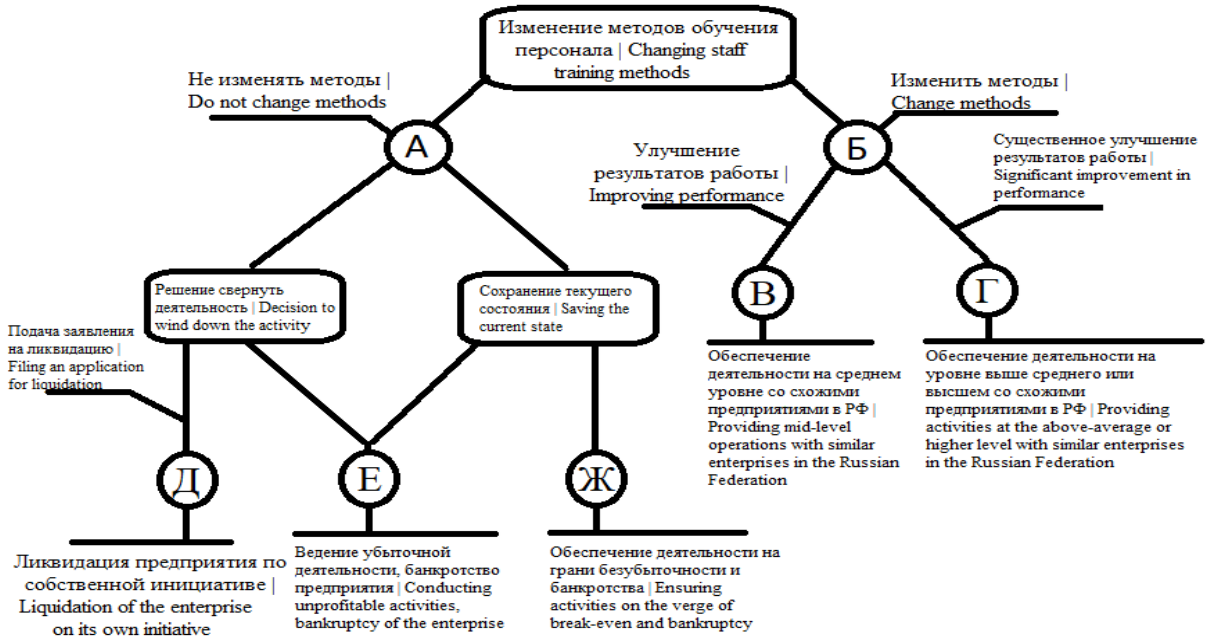


Рисунок 4. Дерево решений для МУП «Школьный Комбинат»

Figure 4. Decision tree for the Municipal Unitary Enterprise Shkolny Kombinat

Исходя из рисунка 2, 3 можем сделать вывод, что бездействия руководства МУП «Школьный Комбинат» в худшем случае может грозить предприятию банкротством. Для того что бы избежать негативных последствий руководству следует, пересмотреть подходы и методы обучения персонала, что в перспективе поможет предприятию выйти на уровень выше среднего или средний со схожими предприятиями в России. для улучшения результатов деятельности предприятия, после устранения данных проблем возможно потребуется, пересмотр, подхода к управлению предприятием, его корректировка.

Заключение

Метод ФСА реализуется в различных отраслях производства независимо от их особенностей: промышленность, сельское хозяйство, транспорт, торговля, сервис, туризм, а также на различных стадиях производства согласно технологическому процессу.

В статье были поставлены и решены задачи:

- Рассмотрены теоретические аспекты разработки управленческих решений на основе результатов анализа функциональных стратегий компании с использованием метода функционально стоимостного анализа;
- В том числе раскрыто понятие и классификация методов разработки и принятия управленческих решений;
- Выявлена сущность, назначение и особенности применения метода функционально стоимостного анализа;
- Представлены организационные и методические аспекты применения метода функционально стоимостного анализа;
- Во второй части статьи были поставлены и решены задачи проведения разработки и выборе управленческих решений из альтернативных вариантов в управлении операционной (производственной) деятельности МУП «Школьный Комбинат».

Исходя из поставленных задач можем сделать вывод, что предприятие МУП «Школьный Комбинат» находится в тяжелом финансовом состоянии. для того что бы улучшить деятельность предприятия, необходимо, совершенствовать подходы и методы обучения персонала организации, проведение комплексного маркетингового анализа рынка. Для улучшения результатов деятельности предприятия после устранения данных проблем возможно потребуется пересмотр подхода к управлению предприятием, его корректировка, что в перспективе поможет предприятию выйти на уровень выше среднего или средний со схожими предприятиями в России.

Литература

1 Богомолова И.П., Василенко И.Н., Котарев А.В., Малыгина Е.Н. Совершенствование системы кормового обеспечения мясного животноводства АПК на основе принятия управленческих решений инновационного типа // Современная экономика: проблемы и решения. 2019. № 1 (109). С. 106–120.

2 Keshavarzi E., McIntire M., Goebel K., Tumer I.Y. et al. Resilient system design using cost-risk analysis with functional models // International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. American Society of Mechanical Engineers, 2017. V. 58127. P. V02AT03A043. doi: 10.1115/DETC2017-67952

3 Кривенко Е.И., Черников В.В., Шатохина Н.М. Совершенствование системы управления качеством продукции на основе применения инновационных методов и подходов // Финансы. Экономика. Стратегия. Серия: «Инновационная экономика: человеческое измерение». 2019. № 9. С. 21–29.

4 Богомолова И.П., Кривенко Е.И., Стряпчих Е.С. Обеспечение экономической безопасности государства на основе управления ресурсосбережением // Финансы. Экономика. Стратегия. Серия: «Инновационная экономика: человеческое измерение». 2018. № 5. С. 16–23.

5 Устюгова И.Е., Шатохина Н.М., Фам Т.Т.Х. Разработка организационных и экономических решений в стратегическом управлении производственной деятельностью организации с использованием фактографических методов // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 2. С. 309–312.

6 Слепокурова Ю.И., Василенко И.Н., Воронцова Ю.Н.В Оценка социальной эффективности как актуальный аспект инновационных проектов // Перспективы и проблемы инновационного развития социально-экономических систем: материалы VI Национальной научно-практической конференции научных сотрудников, специалистов, преподавателей, аспирантов. 2018. С. 89–90.

7 Bogomolova I.P., Krivenko E.I., Larionova A.A., Takhumova O.V. et al. The Role and Features of Resource-Saving Processes in Modern Conditions of Managing the National Economy and the Implementation of State Strategic Initiatives // Journal of Environmental Treatment Techniques. 2019. V. 7. № 3. P. 426–431.

8 Studic M., Majumdar A., Schuster W., Ochieng W.Y.A systemic modelling of ground handling services using the functional resonance analysis method // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2017. V. 74. P. 245-260. doi: 10.1016/j.trc.2016.11.004

9 Bogomolova I.P., Shatokhma N.V., Stryapchikh E.S., Plekanova I.V. et al. Improvement of the resource potential management in socially important enterprises of agricultural sector // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. V. 11. № 6. P. 1235–1242.

10 Bogomolova I.P., Shatokhina N.V., Plekanova I.V., Stryapchikh E.S. et al. Managing adaptive development of the russian food industry // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. V. 13. P. 161.

11 Brickley J., Smith C., Zimmerman J. Managerial economics and organizational architecture. McGraw-Hill Education, 2015.

12 Crawford J., Olleson S. The nature and forms of international responsibility // International law. 2003. V. 445.

13 March J. Handbook of organizations (RLE: Organizations). Routledge, 2013. 1268 p. doi: 10.4324/9780203629130

14 Jensen M.C., Meckling W.H. On the Labor-Managed Firm and the Codetermination Movement. 977 p.

15 Vaiman V., Scullion H., Collings D. Talent management decision making // Management Decision. 2012. doi: 10.1108/00251741211227663

16 Pettigrew A.M. The politics of organizational decision-making. Routledge, 2014.

17 Charness G., Sutter M. Groups make better self-interested decisions // Journal of Economic Perspectives. 2012. V. 26. №. 3. P. 157-76. doi: 10.1257/jep.26.3.157

18 Bierman J.R., Smidt S. The capital budgeting decision: economic analysis of investment projects. Routledge, 2012.

19 Shepherd D.A., Williams T.A., Patzelt H. Thinking about entrepreneurial decision making: Review and research agenda // Journal of management. 2015. V. 41. №. 1. P. 11-46. doi: 10.1177/0149206314541153

20Pomerol J.C., Barba-Romero S. Multicriterion decision in management: principles and practice. Springer Science & Business Media, 2012. V. 25.

References

1 Bogomolova I.P., Vasilenko I.N., Kotarev A.V., Malygina E.N. Improvement of the system of fodder supply for beef cattle breeding in the agro-industrial complex on the basis of making management decisions of an innovative type. Modern Economy: Problems and Solutions. 2019. no. 1 (109). pp. 106-120. (in Russian).

2 Keshavarzi E., McIntire M., Goebel K., Tumer I.Y. et al. Resilient system design using cost-risk analysis with functional models. International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. American Society of Mechanical Engineers, 2017. vol. 58127. pp. V02AT03A043. doi: 10.1115/DETC2017-67952

3 Krivenko E.I., Chernikov V.V., Shatokhina N.M. Improvement of the product quality management system based on the use of innovative methods and approaches. Finance. Economy. Strategy. Series: "Innovative Economy: Human Dimension". 2019. no. 9. pp. 21–29. (in Russian).

4 Bogomolova I.P., Krivenko E.I., Stryapchikh E.S. Ensuring the economic security of the state on the basis of resource-saving management. Finance. Economy. Strategy. Series: "Innovative Economy: Human Dimension". 2018. no. 5. pp. 16–23. (in Russian).

5 Ustyugova I.E., Shatokhina N.M., Fam T.T.Kh. Development of organizational and economic solutions in the strategic management of the organization's production activities using factographic methods. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 2. pp. 309–312. (in Russian).

6 Slepokurova Yu.I., Vasilenko I.N., Vorontsova Yu.N. V. Assessment of social efficiency as an actual aspect of innovative projects. Prospects and problems of innovative development of socio-economic systems: materials of the VI National scientific and practical conference of researchers, specialists , teachers, graduate students. 2018. pp. 89–90. (in Russian).

7 Bogomolova I.P., Krivenko E.I., Larionova A.A., Takhumova O.V. et al. The Role and Features of Resource-Saving Processes in Modern Conditions of Managing the National Economy and the Implementation of State Strategic Initiatives. Journal of Environmental Treatment Techniques. 2019. vol. 7. no. 3. pp. 426–431.

8 Studic M., Majumdar A., Schuster W., Ochieng W.Y.A systemic modelling of ground handling services using the functional resonance analysis method. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2017. vol. 74. pp. 245-260. doi: 10.1016/j.trc.2016.11.004

9 Bogomolova I.P., Shatokhma N.V., Stryapchikh E.S., Plekanova I.V. et al. Improvement of the resource potential management in socially important enterprises of agricultural sector. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. vol. 11. no. 6. pp. 1235–1242.

10 Bogomolova I.P., Shatokhina N.V., Plekanova I.V., Stryapchikh E.S. et al. Managing adaptive development of the russian food industry. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. vol. 13. pp. 161.

11 Brickley J., Smith C., Zimmerman J. Managerial economics and organizational architecture. McGraw-Hill Education, 2015.

12 Crawford J., Olleson S. The nature and forms of international responsibility. International law. 2003. vol. 445.

13 March J. Handbook of organizations (RLE: Organizations). Routledge, 2013. 1268 p. doi: 10.4324/9780203629130

14 Jensen M.C., Meckling W.H. On the Labor-Managed Firm and the Codetermination Movement. 977 p.

15 Vaiman V., Scullion H., Collings D. Talent management decision making. Management Decision. 2012. doi: 10.1108/00251741211227663

16 Pettigrew A.M. The politics of organizational decision-making. Routledge, 2014.

17 Charness G., Sutter M. Groups make better self-interested decisions. Journal of Economic Perspectives. 2012. vol. 26. no. 3. pp. 157-76. doi: 10.1257/jep.26.3.157

18 Bierman J.R., Smidt S. The capital budgeting decision: economic analysis of investment projects. Routledge, 2012.

19 Shepherd D.A., Williams T.A., Patzelt H. Thinking about entrepreneurial decision making: Review and research agenda. Journal of management. 2015. vol. 41. no. 1. pp. 11-46. doi: 10.1177/0149206314541153

20 Pomerol J.C., Barba-Romero S. Multicriterion decision in management: principles and practice. Springer Science & Business Media, 2012. vol. 25.

Сведения об авторах

Ирина Е. Устюгова к.э.н., доцент, кафедра управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ystugova@ya.ru

https://orcid.org/0000-0002-8832-4610

Юлия Н. Воронцова к.э.н., доцент, кафедра управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, voronzova904214@ya.ru

https://orcid.org/0000-0002-6268-7579

Information about authors

Irina E. Ustyugova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, management, organization of production and industry economy department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ystugova@ya.ru

https://orcid.org/0000-0002-8832-4610

Julia N. Vorontsova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, management, organization of production and industry economy department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia, voronzova904214@ya.ru

https://orcid.org/0000-0002-6268-7579

Андрей О. Кривенда студент, кафедра управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, alopon221@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-3858-0683

Валерий В. Черников к.э.н., доцент, кафедра управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, chernikoff13@yandex.ru
https://orcid.org/ 0000-0002-3279-5747

Мирон А. Карпович д.э.н, профессор, кафедра цифровой и отраслевой экономики, Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия, tb.gerolskih@cds.vrn.ru
https://orcid.org/0000-0002-5690-8400

Andrey O. Krivenda student, management, organization of production and industry economy department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia, alopon221@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-3858-0683

Valery V. Chernikov Cand. Sci. (Econ.), associate professor, management, organization of production and industry economy department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia, chernikoff13@yandex.ru
https://orcid.org/ 0000-0002-3279-5747

Miron A. Karpovich Dr. Sci. (Econ.), professor, Department of Digital and Industrial Economics, Voronezh State Technical University, 84, 20th Anniversary of October St., Voronezh, 394006, Russia, tb.gerolskih@cds.vrn.ru
https://orcid.org/0000-0002-5690-8400

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/01/2021	**После редакции** 17/02/2021	**Принята в печать** 02/03/2021

Received 18/01/2021	**Accepted in revised** 17/02/2021	**Accepted** 02/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-410-420 Оригинальная статья/Research article
УДК 631.81: 338.43 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Государственное регулирование рынка удобрений в России

Светлана М. Рыжкова [1] smr.market@vniiesh.ru 0000-0002-1908-0747
Валентина М. Кручинина [1] vmk.market@vniiesh.ru 0000-0003-0811-796X

1 Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства, Хорошевское шоссе, 35/2, г. Москва, 123007, Россия

Аннотация. Международный рынок удобрений развивается динамично. Отечественные производители удобрений являются не только крупнейшими экспортерами данной продукции на мировые рынки, но и практически полностью обеспечивают спрос на внутреннем. Следуя положениям устойчивого развития государственное регулирование рынка удобрений должно определять и гарантировать безопасность производства, транспортировки, хранения и применения удобрений как для человека, так и для окружающей среды. Цель исследования – изучить и систематизировать комплекс нормативных документов, регулирующих рынок удобрений с учетом внутри- и внешнеторговых интересов России, сопоставив отечественное и зарубежное законодательство по изучаемой проблеме. Для этого были выбраны классические приемы и экономические методы исследования: анализ и синтез, дедукция и индукция. Закон прямого действия, регулирующий оборот удобрений, в России не принят, хотя такие законы применяются в ряде стран, и направлены они на урегулирование цепочки прохождения удобрений от производителя до потребителя. Структура российского законодательства по удобрениям не носит линейного характера. При этом в российскую систему государственного регулирования оборота удобрений входят многочисленные и разнообразные нормативно-правовые акты, в т.ч. и международные. Анализ действующих нормативных документов по регулированию рынка удобрений выявил необходимость гармонизации законодательства с точки зрения комплексного подхода и учета межотраслевых особенностей: сельскохозяйственный сектор объединяет как крупных, так и мелких, и средних участников, производство же удобрений монополизировано. Развитие отечественного рынка удобрений сдерживают разновекторные стандарты, заложенные в стратегиях развития аграрного сектора и химической промышленности. Государственная политика обращения удобрений характеризуется несогласованностью и несвязностью секторального законодательства, отсутствием необходимой координации регулирования рынка удобрений с потребностями отечественного сельского хозяйства. Необходимо в ближайшее время внести понятия новых видов удобрений в национальные стандарты, а также запустить механизмы государственно-частного партнерства по насыщению отечественного рынка новыми инновационными удобрениями.

Ключевые слова: рынок удобрений, государственное регулирование, нормативно-правовая база, минеральные удобрения, органические удобрения, инфраструктура

State regulations the market of fertilizers in Russia

Svetlana M. Ryzhkova [1] smr.market@vniiesh.ru 0000-0002-1908-0747
Valentina M. Kruchinina [1] vmk.market@vniiesh.ru 0000-0003-0811-796X

1 All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Khoroshevskoe h., 35/2, Moscow, 123007, Russia

Abstract. The international fertilizer market developing dynamically. Domestic producers of fertilizers are not only the largest exporters of these products to world markets, but also almost completely meet the demand in the domestic market. Following the provisions of sustainable development, the state regulation of the fertilizer market should determine and guarantee the safety of the production, transportation, storage and use of fertilizers for both humans and the environment. The purpose of the study is to study and systematize a set of regulatory documents regulating the market of fertilizers, taking into account the domestic and foreign trade interests of Russia, comparing domestic and foreign legislation on the studied problem. For this purpose, classical methods and economic methods of research were chosen: analysis and synthesis, deduction and induction. The law of direct action regulating the turnover of fertilizers has not been adopted in Russia, although such laws are applied in a number of countries, and they are aimed at regulating the chain of passage of fertilizers from the producer to the consumer. The structure of Russian fertilizer legislation is not linear. At the same time, the Russian system of state regulation of fertilizer turnover includes numerous and diverse regulatory and legal acts, including international ones. The analysis of the existing regulatory documents on the regulation of the fertilizer market revealed the need to harmonize legislation in terms of an integrated approach and taking into account intersectoral features: the agricultural sector unites both large and small, and medium-sized participants, while the production of fertilizers is monopolized. The development of the domestic fertilizer market is constrained by the multi-vector standards laid down in the development strategies of the agricultural sector and the chemical industry. The state policy of fertilizer circulation is characterized by inconsistency and incoherent sectoral legislation, the lack of necessary coordination of the regulation of the fertilizer market with the needs of domestic agriculture. It is necessary to introduce the concepts of new types of fertilizers in the national standards in the near future, as well as to launch public-private partnership mechanisms to saturate the domestic market with new innovative fertilizers.

Keywords: market of fertilizers , state regulation, regulatory framework, mineral fertilizers, organic fertilizers, infrastructure

Введение

С точки зрения устойчивого развития, сельское хозяйство в развитых странах стремится совмещать безопасное производство продуктов питания и защиту природы и биоразнообразия. Все больше сельхозпроизводителей понимают, что разумное использование природных ресурсов имеет важное значение как для производства продуктов питания, так и для обеспечения качества повседневной жизни – сегодня, завтра и для будущих поколений. Рынок удобрений развивается динамично. Отечественные производители удобрений являются не только крупнейшими экспортерами данной продукции на мировые рынки, но и практически полностью обеспечивают спрос на внутреннем.

Для цитирования
Рыжкова С.М., Кручинина В.М. Государственное регулирование рынка удобрений в России // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 410–420. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-410-420

For citation
Ryzhkova S.M., Kruchinina V.M. State regulations the market of fertilizers in Russia. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 410–420. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-410-420

© 2021, Рыжкова С.М. и др. / Ryzhkova S.M. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Современная политика России направлена на обеспечение продовольственной безопасности страны, что предполагает надежное снабжение населения продуктами питания, развитие агропромышленного комплекса. Без стабильного развития сельского хозяйства, поставщика продовольствия для населения и сырья для перерабатывающей промышленности, осуществить это будет сложно [1]. Несмотря на наличие в стране необходимых ресурсов для производства продуктов питания для внутреннего потребления и экспорта, Россия остается нетто-импортером многих из них. Одной из причин является невысокая культура использования и внедрения технологий повышения урожайности, например, улучшение сорта семян и рост внесения удобрений. Уровень использования удобрений в России ниже, чем в развитых странах. В 2019 г. внесено 61 кг минеральных удобрений на 1 га всей посевной площади, тогда как в США – 140 кг/га, в ЕС – 130 кг/га, в Латинской Америке – 90 кг/га. Повышение уровня производительности играет жизненно важную роль в росте сельскохозяйственной промышленности, поскольку на удобрения приходится по меньшей мере половина урожайности сельскохозяйственных культур. В связи с наращиванием потребностей в продовольствии долгосрочный потенциал увеличения использования удобрений становится одним из направлений развития сельского хозяйства. Сочетание нормативно-правовой базы и механизмов обеспечения соблюдения рекомендуемых норм внесения удобрений могут решить проблему продовольствия за счет увеличения сельскохозяйственной продуктивности.

Цель работы – изучить политику государства и комплекс нормативных документов, регулирующих использование в сельском хозяйстве минеральных и органических удобрений, с учетом внутри- и внешнеторговых интересов России, сопоставив отечественное и зарубежное законодательство по изучаемой проблеме.

Материалы и методы

Материалы охватывают производство удобрений – подотрасль химической промышленности и использование удобрений – подотрасль сельского хозяйства (растениеводство). При этом исследуемая тема оказалась значительно шире, чем регулирование этих двух отраслей, так как задействованы, как внутренний рынок, так и внешний (экспорт удобрений), а также торговля, логистика и пр. Устойчивое развитие предполагает решение вопросов социального, экономического направления и обеспечение экологической безопасности, когда государственное регулирование рынка удобрений определяет и гарантирует безопасность производства, транспортировки, хранения и применения удобрений как для человека, так и для окружающей среды.

В процессе работы авторы внимательно изучили документы, которые составляют основу системы нормативно-правового регулирования рынка удобрений в России и за рубежом, а также статьи и отчеты ведущих отечественных и зарубежных ученых и исследовательских институтов, полученные через Интернет и опубликованные в периодических изданиях. Классические приемы и экономические методы исследования: анализ и синтез, дедукция и индукция позволили провести аудит нормативных документов, систематизировать, выявить узкие места и дать предложения по совершенствованию законодательства.

Результаты

Понимая значение удобрений для национальных экономик, сельского хозяйства и отдельных фермеров, уже в конце XIX в. некоторые страны ввели законодательные меры, направленные на ограничение их производства и использования. Для этого было несколько причин. К тому времени удобрения уже активно использовались в сельскохозяйственном секторе, оказывая большое влияние на урожайность и рост прибыли. Однако мелкие фермеры редко имеют возможность проверить качество удобрения. Поэтому они вынуждены доверять информации, предоставленной производителями. Учитывая возможный серьезный ущерб в результате неправильного применения или использования фальсифицированных удобрений, достоинство которых нельзя проверить после внесения их в почву, становятся обязательными определенные меры превентивного контроля качества. Производители удобрений, как правило, обладают средствами, необходимыми для контроля за сырьем, и они менее нуждаются в защите со стороны законодателя. В то же время такая защита необходима потребителю удобрений, а, следовательно, их производство и торговля должны регулироваться законом.

Первоначально, когда производство и потребление товарных удобрений ограничивалось узким ассортиментом, цель законодательства заключалась в основном в защите покупателей от возможных мошеннических действий со стороны производителей и дилеров. Удобрения, продаваемые под данным названием, должны были содержать определенные питательные вещества или элементы в процентах, установленных законом (или заявленных производителем), допускались вариации в строгих пределах.

Научные и промышленные разработки в области химии и агрономии, не говоря уже о коммерческой конкуренции, привели к увеличению количества видов удобрений. Тем самым добавились новые требования к защитной роли законодательства об удобрениях, которое должно учитывать не только аспекты маркетинга и использования удобрений, но и экологические вопросы:

- защита покупателей от удобрений, которые, хотя и содержат заявленные элементы в указанных процентах, но не подходят для определенных почвенных условий и для посевов;
- эффективная ценность некоторых современных удобрений может быть установлена только после серии сложных и длительных экспериментов, и функция закона состоит в том, чтобы разрешить использование новых видов удобрений, если эксперименты продемонстрировали их эффективность;
- необходимость гарантировать потребителю сельскохозяйственной продукции максимально возможное качество;
- защита здоровья людей и окружающей среды от возможных загрязняющих воздействий [2].

Прежде чем будет разработан какой-то нормативный акт по удобрениям, законодатель должен решить, что следует считать удобрением или что включать в это понятие. С технической точки зрения удобрение – любое добавляемое вещество чтобы поставлять те элементы, которые необходимы для питания растений. С научной – терминология удобрений разделяет питательные вещества, питательные элементы и удобрения. Питательные элементы – химические элементы периодической системы, необходимые для роста растений (азот, фосфор, калий, кальций, магний, железо и т. д.). Питательные вещества – химические соединения или ионы, которые усваиваются растениями (например, ион аммония, ион фосфата, ион калия, ион магния и др.).

Удобрение – продукт, который добавляется в почву для поддержания или увеличения ее производственной мощности. Однако в целом для национального законодателя удобрения – вещества, предназначенные для использования в целях поддержания роста растений или для улучшения продуктивности почвы. Подобное определение содержится и в отечественном законодательстве. Согласно ГОСТ 20432–83 «Удобрения. Термины и определения» под удобрением понимается вещество для питания растений и повышения плодородия почвы. В международных документах понятие имеет более широкое значение – искусственное или природное вещество, которое используется для обеспечения растения питательными веществами, обычно через внесение в почву, а также на листву или через воду в системах выращивания риса, фертигации, гидропоники и аквакультуры [3]. Для России ГОСТ 20432–83 является основным документом, где приведена классификация видов удобрений, их форм, показатели качества.

Структура российского законодательства по удобрениям не носит линейного характера. В нормативно-правовую базу включаются стратегии, законы, программы, постановления, ГОСТы, регулирующие не только производство, торговлю, распределение, маркетинг, безопасность и использование удобрений, но и базовые документы, определяющие общее стратегическое развитие страны на долгосрочную перспективу, а также направления совершенствования аграрно-промышленного комплекса (АПК) (рисунок 1).

Так, Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2036 года на базе общей характеристики современного развития, в т. ч. химической промышленности и АПК, определяет перспективные направления развития этих сфер экономики. Отмечается, что одними из главных факторов развития растениеводства в долгосрочный период будут применение минеральных и биоудобрений, эффективных средств защиты растений, активное внедрение интенсивных технологий по мелиорации земель, улучшение способов обработки почвы и посевов. В животноводстве в долгосрочном периоде наиболее существенные сдвиги сопряжены с повышением интенсификации и ростом концентрации производства [4], что важно для получения значительных объемов органических удобрений.

Перспективное развитие российского АПК устанавливается Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы, которая пролонгирована до 2025 г., Прогнозом научно-технологического развития Агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года, Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы, Стратегией развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года (таблица 1).

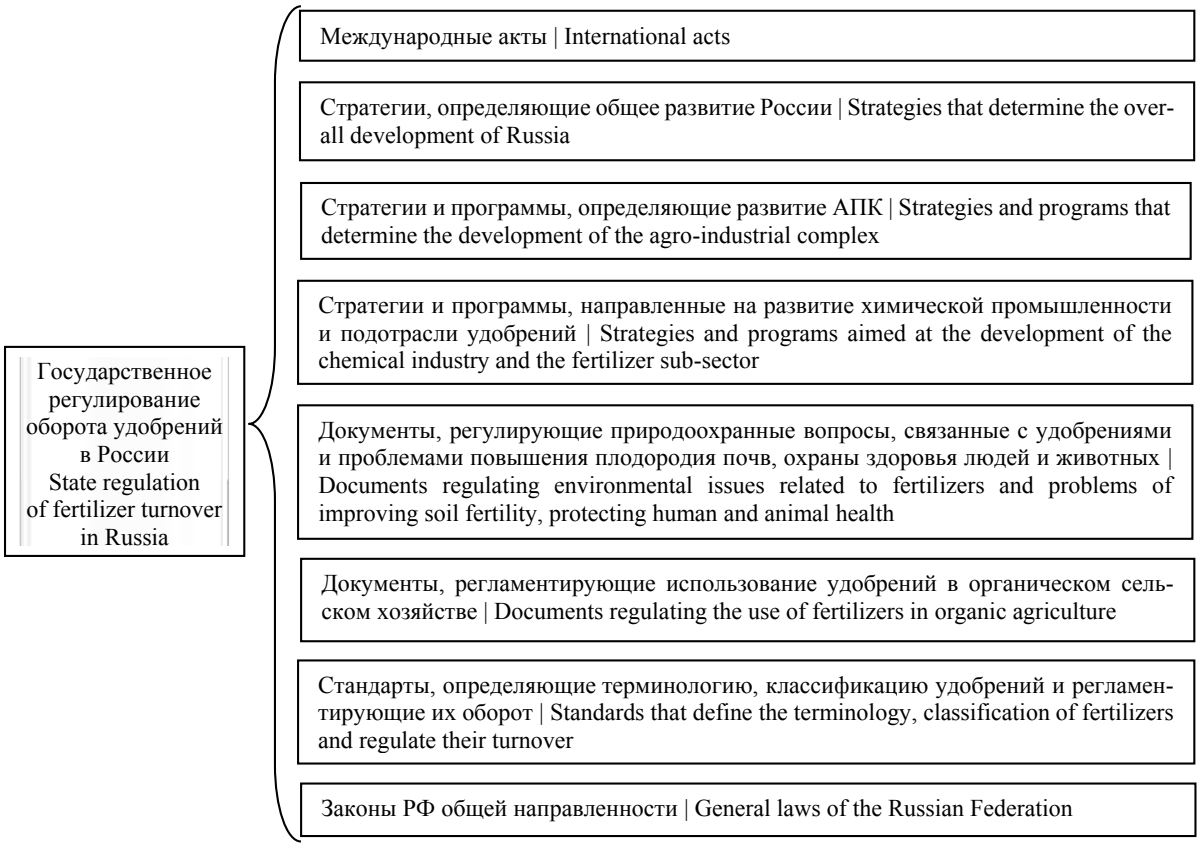


Рисунок 1. Система государственного регулирования оборота удобрений в России

Figure 1. The system of state regulation of fertilizer turnover in Russia

Таблица 1.

Система нормативно-правового регулирования рынка удобрений в России

Table 1.

The system of legal regulation of the fertilizer market in Russia

Сфера распространения Sphere of distribution	Наименование нормативно-правового документа Name of the normative legal document
1	2
Стратегии, определяющие общее развитие России Strategies that determine the overall development of Russia	Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2036 года; Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации; Стратегия экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года; Национальный проект РФ «Международная кооперация и экспорт»
Стратегии и программы, определяющие развитие АПК Strategies and programs that determine the development of the agro-industrial complex	Прогноз научно-технологического развития Агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года; Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года; Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы (пролонгированная до 2025 г.); Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы; Указ Президента РФ от 21.07.2016 г. № 350 «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства»
Стратегии и программы, направленные на развитие химической промышленности и подотрасли удобрений Strategies and programs aimed at the development of the chemical industry and the fertilizer sub-sector	Стратегия развития химического и нефтехимического комплекса на период до 2030 года; Сводная стратегия развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2024 года и на период до 2035 года; План мероприятий («дорожная карта») по развитию производства минеральных удобрений на период до 2025 года

Продолжение таблицы 1 | Continuation of table 1 |

1	2
Документы, регулирующие природоохранные вопросы, связанные с удобрениями и проблемами повышения плодородия почв, охраны здоровья людей и животных Documents regulating environmental issues related to fertilizers and problems of improving soil fertility, protecting human and animal health	Федеральные законы: № 101-ФЗ от 16.07.1998 г.; № 7-ФЗ от 10.01.2002 г.; № 184-ФЗ от 27.12.2002 г.; № 136-ФЗ от 25.10.2001 г.; № 101-ФЗ от 24.07.2002 г.; № 109-ФЗ от 19.07.1997 г.; № 89-ФЗ от 24.06.1998 г.; № 52-ФЗ от 30.03.1999 г.; № 184-ФЗ от 27.12.2002 г. Закон от 07.12.1992 г. №2030-1
Документы, регламентирующие использование удобрений в органическом сельском хозяйстве Documents regulating the use of fertilizers in organic agriculture	Федеральный закон № 280-ФЗ от 03.08.2018 г. ГОСТ Р 57022-2016; ГОСТ Р 56104 - 2014; ГОСТ 33980-2016
Стандарты, определяющие терминологию и классификацию удобрений, регламентирующие их оборот Standards that define the terminology and classification of fertilizers and regulate their turnover	ГОСТ 20432–83; ГОСТ Р 51520–99; ГОСТ 20851.2–75 (ИСО 5316–77, ИСО 6598–85, ИСО 7497–84); ГОСТ 20851.3–93; ГОСТ 20851.4–75; ГОСТ 21560.0–82; ГОСТ 21560.1–82; ГОСТ 21560.2–82; ГОСТ 21560.5–82; ГОСТ 30181.1–94; ГОСТ 23954–80; ГОСТ Р 58658–2019; ГОСТ Р 53117–2008; ГОСТ 34102–2017; ГОСТ 33980–2016; ГОСТ Р 57079–2016; ГОСТ 28718–2016; ГОСТ 33686–2015; ГОСТ 28714–2007
Законы РФ общей направленности General laws of the Russian Federation	Налоговый кодекс; Таможенный кодекс; Закон «О недрах» № 2395–1;
Документы, регламентирующие обращение минеральных удобрений на территории стран-членов ЕАЭС Documents regulating the circulation of mineral fertilizers on the territory of the EAEU member States	ТР ЕАЭС 039/2016; ГОСТ 34102–2017; ГОСТ 33980–2016
Международные документы и нормативно-правовые акты International instruments and regulations	Добровольные руководящие принципы устойчивого управления почвами, ФАО, 2017, Международный кодекс поведения по рациональному использованию удобрений и управлению ими, ФАО, 2019; Регламент (ЕС) 2003/2003 Европейского Парламента и Совета от 13.10.2003 г. об удобрениях, Регламент (ЕС) 2019/1009 Европейского парламента и Совета от 05.06.2019 г., устанавливающий правила размещения на рынке удобрений ЕС и вносящий поправки в Регламенты (ЕС) № 1069/2009 и (ЕС) № 1107 / 2009 г. и отменяющий Регламент (ЕС) № 2003/2003

В России, с одной стороны, остро стоит вопрос продовольственной безопасности и импортозамещения многих видов продовольствия. С другой – площади сельскохозяйственных угодий подвержены различным видам деградации. В числе причин в стратегических документах, ориентированных на АПК, отмечается недостаточное и несбалансированное внесение удобрений. В результате ежегодный вынос питательных веществ из почвы вследствие сельскохозяйственной деятельности втрое превышает их возврат с вносимыми минеральными и органическими удобрениями. Для сохранения и повышения плодородия почв в России требуется увеличение объемов внесения минеральных удобрений и внедрение технологий адаптивно-ландшафтного земледелия. Перспективными направлениями являются внедрение технологий производства пестицидов и агрохимикатов биологического происхождения для применения в сельском хозяйстве; увеличение объема их производства; технологии производства новых типов удобрений (композиционных) и их ресурсосберегающее применение [5].

В стратегических документах прослеживается направленность на более широкое применение биологических и композиционных удобрений. Однако законодатель не внес дополнения в ГОСТ 20432–83 «Удобрения. Термины и определения» по предпочтительным видам удобрений в ближайшей перспективе. В этом документе до настоящего времени отсутствуют определения этих видов удобрений. Следует заметить, что определение биоудобрения можно найти в Национальном стандарте РФ ГОСТ Р 57079–2016 «Биотехнологии. Классификация биотехнологической продукции»: «Биоудобрения – экологически чистые удобрения, получаемые из биогумуса и натуральных органических веществ. Традиционно в эту группу относят микробные препараты, обеспечивающие доступность и лучшую усвояемость питательных компонентов почвы (или иного субстрата, в котором произрастают растения), а также симбиотическое азотное питание посредством связывания молекулярного азота воздуха» [6].

Понятие «композиционные удобрения» в нормативных актах не раскрывается. В учебной

литературе предлагается определение композиционных материалов: «Композиционными называются материалы, в которых имеет место сочетание двух (или более) химически разнородных компонентов (фаз) с четкой границей раздела между ними. Это неоднородные (гетерогенные) по химическому составу и структуре материалы. Они характеризуются совокупностью свойств, не присущих каждому в отдельности взятому компоненту, входящему в состав данного композита. В композиционном материале достигается сочетание разнородных компонентов для получения качественно новых свойств. При этом очень важно, что в нем проявляются достоинства составляющих его компонентов, а не их недостатки» [7].

Можно предположить, что под композиционными удобрениями понимаются композиции с регулируемым или контролируемым выделением удобрений. Это гранулированные (капсулированные) удобрения с оболочкой из полимерного покрытия, покрытия на основе серы или продуктов реакции мочевины. Под действием температуры почвы, ее влажности и кислотности, а также микробной активности и толщины покрытия оболочка постепенно разрушается и питательные вещества попадают в почву. Такие удобрения являются надежным способом доставки питательных элементов растениям в нужный момент. Одно внесение может восполнить потребности в питании на протяжении всего сезона роста, что уменьшает количество удобрений, экономит время и труд. Удобрения с регулируемым или контролируемым выделением питательных веществ получают все большее распространение [8].

Потому как производство удобрений является подотраслью химической промышленности, то долгосрочные ориентиры ее дальнейшего развития отражены в Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса на период до 2030 года – увеличение среднего уровня внесения минеральных удобрений. Для этого надо повысить объемы потребления на внутреннем рынке. Данное требование связано и со снижением качества сельскохозяйственных угодий, воспроизводство которых отнесено Федеральным законом от 16.07.1998 г. № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» к компетенции хозяйствующих субъектов: собственников земельных участков, землепользователей, землевладельцев и арендаторов земельных участков, которые обязаны осуществлять производство сельскохозяйственной продукции способами, обеспечивающими воспроизводство плодородия земель сельскохозяйственного назначения, а также исключающими или ограничивающими неблагоприятное воздействие такой деятельности на окружающую среду; обеспечивать проведение мероприятий по воспроизводству плодородия земель сельскохозяйственного назначения; соблюдать нормы и правила в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения [9].

Однако, как отмечено в Плане мероприятий ("дорожной карте") по развитию производства минеральных удобрений на период до 2025 года (План мероприятий) основная часть производимых в стране удобрений поставляется на экспорт в связи с ограниченными объемами потребления на внутреннем рынке (71% – экспорт, 29% – отечественный рынок, в т. ч. как сырье для производства сложных удобрений). В дальнейшем планируется наращивать экспортный потенциал – доля экспорта в объеме выпуска минеральных удобрений (в натуральном выражении) к 2025 г. должна вырасти до 75% [10]. При этом экспортно-ориентированное производство вступает в противоречие с потребностями российского сельского хозяйства.

В плане мероприятий указано, что дальнейший рост объема выпуска минеральных удобрений за счет повышения загрузки имеющихся мощностей невозможен – требуется ввод новых мощностей. Тем не менее, перед подотраслью по производству удобрений стоят две задачи: рост экспорта, что обусловлено существованием конкурентных преимуществ для поставок на внешний рынок, и обеспечение сельскохозяйственных товаропроизводителей удобрениями для выполнения государственной задачи по импортозамещению и обеспечению продовольственной безопасности. Увеличение возможностей потребления на внутреннем рынке с учетом экспортных интересов возможно только при увеличении объемов производства удобрений. Расширение выпуска удобрений также обосновано в связи с направлением государственной политики на рост экспорта в рамках национального проекта «Международная кооперация и экспорт», который предполагает повысить российское присутствие на иностранных рынках за счет роста несырьевого неэнергетического экспорта.

План мероприятий по развитию производства минеральных удобрений направлен на совершенствование механизмов госрегулирования производства минеральных удобрений в России. Запланировано решение следующих задач: государственная поддержка экспортных поставок отечественных минеральных удобрений по согласованным направлениям (отказ от введения экспортных пошлин, негативно влияющих на конкурентоспособность российской продукции

на внешнем рынке); стимулирование инвестиционной деятельности производителей минеральных удобрений; развитие внутреннего рынка минеральных удобрений, включая стимулирование использования минеральных удобрений в растениеводстве и развитие национальной логистической инфраструктуры подотрасли минеральных удобрений; снижение влияния инфраструктурных ограничений; повышение эффективности регулирования в области экологии, промышленной безопасности и капитального строительства; стабилизация системы налогового и таможенного регулирования [10].

Закон прямого действия, регулирующий оборот удобрений, в России не принят. Хотя такие законы применяются в ряде стран, и направлены они на урегулирование цепочки прохождения удобрений от производителя до потребителя (таблица 2). Законы упорядочивают сферы производства, торговли, транспортирования, хранения, упаковки, маркировки удобрений.

Таблица 2.

Цели законов, регулирующих оборот удобрений [11–13]

Table 2.

Objectives of the laws governing the circulation of fertilizers [11–13]

Страна Country	Цели | Goals
Хорватия Croatia	Регулирует качество, контроль качества, маркировку, транспортировку и контроль движения удобрений (минеральных и органических) и улучшителей почвы, а также производство и контроль органических удобрений и улучшителей почвы.
Черногория Montenegro	Регулирует условия производства, торговые характеристики и внесение удобрений, а также другие вопросы, важные для производства и торговли удобрениями. Если удобрения содержат пестициды, то правила, регулирующие использование пестицидов, также должны применяться для торговли и внесения удобрений. Если удобрения содержат опасные вещества, то правила, регулирующие опасные вещества, также применяются при торговле и внесении удобрений.
Германия Germany	– гарантия обеспечения питательными веществами растений сельскохозяйственного и другого назначения, – поддержание и непрерывное улучшение плодородия почв, в частности, что касается содержания гумуса в соотношении, характерном для определенной местности и вида окультуривания, – предотвращение возможных опасностей для здоровья людей, животных, и окружающей среды, которые могут возникнуть в результате производства, ввода в обращения или применения удобрений, почвенных добавок, вспомогательных средств для растений, а также культурных субстратов или в результате других мероприятий, связанных с процессом удобрения, – внедрение и исполнение предписаний правовых актов Европейского Сообщества или Европейского Союза, которые касаются сферы деятельности настоящего закона, особенно, в отношении оборота или применения удобрений.

Польза от применения удобрений не вызывает сомнений. Однако чрезмерное их использование может обеспечивать загрязнение почвы, увеличивать концентрацию конкретных элементов или веществ, вызывающих экологический вред. Загрязнение может быть связано с избытком питательных веществ или с наличием вредных элементов, таких как токсичные металлы. Удобрения могут оказывать негативное влияние не только на почву, но и на здоровье человека, животных, растений и окружающую среду. Поэтому при обороте удобрений учитываются требования законов, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды: Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ, Федеральный закон от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», Федеральный закон от 19.07.1997 г. № 109-ФЗ «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами», Федеральный закон от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», Закон от 07.12.1992 г. № 2030–1 «О защите прав потребителей», Федеральный закон от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

Нормативно-правового акта прямого действия общего для всех видов удобрений – технического регламента, контролирующего безопасность применения удобрений – в России нет. Хотя в соответствии с Федеральным законом от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» процессы производства, хранения, перевозки, реализации и утилизации удобрений подлежат техническому регулированию. Для примера, данный вопрос в Казахстане урегулирован Техническим регламентом «Требования к безопасности удобрений», который распространяется на минеральные, органоминеральные, органические удобрения и почвоулучшающие вещества, а также на процессы их жизненного цикла. В связи с рисками, связанными с характером удобрений (таблица 3), технический регламент Казахстана предусматривает требования к хранению, упаковке и маркировке; безопасности транспортировки, реализации, использования, утилизации и сертификации [14].

Таблица 3.

Факторы, обуславливающие риски, связанные с удобрениями

Table 3.

Factors that determine the risks associated with fertilizers

Удобрения | Fertilizers	Факторы | Factors
Минеральные удобрения Mineral fertilizers	Горючесть, окисляющее воздействие, коррозионное воздействие, токсичность, повреждение глаз, разъедание кожи, раздражение глаз и кожи, опасность для водной окружающей среды, опасность для воздушной окружающей среды и почвы, радиоактивное излучение (для фосфорных удобрений и почвоулучшающих веществ) Flammability, oxidizing effects, corrosive effects, toxicity, eye damage, skin corrosion, eye and skin irritation, danger to the aquatic environment, danger to the air environment and soil, radioactive radiation (for phosphorous fertilizers and soil-improving substances)
Органические и органоминеральные удобрений Organic and organomineral fertilizers	Бактериологические, паразитологические, энтомологические Bacteriological, parasitological, entomological

На территории стан-членов ЕАЭС действует Технический регламент Евразийского экономического союза «О требованиях к минеральным удобрения» (ТР ЕАЭС 039/2016), устанавливающий требования безопасности к минеральным удобрениям и связанным с требованиями к минеральным удобрениям процессам хранения, перевозки и маркировки минеральных удобрений. Подобный технический регламент по органическим удобрениям не принят.

Значительный корпус стандартов регулирует терминологию, классификацию, определение состава, приемку и внесение минеральных и органических удобрений, например, ГОСТ 20432–83 «Удобрения. Термины и определения», ГОСТ Р 51520–99 «Удобрения минеральные. Общие технические условия (с Поправкой)», ГОСТ Р 53117–2008 «Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия», ГОСТ 34102–2017 «Удобрения органические на основе органогенных отходов растениеводства и предприятий, перерабатывающих растениеводческую продукцию», ГОСТ 21560.0–82 «Удобрения минеральные. Методы отбора и подготовки проб», ГОСТ 23954–80 «Удобрения минеральные. Правила приемки», ГОСТ 28718–2016 «Техника сельскохозяйственная. Машины для внесения твердых органических удобрений. Методы испытаний», ГОСТ 33686–2015 «Машины для транспортирования и внесения жидких удобрений. Методы испытаний», ГОСТ 28714–2007 «Машины для внесения твердых минеральных удобрений. Методы испытаний» и т. п.

В последние десятилетия в России, как и во всем мире, активно развивается органическое сельское хозяйство, функционирующее на принципах отказа от синтетических минеральных удобрений. Разрешенные к применению биологические и минеральные удобрения закреплены в ГОСТ 33980–2016 «Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации». Прогресс в органическом сельском хозяйстве создаст дополнительный резерв для экспорта минеральных синтетических удобрений и увеличения их использования в хозяйствах индустриального типа. Кроме того, это направление соответствует государственной научно-технологической политике в сфере производства пестицидов и агрохимикатов биологического происхождения для применения в сельском хозяйстве (Указ Президента РФ от 21.07.2016 г. № 350 "О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства"). К документам, регламентирующим использование удобрений в органическом сельском хозяйстве, также относятся Федеральный закон от 03.08.2018 г. № 280-ФЗ «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», ГОСТ Р 57022–2016 «Продукция органического производства. Порядок проведения добровольной сертификации органического производства» и ГОСТ Р 56104– 2014 «Продукты пищевые органические. Термины и определения».

В 2019 г. ФАО принят «Международный кодекс поведения в области устойчивого использования удобрений и управления ими» в поддержку Добровольных руководящих принципов рационального использования почвенных ресурсов. Задача Кодекса по удобрениям – сформировать в сообществах ценности по рациональному использованию удобрений и разумному управлению ими в целях предотвращения их ненадлежащего, недостаточного или чрезмерного применения. Его ориентирами являются ответственное использование удобрений и управление ими в сельском хозяйстве на уровне хозяйств, экосистем и стран; обеспечение устойчивых

продовольственных систем; укрепление продовольственной безопасности и улучшение качества питания; сокращение загрязнения окружающей среды и повышение безопасности продуктов питания [3].

Обсуждение

Следует заметить, что общих специальных актов, направленных непосредственно на сферу оборота удобрений, в России мало. К таковым можно, например, отнести План мероприятий («дорожная карта») по развитию производства минеральных удобрений на период до 2025 года. Однако, согласно международному опыту, законы прямого действия, направленные на регулирование товаропроводящей цепи удобрений, составляют базовую основу всей структуры государственного регулирования производства и применения удобрений.

В развитии внутреннего рынка удобрений одним из действенных инструментов является программно-целевой метод, который предполагает наличие программ, нацеленных на формирование безопасной отраслевой инфраструктуры за счет бюджетных и внебюджетных источников [15]. К сожалению, в России нет четкой государственной политики по развитию экономики и отдельных отраслей, поэтому важны межотраслевое сотрудничество, государственно-кооперативное и кооперативно-частное партнерство [16].

Ученые Тюменского государственного университета считают, что для повышения эффективности реализации государственной политики в различных областях и, в частности, госрегулировании рынка удобрений, необходима господдержка малого бизнеса и создание организационной инфраструктуры [17]. В России отсутствует государственная поддержка законопослушных небольших и средних хозяйств, занимающихся утилизацией биоотходов птицеводства и животноводства. Проблема переработки отходов стоит особенно остро, и она не отделима от проблемы плодородия почвы и экологической безопасности, так как продолжается окисление почв, отчуждение сельскохозяйственных земель под хранение навоза, загрязнение грунтовых вод и выбросы в атмосферу метана – парникового газа [18].

Следуя принципам устойчивого развития, необходимо повышать эффективность экологической политики, побуждать производителей к чистому производству удобрений, стимулировать инвестиции в основной капитал, направляемый на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов [19].

Особенностью рынка удобрений является наличие частных монополий. Поэтому в дальнейшем необходимо в рамках государственно-частного партнерства разработать как минимум две программы в аграрном секторе: рационального использования удобрений и переход к биологической системе земледелия [20]. В рамках обеспечения социальной ответственности производителей удобрений должны иметь место мероприятия, направленные на соблюдение безопасных технологий на рынке удобрений как в интересах производителей, так и в интересах потребителей [21].

Заключение

Таким образом, в российскую систему государственного регулирования оборота удобрений входят многочисленные и разнообразные нормативно-правовые акты, в т. ч. и международные. Она включает стратегии и прогнозы как по общему развитию страны, так и по отдельным отраслям экономики, акты, направленные на обеспечение экологической безопасности, законы по использованию недр, таможенное и налоговое законодательство, ГОСТы по производству, транспортированию, хранению и применению удобрений. Отдельный блок документов регулирует органическое сельское хозяйство.

Устойчивое развитие предполагает решение вопросов социального, экономического направления и обеспечение экологической безопасности, когда государственное регулирование рынка удобрений определяет и гарантирует безопасность производства, транспортировки, хранения и применения удобрений как для человека, так и для окружающей среды.

Отечественный рынок удобрений является экспортоориентированным в результате государственной политики, направленной на увеличение и стимулирование экспорта удобрений. Развитие отечественного рынка удобрений сдерживают разновекторные стандарты, заложенные в стратегиях развития АПК и химической промышленности. Государственная политика по отношению к отечественному рынку удобрений характеризуется несогласованностью и несвязностью секторального законодательства, отсутствием необходимой координации регулирования рынка удобрений с потребностями отечественного сельского хозяйства.

Для достижения устойчивого развития сельского хозяйства в будущем государственное регулирование оборота удобрений в России должно обеспечить достаточное производство удобрений как для внутреннего потребления, так и для экспорта. При этом необходимо достичь безопасности по всей товарной цепи – производство, хранение, транспорт, торговля,

дистрибуция, маркетинг и использование, учитывая особенности каждого вида удобрений. Ответственное использование удобрений позволит найти баланс между увеличением производительности почв и процессами их деградации, сократит негативное воздействие на здоровье человека, животных, растений и на окружающую среду. Все эти положения надо учесть при разработке и принятии отечественной концепции устойчивого развития сельского хозяйства в интересах продовольственной безопасности и улучшения питания на принципах, рекомендованных ФАО. В ближайшее время необходимо синхронизировать секторальные стратегии и законы в интересах потребителей отечественного сельского хозяйства и внести понятия новых видов удобрений в национальные стандарты, а также запустить механизмы государственно-частного партнерства по насыщению отечественного рынка новыми инновационными удобрениями.

Литература

1 Шаркова А.В., Шапкин И.Н., Чалдаева Л.А. и др. Развитие предпринимательства: инновации, технологии, инвестиции: 2-е изд. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2021. 352 с.

2 Günther S., Grunert M., Müller S. Overview of recent advances in phosphorus recovery for fertilizer production // Engineering in life sciences. 2018. V. 18. №. 7. P. 434-439. doi: 10.1002/elsc.201700171

3 FAO. 2019. The international Code of Conduct for the sustainable use and management of fertilizers. Rome, Italy. doi: 10.4060/CA5253EN URL: http://www.fao.org/ 3/ca5253en/ca5253en.pdf. Rome, 2019.

4 Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2036 года. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/a5f3add5deab665b344b47a8786dc902/prognoz2036.pdf.

5 Прогноз научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года. URL: http://docs.cntd.ru/ /document/456038646.

6 ГОСТ Р 57079–2016. Биотехнологии. Классификация биотехнологической продукции. URL: https://www.fbras.ru/ wp-content/uploads/2015/03/GOST-R-57079–2016.pdf.

7 Иванов Д.А., Ситников А.И., Шляпин С.Д. Композиционные материалы: учебное пособие для вузов. М.: Издательство Юрайт, 2019. 253 с.

8 Композиции с регулируемым выделением удобрений и способы их получения. URL: https://findpatent.ru/ patent/219/2194686.html.

9 О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения: Федеральный закон от 16.07.1998 г. № 101-ФЗ. URL: https://base.garant.ru/ 12112328.

10 План мероприятий («дорожная карта») по развитию производства минеральных удобрений на период до 2025 года: распоряжение Правительства РФ от 29.03.2018 г. № 532-р. URL: http://static.government.ru/media/ files/eAccQzV2dI2dPEWykXdsh2SeL5U7Re4j.pdf.

11 Law on Fertilizers and Soil Improvers. Croatia. URL: https://www.ecolex.org/details/legislation/law-on-fertilizers-and-soil-improvers-lex-faoc106199.

12 Law on fertilizers of the Republic of Montenegro. URL: https://www.wto.org/ english/thewto_e/acc_e/cgr_e/WTACCCGR30A2_LEG_2.pdf.

13 Law on Fertilizers of 9 January 2009 (BGBl. IS. 54, 136), as last amended pursuant to article 370 of the Ordinance of 31 August 2015 (BGBl. I S. 1474). URL: https://apd-ukraine.de/images/Deutsche_Agrargesetze/5.4.pdf.

14 Технический регламент «Требования к безопасности удобрений» (утв. Приказом министра сельского хозяйства Республики Казахстан 29.04.2020 г. № 143). URL: https://www.alta.ru/tamdoc/20kz0143/.

15 Кручинина В.М. Государственное регулирования рынка органической продукции в России // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 2 (72). С. 296–305. doi:10.20914/2310–1202–2017–2–296–305

16 Kruchinina V. M., Ryzhkova S. M. Consumer Cooperation in Russia in the Digital Economy // Complex Systems: Innovation and Sustainability in the Digital Age. Springer, Cham, 2020. P. 215-224. doi: 10.1007/978–3–030–44703–8_24

17 Пелькова С.В., Кольцова Т.А. Действующая система государственной поддержки малого предпринимательства в Тюменской области // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 1. С. 340–349. doi:10.20914/2310–1202–2020–1–340–349

18 Попов В.Н., Корнеева О.С., Искусных О.Ю., Искусных А.Ю. Инновационные способы переработки биоотходов птицеводства // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 1. С. 194–200. doi:10.20914/2310–1202–2020–1–194–200

19 Шаркова А.В., Прудникова А.А., Веселовский Л.Б и др. Трансформация предпринимательской деятельности: новые технологии, эффективность, перспективы. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2021. 374 с.

20 Рыжкова С.М. Тенденции развития рынка плодоовощной продукции России в условиях санкций // Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2019. № 2. С. 86–96.

21 Шаркова А.В., Килячков Н.А., Белобрагин В.В. и др. Концепция эффективного предпринимательства в сфере новых решений, проектов и гипотез. 3-е изд. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2021. 641 с.

References

1 1 Sharkova A.V., Shapkin I.N., Chaldaeva L.A. and others. Development of entrepreneurship: innovation, technology, investment: 2nd ed. Moscow, Publishing and trade corporation "Dashkov and Co", 2021. 352 p. (in Russian).

2 Günther S., Grunert M., Müller S. Overview of recent advances in phosphorus recovery for fertilizer production. Engineering in life sciences. 2018. vol. 18. no. 7. pp. 434-439. doi: 10.1002/elsc.201700171

3 FAO. 2019. The international Code of Conduct for the sustainable use and management of fertilizers. Rome, Italy. doi: 10.4060/CA5253EN Available at: http://www.fao.org/ 3/ca5253en/ca5253en.pdf. Rome, 2019.

4 Forecast of long-term socio-economic development of the Russian Federation until 2036. Available at: https://www.economy.gov.ru/material/file/a5f3add5deab665b344b47a8786dc902/prognoz2036.pdf (in Russian).

5 Forecast of scientific and technological development of the agro-industrial complex of the Russian Federation for the period up to 2030. Available at: http://docs.cntd.ru/ /document/456038646 (in Russian).

6 GOST R 57079–2016. Biotechnology. Biotechnology product classification. Avaialble at: https://www.fbras.ru/ wp-content/uploads/2015/03/GOST-R 57079–2016.pdf (in Russian).

7 Ivanov D.A., Sitnikov A.I., Shlyapin S.D. Composite materials: textbook for universities. Moscow, Yurayt Publishing House, 2019. 253 p. (in Russian).

8 Compositions with controlled release of fertilizers and methods for their production. Available at: https://findpatent.ru/ patent/219/2194686.html (in Russian).

9 On state regulation of ensuring the fertility of agricultural lands: Federal Law of July 16, 1998, No. 101 FZ. Available at: https://base.garant.ru/ 12112328 (in Russian).

10 Action plan ("road map") for the development of the production of mineral fertilizers for the period up to 2025: order of the Government of the Russian Federation of March 29, 2018 No. 532 r. Available at: http://static.government.ru/media/ files/eAccQzV2dI2dPEWykXdsh2SeL5U7Re4j.pdf (in Russian).

11 Law on Fertilizers and Soil Improvers. Croatia. Available at: https://www.ecolex.org/details/legislation/law-on-fertilizers-and-soil-improvers-lex-faoc106199.

12 Law on fertilizers of the Republic of Montenegro. Available at: https://www.wto.org/ english/thewto_e/acc_e/ cgr_e/WTACCCGR30A2_LEG_2.pdf.

13 Law on Fertilizers of 9 January 2009 (BGBl. IS. 54, 136), as last amended pursuant to article 370 of the Ordinance of 31 August 2015 (BGBl. I S. 1474). Available at: https://apd-ukraine.de/images/Deutsche_Agrargesetze/5.4.pdf.

14 Technical Regulations "Requirements for the safety of fertilizers" (approved by Order of the Minister of Agriculture of the Republic of Kazakhstan on April 29, 2020, No. 143). Available at: https://www.alta.ru/tamdoc/20kz0143/ (in Russian).

15 Kruchinina V.M. State regulation of the organic products market in Russia. Proceedings of VSUET. 2017. vol. 79. no. 2 (72). pp. 296-305.doi:10.20914/2310–1202–2017–2–296–305 (in Russian).

16 Kruchinina V. M., Ryzhkova S. M. Consumer Cooperation in Russia in the Digital Economy. Complex Systems: Innovation and Sustainability in the Digital Age. Springer, Cham, 2020. pp. 215-224. doi: 10.1007/978–3–030–44703–8_24

17 Pelkova S.V., Koltsova T.A. The current system of state support for small business in the Tyumen region. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 1. pp. 340–349. doi: 10.20914 / 2310–1202–2020–1–340–349 (in Russian).

18 Popov V.N., Korneeva O.S., Iskusnykh O.Yu., Iskusnykh A.Yu. Innovative ways of processing poultry biowaste. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 1. pp. 194–200. doi: 10.20914/2310–1202–2020–1–194–200 (in Russian).

19 Sharkova A.V., Prudnikova A.A., Veselovsky L.B. et al. Transformation of entrepreneurial activity: new technologies, efficiency, prospects. Moscow, Publishing and Trade Corporation "Dashkov and Co", 2021. 374 p. (in Russian).

20 Ryzhkova S.M. Trends in the development of the Russian fruit and vegetable market under sanctions. Fundamental and Applied Research of the Cooperative Sector of the Economy. 2019. no. 2. pp. 86–96. (in Russian).

21 Sharkova A.V., Kilyachkov N.A., Belobragin V.V. et al. The concept of effective entrepreneurship in the field of new solutions, projects and hypotheses. 3rd ed. Moscow, Publishing and Trade Corporation "Dashkov and Co", 2021. 641 p. (in Russian).

Сведения об авторах

Светлана М. Рыжкова к.э.н., вед. науч. сотр., отдел маркетинга и развития продуктовых рынков, Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства, Хорошевское шоссе, д. 35/2, г. Москва, 123007, Россия, smr.market@vniiesh.ru
https://orcid.org/0000-0002-1908-0747

Валентина М. Кручинина к.э.н., вед. науч. сотр., отдел маркетинга и развития продуктовых рынков, Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства, Хорошевское шоссе, д. 35/2, г. Москва, 123007, Россия, vmk.market@vniiesh.ru
https://orcid.org/0000-0003-0811-796X

Information about authors

Svetlana M. Ryzhkova Cand. Sci. (Econ.), senior research fellow, marketing and development of food markets department, All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Khoroshevskoe h., 35/2, Moscow, 123007, Russia, smr.market@vniiesh.ru
https://orcid.org/0000-0002-1908-0747

Valentina M. Kruchinina Cand Sci. (Econ.), senior research fellow, marketing and development of food markets department, All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Khoroshevskoe h., 35/2, Moscow, 123007, Russia, vmk.market@vniiesh.ru
https://orcid.org/0000-0003-0811-796X

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 28/01/2021	**После редакции** 18/02/2021	**Принята в печать** 02/03/2021
Received 28/01/2021	**Accepted in revised** 18/02/2021	**Accepted** 02/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-421-428 Оригинальная статья/Research article
УДК 360 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Взаимное влияние развития рынка труда и течения пандемии COVID-19

Наталья В. Шишкина [1] natalia.schischkina@ya.ru 00000-0002-2103-749X
Екатерина А. Мамистова [1] mea.vsau@gmail.com 0000-0002-7820-4754
Татьяна В. Сабетова [1] tsabetova@mail.ru 0000-0002-4414-284X

1 Воронежский ГАУ, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия

Аннотация. В данной статье рассматриваются экономические последствия пандемии COVID-19 для рынка труда и человеческого капитала. В частности, изучаются проблемы, которые пандемия вызвала в человеческих ресурсах и персонале организаций во время локдаунов по коронавирусу. Высокий уровень глобализации, характерный для современной экономики, лишь усугубил негативное влияние пандемии. На настоящий момент остается невозможным оценить качественные и количественные параметры ущерба, нанесенного экономике стран и регионов данным событием. Однако можно выявить основные направления анализа последствий пандемии, в том числе в части влияния на состояние рынка труда, что и явилось основной целью настоящего исследования. В частности, авторы выделяют ряд последствий, работа над преодолением которых еще предстоит российской социально-экономической системе. Наиболее очевидным из них является рост безработицы, высвобождение части занятых и сокращение числа рабочих мест, причем наблюдаемое крайне неравномерно по отраслям экономики. Тем не менее, авторы указывают на то, что проблема высвобождения кадров усугубляется величиной доли неофициальной занятости на рынке труда, особенно – в наиболее пострадавших от пандемии отраслях сферы общественного питания, досуга, туризма. В качестве второй важной проблемы авторы указывают на неэффективное сокращение персонала, увольнение полезных и ценных сотрудников одних организаций при сохранении излишне раздутого штата других. Также упоминается о причинах и формах сохранения персонала, часть из которых, являясь либо вынужденными, либо экономически и технологически привлекательными, порождают дополнительные проблемы. Авторы называют важным социальным последствием пандемии сокращение количества и уровня личных контактов в обществе, в частности, в трудовых коллективах. В итоге предлагается авторское видение долгосрочных последствий происходящих событий для состояния рынка труда, занятости населения и экономики в целом.

Ключевые слова: рынок труда, COVID-19, человеческий капитал, экономическое влияние, пандемия, безопасность персонала

Mutual effect of labour market development and COVID-19 pandemic progression

Natalia V. Shishkina [1] natalia.schischkina@ya.ru 00000-0002-2103-749X
Ekaterina A. Mamistova [1] mea.vsau@gmail.com 0000-0002-7820-4754
Tatiana V. Sabetova [1] tsabetova@mail.ru 0000-0002-4414-284X

1 Voronezh State Agricultural University, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia

Abstract. This paper tackles the economic impacts of COVID-19 pandemic on the labor markets and human capital. Specifically, it looks into the issues the pandemic brought upon the human resources and personnel during coronavirus lockdowns. The high level of globalization characteristic of the modern economy has only exacerbated the negative impact of the pandemic. At the moment, it remains impossible to assess the qualitative and quantitative parameters of the damage caused to the economies of countries and regions by this event. However, it is possible to identify the main directions of analysis of the consequences of the pandemic, including in terms of the impact on the state of the labor market, which was the main goal of this study. In particular, the authors highlight a number of consequences, the work on overcoming which is still to be done by the Russian socio-economic system. The most obvious of them is the growth of unemployment, the release of part of the employed and the reduction in the number of jobs, and this is observed extremely unevenly across the sectors of the economy. Nevertheless, the authors point out that the problem of staff release is aggravated by the size of the share of informal employment in the labor market, especially in the sectors of public catering, leisure and tourism that have been most affected by the pandemic. As the second important problem, the authors point to ineffective staff reduction, the dismissal of useful and valuable employees of some organizations while maintaining an unnecessarily bloated staff of others. It also mentions the reasons and forms of staff retention, some of which, being either forced or economically and technologically attractive, give rise to additional problems. The authors call an important social consequence of the pandemic a reduction in the number and level of personal contacts in society, in particular, in working groups. As a result, the author's vision of the long-term consequences of current events for the state of the labor market, employment of the population and the economy as a whole is proposed.)

Keywords: labor market, COVID-19, human capital, economic impact, pandemic, personnel security

Для цитирования
Шишкина Н.В., Мамистова Е.А., Сабетова Т.В. Взаимное влияние развития рынка труда и течения пандемии COVID-19 // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 421–428. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-421-428

For citation
Shishkina N.V., Mamistova E.A., Sabetova T.V. Mutual effect of labour market development and COVID-19 pandemic progression. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 421–428. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-421-428

© 2021, Шишкина Н.В. и др. / Shishkina N.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Весной 2020 года Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) объявила, что мир столкнулся с новой пандемией – беспрецедентным распространением нового коронавируса, известного как SARS-CoV-2 или COVID-19. Благодаря широкому освещению в СМИ и информационному потоку она вскоре начала влиять на поведение потребителей, внося страх и неуверенность и, следовательно, ухудшая состояние рынков [2]. Рынок труда и человеческий капитал первыми ощутили эти эффекты из-за роста безработицы, отсутствия гарантий занятости и сокращения возможностей карьерного роста из-за распространения COVID-19 по всему миру [8–20].

Пандемия COVID-19 уже вызвала экономический кризис, который со временем может проявиться еще сильнее и даже превзойти Великую депрессию 1930-х годов [6]. Сейчас крайне трудно оценить чистые затраты (которые понимаются как дополнительные расходы по сравнению с затратами на локдауны плюс падение доходов государства), но можно сказать наверняка две вещи: во-первых, государство не должно «экономить» за счет сокращения локдаунов и тестирования, потому что более успешными признаются те страны, которые эффективно останавливают распространение болезни; во-вторых, чем больше правительство тратит в данной нестандартной ситуации, обеспечивая минимальный доход людям или субсидируя компании, которые не уволили своих сотрудников или доходы которых резко упали, тем меньше будет экономический спад, с которой столкнется страна в ближайшем будущем.

Беспрецедентное влияние COVID-19 на экономические и социальные отношения во всем мире, а также на рынки труда, во многом связано с продолжающейся глобализацией, из-за которой передача вируса между континентами стала делом недель и даже дней. Одновременно становится очевидным, что последствия пандемии COVID-19 для рынка труда будут долгосрочными [4, 7]. Даже если предположить, что экономический спад уже сейчас, в начале 2021 года подходит к концу, любой крупной национальной экономике, даже сильной и здоровой до начала пандемии, потребуется несколько месяцев, чтобы вернуться к экономическим показателям до спада и восстановить стабильный спрос на рабочую силу. Например, по оценкам американских экономистов, Соединенным Штатам может потребоваться до двух лет, чтобы вернуться к уровню безработицы, существовавшему до COVID-19, а полное восстановление из текущего состояния может занять гораздо больше времени [5]. Однако сами по себе количественные параметры безработицы и уровень доходов работающих граждан представляются авторам отнюдь не единственными изменениями, которые происходят и еще будут происходить в результате распространения нового заболевания, а также в ходе реализации мер по борьбе с ним.

Методы

В настоящий момент в России еще не собран достаточный объем статистической информации, касающейся состояния рынка труда, а также размеров и структуры доходов и расходов населения, для того, чтобы провести обоснованный и методически корректный анализ последствий пандемии и ее влияния на рынок труда [3]. Поэтому для анализа большинство исследователей прибегают либо к текущим, постоянно меняющимся данным, либо к собственным наблюдениям, либо к комбинации того и другого [1].

Тем не менее, даже имеющиеся наблюдения, оперативная информация от СМИ, а также немногочисленные квантифицируемые данные позволяют выявить некоторые возможности и тенденции, позволяющие сформулировать направления, по которым можно ожидать изменений в отдельных сегментах рынка труда, причем таких, которые продолжат оказывать свое влияние на них гораздо дольше, чем сохранится эпидемиологическая угроза. Одновременно необходимо отметить, что некоторые особенности рынка труда, особенностей условий труда и остальных аспектов трудовой жизни сами, в свою очередь, влияют на распространение заболевания.

Дискуссия

Наиболее очевидным для большинства исследователей и просто для граждан России последствием распространения коронавирусной инфекции и последующего прекращения деятельности одних организаций и перевода других на особые режимы работы стали массовые увольнения и рост безработицы. Первыми оказались под ударом сотрудники отраслей, попавших под полный запрет деятельности весной 2020 года, затем – тех предприятий, которые не смогли за короткий летний период восстановиться, затем – тех предприятий, кризисные явления в которых имели не столь выраженный, но затяжной характер.

Следует отметить, что немаловажным аспектом данной проблемы выступает не только сам факт высвобождения значительного числа трудоспособных граждан, сколько абсолютная неравномерность и «несправедливость» такого высвобождения, если такой термин допустим для научного исследования. В результате уровень защищенности работающих, рисков потери ими возможностей занятости оказался гораздо выше, чем уровень роста непосредственно безработицы.

Во-первых, практически сразу стали очевидны все угрозы и риски, связанные с занятостью в теневом секторе экономики и на теневых рабочих местах вроде бы официально работающих компаний. Так сложились обстоятельства, что именно отрасли с большим количеством занятых неофициально пострадали более других: торговля, общественное питание, культурно-досуговая сфера, туризм. Ряд предприятий оказались в состоянии даже получить государственные субсидии за сохранение штата, при этом высвободив тех, кто был занят без оформления трудового договора и других документов. Выявить масштаб данного явления не представляется возможным, так как неформально занятые не фигурируют нигде как занятые, а их высвобождение также не фиксируется органами статистики.

Одновременно государственные организации полностью сохраняют штат своих сотрудников. Более того, можно наблюдать ситуации, когда лиц старше 65 лет не только не увольняют, но при обычном режиме работы остальной части коллектива переводят на удаленную занятость. В некоторых случаях работа «на удаленке» практически ничем не отличается от обычной, но нередки и ситуации, когда обеспечить выполнение трудовых обязанностей работающего пенсионера в дистанционном режиме не представляется возможным либо из-за особенностей порученных трудовых функций, либо из-за элементарной цифровой безграмотности исполнителя. Однако и в этих случаях высвобождения работника не происходит, он продолжает получать стандартную оплату труда, а его обязанности неформально распределяются среди оставшихся на рабочем месте, причем без какой-либо материальной компенсации.

В результате на рынке труда занятость и безработица вообще перестали коррелировать с компетенциями и трудовым поведением участников. Уволенными оказываются лица, полностью соответствующие требованиям своих рабочих мест, а лица, не только не соответствующие им, но и не стремящиеся к этому, остаются занятыми. В некоторой степени адекватной платой за риск остается лишь оплата труда. Наблюдения показывают, что описанный вариант занятости работников старшего поколения с сохранением оплаты, но фактически без исполнения трудовых функций имеет место сравнительно редко и охватывает исключительно низкооплачиваемые рабочие места, даже в бюджетных организациях. Для рабочих мест с оплатой труда выше средней по региону вопрос решается другими способами, что указывает, как минимум, на возможность такого решения.

Еще одним вариантом сохранения работников в период пандемии стал перевод на дистанционную работу всего трудового коллектива без исключений. Такое развитие событий представляется наиболее очевидным и логичным, так как позволяет организации вести свою обычную деятельность, сохранять коллектив и при этом дистанцировать работников друг от друга, снижая риск распространения инфекции. Однако данное решение вызывает к жизни целый ряд проблем и диспропорций, в том числе оказывающих существенное искажающее воздействие на рынок труда и процессы, связанные с экономическим использованием человеческого потенциала. Авторы ни в коем случае не настаивают на повсеместном и неизбежном существовании явлений и процессов, описываемых ниже, но лишь подчеркивают, что все упомянутые случаи имеют место, хотя одни из них встречаются чаще, другие реже.

1. Несмотря на то, что дистанционная занятость на самых разных типах рабочих мест и в разных отраслях появилась задолго до 2020 года и, по наблюдениям авторов, достаточно быстро развивалась, она до сих пор остается законодательно не урегулированной и потенциально позволяющей нарушать многие требования Трудового кодекса РФ. Массовое преобразование рабочих мест в дистанционные не столько позволило выявить проблемы такого характера, сколько многократно усугубило их и одновременно привело к их осознанию широкими слоями как наемных работников, так и руководителей, а также академического сообщества. Важнейшей из проблем, возникающих в случае реализации дистанционного исполнения трудовых обязанностей, нам представляется ненормированность рабочего времени. Ранее значительная часть лиц, занятых дистанционно, искала такую занятость не как единственный вид трудовой деятельности, а как дополнительную занятость, позволяющую увеличить доходы. Очевидно, что часто это приводило к удлинению рабочего дня сверх всяких допустимых с точки зрения сохранения здоровья и работоспособности пределов, однако, по крайней мере, это был личный выбор самого занятого. В условиях же тотального перехода занятости целых категорий работников в дистанционную форму значительная часть граждан оказалась вынуждена работать сверхурочно без альтернативы и при этом без материальной компенсации.

2. Дистанционная занятость в целом ряде организаций привела к возникновению резкого неравенства в распределении трудовых обязанностей. Часть сотрудников быстро освоили новые

технологии либо уже и ранее владели ими, и объективно оказались в состоянии выполнять большой объем работ даже при сохранении нормального режима труда и отдыха. Другая же часть занятых не смогла адаптироваться достаточно быстро, причем среди причин этого наблюдаются как объективные затруднения, вызванные недостатками обучения сотрудников, так и субъективные, вплоть до нежелания и открытого отказа осваивать необходимые при данном развитии событий новшества. Между тем, далеко не все работодатели сочли нужным в этой ситуации разбираться в каждом конкретном случае. Особенно в бюджетной сфере до сих пор, через 9 месяцев после первых попыток увести деятельность в цифровую среду, наблюдаются случаи неспособности отдельных сотрудников выполнить поручаемые им задания. Эта неспособность не приводит ни к высвобождению работника, ни к его дообучению, но лишь к перераспределению обязанностей, возложению их в качестве дополнительных на других членов коллектива, успешно справляющихся со своей частью работы.

3. Если оснащение рабочих мест в офисе практически всегда является обязанностью работодателя, то техническое оснащение, обеспечение средств связи, равно как и создание нормальных условий труда в случае перехода на телеработу почти всеми компаниями было переложено на самих сотрудников. С одной стороны, необходимые для работы в цифровой среде устройства у большинства таких занятых уже имелись в силу особенностей их работы. С другой стороны, многим работникам пришлось если не полностью оснащать свое рабочее место всем необходимым в момент перехода на телеработу, то пополнять имеющийся набор устройств и программного обеспечения. Данные затраты большинством организаций компенсированы не были, следовательно, они сократили чистый доход сотрудников. Стоит отметить, что в большинстве случаев данные расходы не становятся для граждан непосильными и требующими принятия тех или иных радикальных решений – от кредитования до увольнения. Тем не менее, в будущем такое явление может оказать существенное искажающее воздействие на трудовые отношения.

4. Массовая дистанционная занятость породила существенное снижение контроля исполнения работниками своих трудовых обязанностей. Известны даже случаи официального признания за работниками права не исполнять часть своих обязанностей. Например, широко известны и распространены такие случаи при дистанционном обучении школьников. При существовании расписания, включающего 5–7 уроков в день, во многих школах и отдельных классах неделями не проводился ни один из них. Более того, на уровне муниципальных образований были приняты решения о запрете проведения более двух уроков в день с использованием компьютерной техники, якобы во избежание нанесения вреда здоровью несовершеннолетних. Фактически же задача по разъяснению тем и заданий из учебников была переложена на родителей либо репетиторов, а у учителей нагрузка в 5–6 уроков в день преобразовалась в 1–2 урока, а часто – в полную их отмену, с сохранением лишь функции проверки домашних заданий.

В-третьих, результатом изменений трудовой жизни, связанных с пандемией, стало резкое сокращение как деловых, так и неформальных контактов между работниками. По сути, трудовые коллективы, характеризующиеся не только формальным распределением обязанностей и координацией действий, но и личными отношениями, морально-психологическим климатом, наличием и динамикой конфликтов и т. д., распались. В организациях сохранились вертикальные коммуникации, так как работники остаются обязанными получать от руководителей задания и пояснения по их выполнению, а также сдавать результаты своей работы, а также необходимый минимум горизонтальных связей в рабочих группах, объединенных общностью исполняемых функций или трудовой кооперацией. С одной стороны, это существенно облегчает труд руководителей, так как позволяет отвлечься от разрешения межличностных противоречий и сосредоточиться только на рабочих вопросах. С другой стороны, на долгосрочной перспективе это может привести к существенным изменениям в жизни организаций, в частности, за счет кардинального преобразования или даже полного распада их корпоративной культуры.

В-четвертых, ряд отраслей в силу своего технологического процесса не подразумевает возможности каких-либо изменений под влиянием новой угрозы или любых других обстоятельств. В результате возникают не просто различия в специфике деятельности в разных отраслях и предприятиях, но принципиально разные условия труда с позиции их опасности, имеющихся рисков. Для смягчения их влияния и работодатели, и сами работники вынуждены соблюдать определенные правила, а в отдельных случаях – и нести затраты. При этом риск заражения все равно остается выше, чем в других компаниях.

Здесь уместно отметить, что и специфика самого рынка труда и отдельных его сегментов также способна в обратном направлении оказывать влияние на распространение инфекции, хотя этому вопросу пока уделяется мало внимания, так как считается, что такое влияние ничтожно по своему масштабу.

1. Большой теневой сектор рынка труда, в котором занято много граждан, условия работы которых в новой ситуации никак не учтены, не контролируются и не подвергаются регулирующему воздействию создает отдельные потенциальные очаги распространения заболевания, которые могут быть выявлены только постфактум.

2. Практика несоблюдения частью работодателей требований законодательства в части создания тех или иных условий труда распространилась и на сложившуюся в 2020 году ситуацию. Некоторые из них нарушают устанавливаемые правила сами, другие – не принуждают к соблюдению ограничений своих сотрудников, и даже известны случаи, когда никто не препятствует занятости непосредственно на территории организации лиц, у которых официально подтвержден положительный анализ на наличие COVID-19. Очевидно, что такие случаи остаются единичными благодаря усилиям органов власти, однако и они подвергают угрозе жизни и здоровье некоторого числа граждан, и при этом формируют определенные отношения в трудовом коллективе и с его руководством, которые могут негативно сказаться на будущей работе организаций.

3. Недостаточный уровень цифровизации ряда услуг, которые могли бы предоставляться без непосредственного контакта с клиентом, равно как и уровень цифровой грамотности в сочетании с распространенным недоверием (тоже вполне обоснованным из-за безответственного отношения исполнителей) к бесконтактным способам общения также способствуют распространению вируса.

Оказывает свое влияние на рынок труда и общее депрессивное состояние экономики, вызванное наложенными ограничениями. Рост безработицы, как известно, приводит к сокращению ВВП. Но и сокращение ВВП приводит к росту безработицы, снижению доходов, в том числе работающих граждан. Сложившаяся же ситуация не только вызывает общее сокращение потребления, но и существенно искажает его пропорции, причем как за счет непропорционального изменения цен на товары и услуги, так и за счет изменения структуры потребностей населения.

Результаты

Исходя из всего сказанного, авторам представляются наиболее реалистичными следующие долгосрочные последствия пандемии COVID-19 для рынка труда и национальной экономики в целом:

1. Структурная перестройка. Не только в народнохозяйственной системе развиваются или сохраняются одни отрасли и одновременно деградируют и теряют позиции другие, причем на настоящий момент трудно предположить, какие отрасли и предприятия окажутся в том или другом положении по завершении прямых ограничительных мер. То же самое относится к профессиям и сферам применения труда. Например, торговля и общественное питание уже сейчас вступили в этап преобразования: клиенты пользуются доставкой не только в те периоды, когда лично обратиться за покупками не могут, но и в другое время, сочтя, что это удобный для них способ получения товара. Логично предположить, что новые формы потребления могут прижиться в обществе на долгосрочной перспективе. Аналогичная ситуация в образовании: дистанционные способы взаимодействия преподавателя и обучающегося многими одобряются, причем это особенно относится к контактам один на один. В результате могут произойти изменения на рынке труда, когда часть профессий быстро станет гораздо более востребованной, а часть – наоборот.

2. Ряд профессий по той же причине может претерпеть внутренние изменения, при которых изменятся трудовые обязанности исполнителей без изменения их формального статуса. Соответственно изменится отбор персонала, а также могут проявиться новые особенности подготовки к исполнению профессиональных обязанностей. Вместе со спецификой работы может измениться и система мотивации, а следовательно – стимулирования труда.

3. Изменения в характеристиках трудового потенциала. Подготовка кадров, начиная с начальной школы и заканчивая защитой выпускных квалификационных работ в вузах, проходящая частично или полностью с использованием дистанционного формата, не может не оказать влияния на набор и уровень сформированности целевых компетенций, причем как профессиональных, так и социальных. В настоящий момент времени все указывает на то, что использование данного формата сохранится в системе подготовки кадров и на перспективу, после окончания пандемии и связанных с ней ограничений. Никаких доказательств позитивного вектора в указанных изменениях пока не наблюдается. Также в обозримом будущем можно предсказать отрицательную динамику состояния психо-физиологических компетенций населения. Резкое удорожание лекарств, стресс, вызываемый нагнетанием обстановки через СМИ, а также отказ от обращения к врачам, отчасти стимулируемый самими учреждениями здравоохранения (справедливости ради стоит указать –

действительно перегруженными работой) – все это может привести к распространению проблем со здоровьем среди значительной части жителей страны, в том числе трудоспособных.

4. Изменения в корпоративной культуре многих организаций. Прежде всего, они могут возникать в тех компаниях, которые перевели всех или значительную часть сотрудников на дистанционный режим работы, так как в них могут нарушаться личные связи и отношения в группах, которые, хотя и не всегда положительно воздействуют на морально-психологический климат, все же являются нормальной, обязательной составляющей внутренней среды организации. Однако повышенное психологическое напряжение последнего года может сказаться и на деятельности тех коллективах, все члены которых остались на своих рабочих местах, а также на организациях, которые были вынуждены уволить часть сотрудников. Наименее благоприятной является ситуация, когда высвобождение кадров происходит безотносительно их личных компетенций, так как в результате указанные компетенции обесцениваются в глазах всех сотрудников, включая оставшихся на рабочих местах и даже вновь принятых, а это, в свою очередь, ведет к ослаблению усилий носителей по их формированию и развитию.

5. Переоценка стоимости компетенций. За вышеперечисленными изменениями последует переоценка характеристик человеческого потенциала, более ценными окажутся те, которые в настоящее время ценятся сравнительно невысоко.

6. При дальнейшем развертывании государственных мер по поддержке платежеспособности населения может получить толчок к росту сектор самозанятости и микропредпринимательства. Такая деловая инициатива граждан носит вынужденный характер, однако может быть признана скорее положительным результатом происходящих событий, чем негативным. С другой стороны, если мер поддержки платежеспособного спроса окажется недостаточно, произойдет сокращение потребления, которое за 2–3 года может войти в привычку и даже систему ценностей населения и не прекратиться по мере исчезновения экономических и естественных причин, породивших его.

Заключение

В целом, пандемия COVID-19 может привести к целому ряду последствий для рынка труда, причем некоторые глубокие изменения имеют большие шансы сохраниться надолго. Хотя человечество едва ли могло предвидеть экономические последствия пандемии COVID-19, которая привела к резкому увеличению числа смертей во всем мире и ухудшению экономической ситуации, можно наблюдать свидетельства такого влияния, а также действия ответных мер со стороны государственных структур.

Литература

1 Журкина Т.А., Сабетова Т.В. Информационное обеспечение контроля использования трудовых ресурсов // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России: материалы национальной научно-практической конференции. 2019. С. 152-157.

2 Сабетова Т.В. Взаимное влияние качества человеческого потенциала и социально-экономического развития территории // Финансовый вестник. 2018. № 2 (41). С. 70-81.

3 Сабетова Т.В. Новый подход к классификации источников доходов населения // Экономика труда. 2018. Т. 5. № 2. С. 587-598.

4 Al-Fadly A. Impact of COVID-19 on SMEs and employment //Entrepreneurship and Sustainability Issues. 2020. V. 8. №. 2. P. 629. doi: 10.9770/jesi.2020.8.2(38)

5 Cutler D.M., Summers L.H. The COVID-19 pandemic and the $16 trillion virus // Jama. 2020. V. 324. №. 15. P. 1495-1496. doi: 10.1001/jama.2020.19759

6 Dvorak M., Rovny P., Grebennikova V., Faminskaya M. Economic impacts of Covid-19 on the labor market and human capital // Terra Economicus. 2020. V. 18. №. 4. P. 78-96. doi: 10.18522/2073-6606-2020-18-4-78-96

7 Foss N.J. The impact of the Covid-19 pandemic on firms' organizational designs // Journal of Management Studies. 2020. doi: 10.1111/joms.12643

8 Lemieux T., Milligan K., Schirle T., Skuterud M. Initial impacts of the COVID-19 pandemic on the Canadian labour market // Canadian Public Policy. 2020. V. 46. №. S1. P. S55-S65. doi: 10.3138/cpp.2020–049

9 Borjas G. J., Cassidy H. The adverse effect of the covid-19 labor market shock on immigrant employment // National Bureau of Economic Research, 2020. №. w27243.

10 Gallant J. et al. Temporary unemployment and labor market dynamics during the COVID-19 recession // National Bureau of Economic Research, 2020. №. w27924.

11 Bartik A.W., Bertrand M., Lin F., Rothstein J. et al. Measuring the labor market at the onset of the COVID-19 crisis // National Bureau of Economic Research, 2020. №. w27613.

12 Kikuchi S., Kitao S., Mikoshiba M. Who suffers from the COVID-19 shocks? Labor market heterogeneity and welfare consequences in Japan // Journal of the Japanese and International Economies. 2021. V. 59. P. 101117. doi: 10.1016/j.jjie.2020.101117

13 Reichelt M., Makovi K., Sargsyan A. The impact of COVID-19 on gender inequality in the labor market and gender-role attitudes // European Societies. 2021. V. 23. №. 1. P. S228-S245. doi: 10.1080/14616696.2020.1823010

14 Albanesi S., Kim J. The Gendered Impact of the COVID-19 Recession on the US Labor Market // National Bureau of Economic Research, 2021. №. w28505.

15 Huang A., Makridis C., Baker M., Medeiros M. et al. Understanding the impact of COVID-19 intervention policies on the hospitality labor market // International Journal of Hospitality Management. 2020. V. 91. P. 102660. doi: 10.1016/j.ijhm.2020.102660

16 Heggeness M. L. Estimating the immediate impact of the COVID-19 shock on parental attachment to the labor market and the double bind of mothers //Review of Economics of the Household. 2020. V. 18. №. 4. P. 1053-1078. doi: 10.1007/s11150-020-09514-x

17 Kramer A., Kramer K.Z. The potential impact of the Covid-19 pandemic on occupational status, work from home, and occupational mobility. 2020. doi: 10.1016/j.jvb.2020.103442

18 Forsythe E. et al. Labor demand in the time of COVID-19: Evidence from vacancy postings and UI claims // Journal of public economics. 2020. V. 189. P. 104238. doi: 10.1016/j.jpubeco.2020.104238

19 Béland L. P., Brodeur A., Wright T. The short-term economic consequences of Covid-19: exposure to disease, remote work and government response. 2020.

20 Sakshaug J.W., Beste J., Coban M., Fendel T. et al. Impacts of the COVID-19 pandemic on labor market surveys at the German Institute for Employment Research // Survey Research Methods. 2020. V. 14. №. 2. P. 229-233. doi: 10.18148/srm/2020.v14i2.7743

References

1 Zhurkina T.A., Sabetova T.V. Information support of labour resource usage control. Priority directions of scientific and technological development of agro-industrial complex of Russia: Proc.conf. 2019. pp. 152–157. (in Russian).

2 Sabetova T.V. Mutual influence of human potential quality and socio-economic development of the territory. Financial bulletin. 2018. no. 2(41). pp.70-81. (in Russian)

3 Sabetova T.V. New approach to classification of the population's income sources. Labour economy. 2018. vol. 5. no. 2. pp. 587-598. (in Russian)

4 Al-Fadly A. Impact of COVID-19 on SMEs and employment. Entrepreneurship and Sustainability Issues. 2020. vol. 8. no. 2. pp. 629. doi: 10.9770/jesi.2020.8.2(38)

5 Cutler D.M., Summers L.H. The COVID-19 pandemic and the $16 trillion virus. Jama. 2020. vol. 324. no. 15. pp. 1495-1496. doi: 10.1001/jama.2020.19759

6 Dvorak M., Rovny P., Grebennikova V., Faminskaya M. Economic impacts of Covid-19 on the labor market and human capital. Terra Economicus. 2020. vol. 18. no. 4. pp. 78-96. doi: 10.18522/2073-6606-2020-18-4-78-96

7 Foss N.J. The impact of the Covid 19 pandemic on firms' organizational designs. Journal of Management Studies. 2020. doi: 10.1111/joms.12643

8 Lemieux T., Milligan K., Schirle T., Skuterud M. Initial impacts of the COVID-19 pandemic on the Canadian labour market. Canadian Public Policy. 2020. vol. 46. no. s1. pp. S55-S65. doi: 10.3138/cpp.2020–049

9 Borjas G. J., Cassidy H. The adverse effect of the covid-19 labor market shock on immigrant employment. National Bureau of Economic Research. 2020. no. w27243.

10 Gallant J. et al. Temporary unemployment and labor market dynamics during the COVID-19 recession. National Bureau of Economic Research. 2020. no. w27924.

11 Bartik A.W., Bertrand M., Lin F., Rothstein J. et al. Measuring the labor market at the onset of the COVID-19 crisis. National Bureau of Economic Research. 2020. no. w27613.

12 Kikuchi S., Kitao S., Mikoshiba M. Who suffers from the COVID-19 shocks? Labor market heterogeneity and welfare consequences in Japan. Journal of the Japanese and International Economies. 2021. vol. 59. pp. 101117. doi: 10.1016/j.jjie.2020.101117

13 Reichelt M., Makovi K., Sargsyan A. The impact of COVID-19 on gender inequality in the labor market and gender-role attitudes. European Societies. 2021. vol. 23. no. 1. pp. S228-S245. doi: 10.1080/14616696.2020.1823010

14 Albanesi S., Kim J. The Gendered Impact of the COVID-19 Recession on the US Labor Market. National Bureau of Economic Research. 2021. no. w28505.

15 Huang A., Makridis C., Baker M., Medeiros M. et al. Understanding the impact of COVID-19 intervention policies on the hospitality labor market. International Journal of Hospitality Management. 2020. vol. 91. pp. 102660. doi: 10.1016/j.ijhm.2020.102660

16 Heggeness M. L. Estimating the immediate impact of the COVID-19 shock on parental attachment to the labor market and the double bind of mothers. Review of Economics of the Household. 2020. vol. 18. no. 4. pp. 1053-1078. doi: 10.1007/s11150-020-09514-x

17 Kramer A., Kramer K.Z. The potential impact of the Covid-19 pandemic on occupational status, work from home, and occupational mobility. 2020. doi: 10.1016/j.jvb.2020.103442

18 Forsythe E. et al. Labor demand in the time of COVID-19: Evidence from vacancy postings and UI claims. Journal of public economics. 2020. vol. 189. pp. 104238. doi: 10.1016/j.jpubeco.2020.104238

19 Béland L. P., Brodeur A., Wright T. The short-term economic consequences of Covid-19: exposure to disease, remote work and government response. 2020.

20 Sakshaug J.W., Beste J., Coban M., Fendel T. et al. Impacts of the COVID-19 pandemic on labor market surveys at the German Institute for Employment Research. Survey Research Methods. 2020. vol. 14. no. 2. pp. 229-233. doi: 10.18148/srm/2020.v14i2.7743

Сведения об авторах

Наталья В. Шишкина д.э.н., профессор, кафедра экономической теории и мировой экономики, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул.Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, natalia.schischkina@ya.ru
https://orcid.org/00000-0002-2103-749X

Екатерина А. Мамистова к.э.н., доцент, кафедра экономической теории и мировой экономики, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул.Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, mea.vsau@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-7820-4754

Татьяна В. Сабетова к.э.н., доцент, кафедра управления и маркетинга в АПК, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул.Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, tsabetova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4414-284X

Information about authors

Natalia V. Shishkina Dr. Sci. (Econ.), professor, economics and global economy department, Voronezh State Agrarian University after the emperor Peter the Great, Michurina str., 1 Voronezh, 394087, Russia, natalia.schischkina@ya.ru
https://orcid.org/00000-0002-2103-749X

Ekaterina A. Mamistova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, economics and global economy department, Voronezh State Agrarian University after the emperor Peter the Great, Michurina str., 1 Voronezh, 394087, Russia, mea.vsau@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-7820-4754

Tatiana V. Sabetova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, management and marketing in afro-industrial complex department, Voronezh State Agrarian University after the emperor Peter the Great, Michurina str., 1 Voronezh, 394087, Russia, tsabetova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4414-284X

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 19/01/2021	**После редакции** 19/02/2021	**Принята в печать** 04/03/2021

Received 19/01/2021	**Accepted in revised** 19/02/2021	**Accepted** 04/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-429-434 Оригинальная статья/Research article
УДК 330 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Возможность использования инновационных моделей при уточнении наиболее оптимального подхода по управлению поведением коммерческой организацией

Марина Л. Лапшина [1] marina_lapshina@mail.ru 0000-0002-5057-1069
Оксана О. Лукина [2] oks.lukina@gmail.com 0000-0003-2658-1512

1 Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия
2 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Практическое моделирование использует не только теоретические подходы, но и управленческие вопросы, поэтому сравнивать теоретические и математические модели не совсем корректно. Понятие спроса существует как самостоятельная единица, имеет самостоятельное значение, а модель спроса представима в виде возрастающей кривой и как любая модель содержит различные явные и неявные условия. В работе приводится анализ существующих классификационных подходов по вопросу адаптации экономико-математических моделей в вопросе отыскания наиболее подходящих критериев оптимальности с точки зрения использования математического аппарата. Приведено детализированное представление структуры верхнего уровня, отражающая основные требования к информации, необходимой при составлении паспорта модели, также приведены условия, ограничивающие область существования оператора, определяющего соответствующую платежную матрицу произвольной игры. Проанализирована возможность установления числа ограничений на используемые варианты игры, не изменяющих содержательную составляющую игры, что позволит выбирать наиболее оптимальные стратегии для каждого случая. Предложенный и обоснованный, с точки зрения математической формализации, подход к принятию наиболее оптимального решения по управлению поведением коммерческой организации основанный на предварительном мониторинге экономического функционирования, представляет собой интерес с точки зрения следующих аспектов: возможности отождествления ключевых элементов, определяющих систему, в выборе формата, характеризующего состояние интересующих элементов; разработке виртуальной модели, воспроизводящей поведенческие особенности моделируемой системы.

Ключевые слова: модель, объект, аппарат, оптимизация, стратегия

The possibility of using innovative models to refine the most optimal approach to managing the behavior of a commercial organization

Marina L. Lapshina [1] marina_lapshina@mail.ru 0000-0002-5057-1069
Oksana O. Lukina [2] oks.lukina@gmail.com 0000-0003-2658-1512

1 Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozova, st. Timiryazev, 8, Voronezh, 394087, Russia
2 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Practical modeling uses not only theoretical approaches, but also management issues, therefore, it is not entirely correct to compare theoretical and mathematical models. The concept of demand exists as an independent unit, has an independent meaning, and the demand model is represented in the form of an increasing curve and, like any model, contains various explicit and implicit conditions. The paper provides an analysis of existing classification approaches on the adaptation of economic and mathematical models in the issue of finding the most appropriate criteria for optimality from the point of view of using the mathematical apparatus. A detailed representation of the top-level structure is given, reflecting the basic requirements for the information necessary for drawing up a model passport, and conditions are also given that limit the area of existence of an operator that determines the corresponding payment matrix of an arbitrary game. The possibility of establishing the number of restrictions on the used variants of the game, which does not change the content of the game, is analyzed, which will allow choosing the most optimal strategies for each case. The proposed and justified, from the point of view of mathematical formalization, approach to making the most optimal decision on managing the behavior of a commercial organization based on preliminary monitoring of economic functioning is of interest from the point of view of the following aspects: the possibility of identifying the key elements that determine the system in choosing a format that characterizes the state of the elements of interest; development of a virtual model that reproduces the behavioral features of the modeled system.

Keywords: model, optimization task, resources, coordination, industries

Введение

Актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена рядом существенных факторов, суть которых может быть сведена к следующему очевидному в настоящее время постулату: нецелесообразно рассматривать современную экономическую ситуацию в любой организации или в целом по отрасли без использования имитационных или математических методов и моделей. При этом нужно учитывать, что нет единообразных методологий исследования систем, базирующихся на экономико-математических подходах к анализу устойчивости и управляемости социальных систем, которые могут быть

Для цитирования
Лапшина М.Л., Лукина О.О. Возможность использования инновационных моделей при уточнении наиболее оптимального подхода по управлению поведением коммерческой организацией // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 429–434. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-429-434

For citation
Lapshina M.L., Lukina O.O. The possibility of using innovative models to refine the most optimal approach to managing the behavior of a commercial organization. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 429–434. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-429-434

© 2021, Лапшина М.Л. и др. / Lapshina M.L. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

использованы в различных организациях и отраслях, так как в любой ситуации подвергается индивидуальному анализу внешняя и внутренняя среда, определяющая направленность исследований. Все это диктует потребность в разработке теоретически аргументированного и практически реализуемого аппарата анализа влияния оптимального управления на дальнейшую стратегию организаций и целых регионов.

Практическое моделирование использует не только теоретические подходы, но и управленческие вопросы, поэтому сравнивать теоретические и математические модели не совсем корректно. Неразбериха между моделями такого сорта появляется еще на раннем при изучении экономической теории. Заметим, что понятие спроса существует как самостоятельная единица, имеет самостоятельное значение, а модель спроса представима в виде возрастающей кривой и как любая модель содержит различные явные и неявные условия.

Формализованное представление задачи

Вообще говоря, любая используемая в экономических исследованиях или управленческой практике экономико-математическая модель представляет собой самостоятельный объект, который не может полностью описывать происходящие процессы. Следовательно, экономико-математическую модель это автономный объект, способный отвечать на возникающие вопросы, с другой стороны, этот объект может и сам предъявлять требования различного характера в экономической или управленческой сфере. Для этого модели должна соответствовать определенная атрибутика, в том числе и паспорт модели, являющимся идентификатором моделей и позволяющим различать модели. Рассмотрим возможные варианты структуры верхнего уровня, которая может быть использована для классификации данных, отражаемых в паспорте модели:

1. Представление (указание) обозначенного объекта моделирования.

2. Список сторон функционирования объекта, которые должны быть отражены моделью.

3. Перечень вопросов, а также задач, реализация которых должна произойти с использованием построенной модели.

4. Детализированное описание исходного объекта моделирования, включающее его представление в виде целостной системы; при этом для упрощения будем использовать хорошо сформулированные экономико-математические предпосылки.

5. Формализованное представление аппарата, используемого при построении модели, набора переменных, их взаимосвязей и других частей модели.

6. Способы инструментального и функционального распознавания, используемые при построении модели.

7. Способ представления границ допустимого истолкования элементов модели.

Проведение усовершенствования и оптимизации структур организации, стремящейся повысить свою рентабельность, а также построение оптимальных математических моделей и наибольшая формализация поставленных задач, позволяют в полном объеме использовать средства вычислительной техники.

Первоначально зададимся вопросом: что мы можем сказать о числе аргументов числовой функции, учитывая область значений, которые она принимает сфере единичного радиуса? В общем случае ответ будет однозначен: ничего точно сказать нельзя. Однако, представляется возможным подтвердить, что иногда получит неожиданные оценки числа аргументов.

1. Первоначально сформируем форму, проанализировав квадратичную форму $f(x)=(Ax,x)$ с нормальным оператором A и пометив, используя круглые скобки, скалярное произведение принадлежащее соответствующему пространству Cn. Очевиден факт того, что число вершин многоугольника, определяющего числовую область матрицы, выстроенной в комплексной плоскости, не может ответить на вопрос о числе собственных чисел, с учетом их кратности, поскольку мы не знаем число вершин, находящихся внутри этого многоугольника. Известно лишь о существовании взаимно однозначного соответствия между вершинами многоугольника и собственными числами.

2. Отыщем плотность множества относительно центра, определенного как точка начала координатных осей. Первоначально сформулируем определение.

Определение. Величина w, в формуле (1), определяет плотность M относительно точки начала координат, определяющей центр:

$$w=\frac{1}{2}\sup\left\{\left(\sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}}+\sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}}\right)\frac{1}{\cos\frac{\varepsilon_{12}}{2}}\right\}, \qquad (1)$$

где ρ_i соответствует расстоянию между точками i и O, ε_{ij} определяет меньший из углов определенных векторами $\vec{\rho}_i$ и $\vec{\rho}_j$.

Найдем плотность числовой области соответствующего оператора в виде:

$$w(A)=\frac{1}{2}\max_{\lambda_i\neq\lambda_j}\left\{\left(\sqrt{\frac{|\lambda_i|}{|\lambda_j|}}+\sqrt{\frac{|\lambda_j|}{|\lambda_i|}}\right)\frac{1}{\cos\frac{\varepsilon_{ij}}{2}}\right\}$$

Плотность $w(A)$ представим const относительно преобразований плоскости, воспользовавшись определением диагональной доминанты:

$$|a_{ii}|\geq\sum_{i\neq j}|a_{ij}|,\ i=\overline{1,n}.$$

Затем сформулируем утверждение, которое будет использовано на этапе графической реализации модели управления коммерческой организации, помогающей проведению анализа различных ее вариантов с дальнейшим выбором наилучшего из них.

Утверждение. Реализация неравенства (2) строго соответствует условию существования матрицы с диагональным преобладанием в любом ортонормированном базисе, соответствующем оператору А.

$$w(A)\leq\sqrt{\frac{n}{n-1}},\ n\neq1 \qquad (2)$$

3. Вычисления опровергают факт существования диагонального доминирования у матрицы, определяющей суть задачи. В качестве примера такого сорта матриц можно назвать платежную матрицу в разделе линейного программирования [2]. Рассмотрим случай, в котором устроитель игры обозначает некоторую область выигрышей, на основе вероятностного подхода. Далее ему нужно выстроить такие правила, которые расположат выигрыш в нужной нам области. Игра по-прежнему должна остаться содержательной, что влечет к отсутствию диагональной доминанты в платежной матрице. Сформулированное утверждение приводит к равнозначности выполнения неравенства вида

$$w(A)>\sqrt{\frac{n}{n-1}},\ n\neq1 \qquad (3)$$

Очевидна необходимость геометрических построений при исследовании плотности $w(A)$. Формула (3) определяет условия размерности матрицы и, как следствие, число аргументов квадратичной формы (Ax,x):

$$n>\frac{w^2(A)}{w^2(A)-1} \qquad (4)$$

Допустим, что оператор А определяет платежную матрицу произвольной игры. При помощи (4) установим количество ограничений на используемые варианты игры:

$$N\geq1+\left[\frac{w^2(A)}{w^2(A)-1}\right].$$

После того как устроителем будет получено число стратегий игры, не меняющих ее содержательности, можно будет выстраивать стратегии для каждого случая.

Неравенство (4) подтверждает, что геометрическая плотность собственных чисел достигает единицы, что соответствует наименьшему возможному значению, и ее увеличение до больших размеров приводит к отсутствию диагонального доминирования.

Заметим, что геометрический анализ функциональных особенностей такого множества существенным образом находится под влиянием различных нюансов, определенных геометрической плотностью.

Проведенное исследование экономической составляющей коммерческой организации и формализация этого исследования, с учетом конкретизации возможности использования IT-технологий, идентификация составляющих компонент, отбор предпочтений в параметрах, уточняющих эту идентификацию, подтвердил возможность построения и дальнейшей эксплуатации имитационной модели управления с использованием операторного подхода.

Рассмотрим возможность использования многокритериального подхода к выбору наиболее адекватного управленческого решения. Величина случайного показателя двух и более альтернатив $f_i(A_r)$ и $f_i(A_i)$ зададим, воспользовавшись функцией распределения $p\{f_i(A_r)\geq b_r\}=\beta_r$, $p\{f_i(A_i)\geq b_i\}=\beta_i$ или двумя следующими соотношениями: $p\{f_i(A_r)\in\left[b_{ik}^i,b_{ik}^{i+1}\right]\}=\beta_{ik}^i$ и $p\{f_i(A_i)\in\left[b_{ik}^i,b_{ik}^{i+1}\right]\}=\beta_i^i, i=0,...,T$.

Через b_{ik} и b_{ik}^i обозначим i-й параметр эффективности, $k=1,...,K$, а β_i, β_{ik}, β_{ik}^i,β_i^i вероятности того, что значение его в альтернативных вероятностях не превзойдет значения β_i или принадлежат интервалу значений.

Сравнение одинакового показателя эффективности у двух различных альтернатив допускает рассмотрение различных детерминированных величин, которые устанавливаются с использованием вероятностного подхода:

$$\varphi_{ik}(A_k)=p\{f_i(A_i)\geq b_{ik}\}=\int_{-\infty}^{b_k}f_i(x\mid A_r)dx$$

$$\varphi_{ik}(A_k)=p\{f_i(A_i)\leq d_{ik}\}=\int_{b_k}^{+\infty}f_i(x\mid A_r)dx$$

Значение показателя, достижение которого гарантируется, с вероятностью, не ниже априорной:

$$\varphi_{ik}(A_k) = \{\overline{b}_{ik}^{\,i} \mid p[f_i(A_i) \geq \overline{b}_{ik}] \geq \beta_{ik}\}$$
$$\varphi_{ik}(A_k) = \{d_{ik} \mid p[f_i(A_i) \leq d_{ik}] \geq \gamma_{ik}\}$$

Также, показателями могут служить моменты более высоких порядков. Полагаем, что условия $\leq_{\mathrm{Re}}$ или $\geq_{\mathrm{Re}}$ соответствуют условиям приоритетности одной функции распределения перед другой в соответствующую сторону.

Кроме этого, в роли таких показателей могут выступать моменты распределения более высоких порядков

$$\varphi_{ki}(A_r) = S\{f_1(A_r)\} = \sum_{i=1}^{T}\left[m_i f_1(A_r) - b'_{ik} \right]^3 \beta_{ik}^t;$$
$$\varphi_{ki}(A_r) = R\{f_1(A_r)\} = \sum_{i=1}^{T}\left[m_i f_1(A_r) - b'_{ik} \right]^4 \beta_{ik}^t.$$

Допустим, что условия $\overline{\leq}_{\mathrm{Re}}$ или $\overline{\geq}_{\mathrm{Re}}$ соответствуют условиям приоритетным предпочтениям.

Функции распределения i-го показателя эффективности соответствующей альтернативы ставим в соответствие абсолютную приоритетность относительно функции распределения этого показателя $p\{f_l(A_r) \geq b_{ik}\} \overline{\leq}_{\mathrm{Re}} p\{f_i(A_i) \geq b_{ik}\}$, с учетом $p\{f_l(A_r) \geq b_{ik}\} \overline{\geq}_{\mathrm{Re}} p\{f_i(A_i) \geq b_{ik}\}$, в случае выполнения каждого из неравенств системы:

$$\varphi_{1i}(A_r) \geq \varphi_{1i}(A_i);\ \varphi_{3qi}(A_r) \geq \varphi_{3qi}(A_i);$$
$$q = 1,...,Q_1;\ \varphi_{5qi}(A_r) \leq \varphi_{5qi}(A_i);\ q = 1,...,Q_2; \quad (5)$$

$$\varphi_{2i}(A_r) \leq \varphi_{2i}(A_i);\ \varphi_{4qi}(A_r) \geq \varphi_{4qi}(A_i);$$
$$g = 1,...,G_1;\ \varphi_{6qi}(A_r) \leq \varphi_{6qi}(A_i);\ g = 1,...,G_2; \quad (6)$$

или $p\{f_l(A_r) \geq b_{ik}\} \succ_{\mathrm{Re}} p\{f_i(A_i) \geq b_{ik}\}$, с учетом $p\{f_l(A_r) \geq b_{ik}\} \overline{\leq}_{\mathrm{Re}} p\{f_i(A_i) \geq b_{ik}\}$, с учетом выполнения каждого из неравенств системы:

$$\varphi_{1i}(A_r) \geq \varphi_{1i}(A_i);\ \varphi_{3qi}(A_r) \geq \varphi_{3qi}(A_i);$$
$$q = 1,...,Q_1;\ \varphi_{5qi}(A_r) \geq \varphi_{5qi}(A_i);\ q = 1,...,Q_2; \quad (7)$$

$$\varphi_{2i}(A_r) \leq \varphi_{2i}(A_i);\ \varphi_{4qi}(A_r) \geq \varphi_{4qi}(A_i);$$
$$g = 1,...,G_1;\ \varphi_{6qi}(A_r) \geq \varphi_{6qi}(A_i);\ g = 1,...,G_2; \quad (8)$$

Если не выполняется хотя бы одно из условий (5)–(6), то мы говорим об условиях относительного предпочтения [3].

Сформируем комплексный показатель оценки функции распределения i-го критерия в следующей форме:

$$\phi_i^+(A_r) = \alpha_{1i}\overline{\varphi}_{1i}(A_r) + \sum_{q=1}^{Q_1}\alpha_{3i}\overline{\varphi}_{3i}(A_r) +$$
$$+\sum_{q=1}^{Q_2}\alpha_{5i}\overline{\varphi}_{5i}(A_r) - \alpha_{2i}\overline{\varphi}_{2i}(A_r) - \quad (9)$$
$$-\sum_{g=1}^{G_1}\alpha_{4i}\overline{\varphi}_{4i}(A_r) - \sum_{g=1}^{G_2}\alpha_{6i}\overline{\varphi}_{6i}(A_r);$$

$$\phi_i^-(A_r) = \sum_{g=1}^{G_1}\alpha_{4i}\overline{\varphi}_{4i}(A_r) + \sum_{g=1}^{G_2}\alpha_{6i}\overline{\varphi}_{6i}(A_r) -$$
$$-\alpha_{2i}\varphi_{2i}(A_r) - \alpha_{1i}\overline{\varphi}_{1i}(A_r) - \quad (10)$$
$$-\sum_{q=1}^{Q_1}\alpha_{3qi}\overline{\varphi}_{3qi}(A_r) - \sum_{q=1}^{Q_2}\alpha_{5i}\overline{\varphi}_{5qi}(A_r);$$

Здесь

$0 \leq \alpha_{1i} \leq 1,\quad 0 \leq \alpha_{2i} \leq 1,\quad 0 \leq \alpha_k \leq 1,$
$k = 3, 4, 5, 6,\quad s = q = 1,...,Q_1;\quad s = g = 1,...,G_1;\quad s = g = 1,...,G_2$ – весовые коэффициеты, который удовлетворяют условиям нормировки:

$$\alpha_{1i} + \alpha_{2i} + \sum_{q=1}^{Q_1}\alpha_{3qi} + \sum_{q=1}^{Q_2}\alpha_{5qi} +$$
$$+\sum_{g=1}^{G_1}\alpha_{4gi} + \sum_{g=1}^{Q_2}\alpha_{6gi} = 1. \quad (11)$$

Необходимо заметить, что в зависимости от формулировки исходной задачи некоторые из значений, определенных в комплексных показателях оценки функции распределения могут отсутствовать. Это достигается, в случае равенства 0 весовых коэффициентов α_{ik}.

С учетом того, что $\varphi_{1gi}(A_r)$, $\varphi_{2gi}(A_r)$, $\varphi_{5gi}(A_r)$, $\varphi_{6gi}(A_r)$, выражены в единицах измерения конкретного показателя, то они могут быть применены в выражениях (5) – (6) после нормировки и представлены на интервале $\varphi_{pgi}(A_r) \in [0,1]$ [4].

Заметим, что в зависимости от исходной постановки конкретной задачи многие из детерминированных значений в плоскости аддитиваных комплексных показателей оценок функции распределения могут отсутствовать. Это может быть достигнуто, если положить значения соответствующих весовых коэффициентов α_{ki} равными нулю.

В качестве комплексных критериев, наиболее объективно оценивающих эффективность альтернатив, можем использовать аддитивные показатели, представленные в следующем виде:

$$F^+(A_r) = \sum_{i=1}^{n} w_i \phi_i^*(A_r);$$
$$F^-(A_r) = \sum_{i=1}^{n} w_i \phi_i^-(A_r); \quad (12)$$

где $0 \leq w_i \leq 1,\quad i = 1,...,n;\quad \sum_{i=1}^{n} w_i = 1.$

Альтернативе A_r, соответствует сформированная функциями распределения n частных показателей, имеет условный приоритет перед функцией A_r сформированной функцией распределения n аналогичных частных показателей только в случае выполнения следующих соотношений:

$$A_r \geq_{\mathrm{Re}} A_i \Leftrightarrow F^+(A_r) > F^+(A_i);$$

$$A_r \leq_{\mathrm{Re}} A_i \Leftrightarrow F^-(A_r) > F^-(A_i).$$

Таким образом, после введения и вычисления различных оценок эффективности каждого частного показателя, а также первого шага алгоритма исключения, на основе установления фактов абсолютного предпочтения подмножества альтернатив, не принадлежащих множеству Парето, алгоритма обобщенных показателей эффективности, как частных показателей на основе выражений (5)–(6), так и обобщенных показателей для каждой альтернативы, последующие шаги алгоритма совпадают с алгоритмом принятия решений в однокритериальном случае.

Заключение

Предложенный и обоснованный, с точки зрения математической формализации, подход к принятию наиболее оптимального решения по управлению поведением коммерческой организации основанный на предварительном мониторинге экономического функционирования, представляет собой интерес с точки зрения следующих аспектов:

1. возможности отождествления ключевых элементов, определяющих систему, 2. в выборе формата, характеризующего состояние интересующих элементов;

3. разработке виртуальной модели, воспроизводящей поведенческие особенности моделируемой системы.

Литература

1 Ким С.А. Теория управления. М.: Дашков Ко, 2016. 240 с.

2 Степанов В.И. Экономико-математическое моделирование. М.: Academia, 2018. 336 с.

3 Тычинский А.В. Управление инновационной деятельностью компаний: современные подходы, алгоритмы, опыт. 2006.

4 Сысоева О.Н., Лытнева Н.А. Исследование стратегического управления прибылью в инновационной среде // Вестник ОрелГИЭТ. 2012. №. 4. С. 57.

5 Броило Е.В. Методология управления экономической устойчивостью коммерческой организации на основе мониторинга кризисных процессов // Екатеринбург: ИЭ УрО РАН. 2009.

6 Davila T., Epstein M., Shelton R. Making innovation work: How to manage it, measure it, and profit from it. FT press, 2012.

7 Tidd J., Bessant J.R. Managing innovation: integrating technological, market and organizational change. John Wiley & Sons, 2020.

8 Drazin R., Schoonhoven C.B. Community, population, and organization effects on innovation: A multilevel perspective // Academy of management journal. 1996. V. 39. №. 5. P. 1065–1083.

9 Sawhney M., Prandelli E. Communities of creation: managing distributed innovation in turbulent markets // California management review. 2000. V. 42. №. 4. P. 24–54.

10 Лукина О.О. Инновационная деятельность как сложная система функционирования и разваития хозяйствующих субъектов // Экономика и предпринимательство. 2017. № 8–2 (85) С. 711–714.

11 Лапшина М.Л., Лукина О.О., Лапшин Д.Д. Использование математических моделей в неравновесной экономике с компенсирующим спросом // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 1 (83). С. 369–379. doi: 10.20914/2310-1202-2020-1-369-379

12 Тяпкина М.Ф., Ильина Е.А. Подход к управлению финансовым потенциалом предприятия // Вестник НГУЭУ. 2015. № 1. С. 71-77.

13 Бахтин А.Е., Владимиров Ю.Н. О моделях оптимизации производственного процесса предприятия // Вестник НГУЭУ. 2015. № 1. С. 316-328.

14 Эсаулова И.А. Инновационный потенциал персонала как источник динамических возможностей организации // Вестник НГУЭУ. 2015. № 2. С. 262-271.

15 Шмаков А.В. Комплексное представление об экономическом поведении // Вестник НГУЭУ. 2016. № 2. С. 276-291.

16 Kamil N.L.M., Nasurdin A.M. Entrepreneurial behavior in Malaysian commercial banks: the role of emotional intelligence, job autonomy, perceived organizational support, and organizational commitment // Australian Journal of Business and Economic Studies. 2016. V. 2. №. 1. P. 35-44.

17 Santalova M., Zemlyakov D., Lesnikova E., Fatyanova I. Corporate culture of commercial organization as an effective management tool // Integration and Clustering for Sustainable Economic Growth. Springer, Cham, 2017. P. 101-110. doi: 10.1007/978-3-319-45462-7_12

18 Chambwera M., Heal G., Dubeux C., Hallegatte S. et al. Economics of adaptation. 2014.

19 Deng R. Yang Z., Chow M.Y., Chen J. A survey on demand response in smart grids: Mathematical models and approaches // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2015. V. 11. №. 3. P. 570-582. doi: 10.1109/TII.2015.2414719

20 Lancaster K. Mathematical economics. Courier Corporation, 2012.

References

1 Kim S.A. Control theory. Moscow, Dashkov Ko, 2016. 240 p. (in Russian).

2 Stepanov V.I. Economic and mathematical modeling. Moscow, Academia, 2018. 336 p. (in Russian).

3 Tychinsky A.V. Management of innovative activities of companies: modern approaches, algorithms, experience. 2006. (in Russian).

4 Sysoeva O.N., Lytneva N.A. Research of strategic profit management in an innovative environment. Vestnik OrelGIET. 2012. no. 4. pp. 57. (in Russian).

5 Broilo E.V. Methodology for managing the economic stability of a commercial organization based on monitoring crisis processes. Yekaterinburg: IE Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2009. (in Russian).

6 Davila T., Epstein M., Shelton R. Making innovation work: How to manage it, measure it, and profit from it. FT press, 2012.

7 Tidd J., Bessant J.R. Managing innovation: integrating technological, market and organizational change. John Wiley & Sons, 2020.

8 Drazin R., Schoonhoven C.B. Community, population, and organization effects on innovation: A multilevel perspective. Academy of management journal. 1996. vol. 39. no. 5. pp. 1065–1083.

9 Sawhney M., Prandelli E. Communities of creation: managing distributed innovation in turbulent markets. California management review. 2000. vol. 42. no. 4. pp. 24–54.

10 Lukina O.O. Innovative activity as a complex system of functioning and development of business entities. Economics and Entrepreneurship. 2017. no. 8–2 (85). pp. 711–714. (in Russian).

11 Lapshina M.L., Lukina O.O., Lapshin D.D. The use of mathematical models in a nonequilibrium economy with compensating demand. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 1 (83). pp. 369–379. doi: 10.20914/2310-1202-2020-1-369-379 (in Russian).

12 Tyapkina M.F., Ilyina E.A. An approach to managing the financial potential of an enterprise. Vestnik NSUEM. 2015. no. 1. pp. 71-77. (in Russian).

13 Bakhtin A.E., Vladimirov Yu.N. On models of optimization of the production process of an enterprise. Vestnik NSUEM. 2015. no. 1. pp. 316-328. (in Russian).

14 Esaulova I.A. Innovative potential of personnel as a source of dynamic capabilities of the organization. Vestnik NSUEM. 2015. no. 2. pp. 262-271. (in Russian).

15 Shmakov A.V. An integrated view of economic behavior. Vestnik NSUEM. 2016. no. 2. pp. 276-291. (in Russian).

16 Kamil N.L.M., Nasurdin A.M. Entrepreneurial behavior in Malaysian commercial banks: the role of emotional intelligence, job autonomy, perceived organizational support, and organizational commitment. Australian Journal of Business and Economic Studies. 2016. vol. 2. no. 1. pp. 35-44.

17 Santalova M., Zemlyakov D., Lesnikova E., Fatyanova I. Corporate culture of commercial organization as an effective management tool. Integration and Clustering for Sustainable Economic Growth. Springer, Cham, 2017. pp. 101-110. doi: 10.1007/978-3-319-45462-7_12

18 Chambwera M., Heal G., Dubeux C., Hallegatte S. et al. Economics of adaptation. 2014.

19 Deng R. Yang Z., Chow M.Y., Chen J. A survey on demand response in smart grids: Mathematical models and approaches. IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2015. vol. 11. no. 3. pp. 570-582. doi: 10.1109/TII.2015.2414719

20 Lancaster K. Mathematical economics. Courier Corporation, 2012.

Сведения об авторах

Марина Л. Лапшина д.т.н., профессор, кафедра автоматизации производственных процессов, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия, marina_lapshina@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5057-1069

Оксана О. Лукина к.э.н., доцент, кафедра теории экономики и учетной политики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, oks.lukina@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-2658-1512

Information about authors

Marina L. Lapshina Dr. Sci. (Engin.), professor, automation of production processes department, Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozova, st. Timiryazev, 8, Voronezh, 394087, Russia, marina_lapshina@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5057-1069

Oksana O. Lukina Cand. Sci. (Econ.), associate professor, theory of economics and accounting policy department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Avenue, 19, Voronezh, 394036, Russia, oks.lukina@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-2658-1512

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 26/01/2021 **После редакции** 17/02/2021 **Принята в печать** 01/03/2021

Received 26/01/2021 **Accepted in revised** 17/02/2021 **Accepted** 01/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-435-442 Оригинальная статья/Research article
УДК 360 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Социальная безопасность региона и направления ее обеспечения

Екатерина В. Горковенко [1] gorek@mail.ru 0000-0001-9699-4238
Ирина В. Платонова [1] aniri_78@mail.ru 0000-0002-3213-9854

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Региональная социальная политика зачастую выступает как деятельность субъекта в лице федеральных органов власти и общественных организаций. Основной целью такой политики является достижение равных условий жизнедеятельности, развитые инфраструктуры и социальные структуры региона. А общее согласование государственных, региональных и местных интересов на самом деле реализуется с большим трудом и очень часть подменяется централизованным управлением. Так как регионы и субъекты становятся целенаправленными объектами федеральных органов власти, то регионы не всегда способны реализовывать свои собственные интересы. Во избежание данного случая регионам необходимо утвердиться в самостоятельности решения социальных проблем. В настоящее время социальное и экономическое развитие государства напрямую зависит от уровня развития регионов. Понятие «экономической безопасности» и «социальной безопасности» тесно связаны друг с другом, поскольку экономическая безопасность как страны, так и регионов в основном состоит из социально-экономических показателей. Иными словами, экономическая безопасность государства и его субъектов зависит от уровня их социальной безопасности. В результате проведенного исследования были выявлены угрозы экономической (в том числе социальной) безопасности региона. Выполнена оценка уровня социальной безопасности областей, входящих в состав Центрально-Черноземного экономического района, с использованием методики Гайфуллина А.Ю. и Гайфуллиной М.М. (Институт социально-экономических исследований), которая показала достаточно высокий уровень социальной безопасности исследуемого объекта – Воронежской области. Определена эффективность проводимой в регионе социальной политики и сформулированы направления и меры по улучшению социальной политики региона, в частности, рекомендовано обратить внимание на демографическую составляющую социальной безопасности, уровень жизни населения, образование и культуру, а также усилить правопорядок.

Ключевые слова: экономическая безопасность, социальная безопасность, Воронежская область, угрозы безопасности, регион

Social security of the region and directions of its provision

Ekaterina V. Gorkovenko [1] gorek@mail.ru 0000-0001-9699-4238
Irina V. Platonova [1] aniri_78@mail.ru 0000-0002-3213-9854

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Regional social policy often acts as the activity of the subject in the person of federal authorities and public organizations. The main goal of such a policy is to achieve equal living conditions, developed infrastructure and social structures of the region. And the general coordination of state, regional and local interests is actually implemented with great difficulty and is very often replaced by centralized management. Since regions and subjects become targeted objects of federal authorities, regions are not always able to realize their own interests. To avoid this situation, the regions need to establish their independence in solving social problems. Currently, the social and economic development of the state directly depends on the level of development of the regions. The concept of "economic security" and "social security" are closely related to each other, since the economic security of both the country and the regions mainly consists of socio-economic indicators. In other words, the economic security of the state and its subjects depends on the level of their social security. As a result of the conducted research, threats to the economic (including social) security of the region were identified. The assessment of the level of social security of the regions that are part of the Central Black Earth Economic Region was carried out using the methodology of Gaifullin A. Yu.and Gaifullina M.M. (Institute of Socio-Economic Research), which showed a fairly high level of social security of the object under study – the Voronezh Region. Determined the effectiveness of regional social policy and the ways and measures to improve the social policy of the region, in particular, it is recommended to pay attention to demographic component of the social security, living standards of the population, education and culture, and strengthen the rule of law.

Keywords: economic security, social security, Voronezh region, security threats, region

Введение

Социальная безопасность должна рассматриваться как необходимость государства и его субъектов обеспечить нормальное функционирование общества, его социальной структуры, а также защиту и сохранение правовых норм государства и личности. Социальная безопасность региона представляет собой одну из актуальных проблем развития современного общества, так как ее состояние влияет на целостность и устойчивость функционирования и развития социума в целом, обеспечение защиты жизненно важных интересов его членов. Социальная безопасность – это показатель качества социальных отношений, которые характеризуются возможностью любому члену общества реализовать свой внутренний потенциал, находясь вне угрозы экономической, социальной и физической деградации, даже при снижении уровня и качества жизни [1, 2]. К социальной безопасности предъявляются определенные требования: активность, комплексность, непрерывность, универсальность, целенаправленность, конкретность и надежность.

Для цитирования
Горковенко Е.В., Платонова И.В. Социальная безопасность региона и направления ее обеспечения // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 435–442. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-435-442

For citation
Gorkovenko E.V., Platonova I.V. Social security of the region and directions of its provision. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 435–442. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-435-442

© 2021, Горковенко Е.В. и др. / Gorkovenko E.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Результаты и обсуждение

У современной науки есть соответствующий методологический аппарат и информационные технологии для возможности регулярно отслеживать состояние социальной безопасности как в отдельных регионах, так и в обществе в целом. Каждое социальное явление с целью его изучения и измерения предполагает наличие определенных критериев, над выделением и сочетанием которых работают лучшие умы нашей страны [3, 4].

Объектом нашего исследования выступает Воронежская область, для оценки уровня ее социальной безопасности мы использовали авторскую методику Гайфуллина А.Ю. и Гайфуллиной М.М. (Институт социально-экономических исследований) [5, 6]. Авторская специфика подхода к оценке социальной безопасности региона заключается в том, что социальная безопасность рассматривается не только как собирательная характеристика. Авторы методики предлагают при определении данного понятия исходить из общественной направленности его реализации в интересах общества и отдельных индивидов. Таким образом, включается управленческий аспект, в наиболее формализованном виде выражающийся в социально-экономическом развитии региона через развитие необходимых индикаторов социальной безопасности. Методика расчета уровня социальной безопасности региона включает 23 индикатора, разбитых на 6 блоков: демография, рынок труда, благосостояние и социальная защита, правопорядок, здравоохранение, образование и духовно-культурное развитие.

Для получения объективных данных мы сопоставляли расчетные значения уровня социальной безопасности Воронежской области с другими регионами, входящими в состав Центрально-Черноземного экономического района (таблица 1).

Гайфуллиным А.Ю.и Гайфуллиной М.М. предложена следующая шкала интегральной оценки уровня социальной безопасности региона: $I > 1{,}10$ – безопасный уровень (Н), $1{,}0 > I > 1{,}09$ – предкризисный уровень (ПК), $0{,}9 > I > 0{,}99$ – кризисный уровень (К), $0{,}9 > I$ – критический уровень (КР).

Социальная безопасность всех представленных регионов находится на безопасном уровне, так как показатель I_j больше 1,10. Лидером по уровню благосостояния и социальной защиты, правопорядка, образования и культурно-духовной сферы является Белгородская область. Комплексная оценка социальной безопасности Воронежской области представлена в таблице 2.

Таблица 1.

Интегральный уровень социальной безопасности областей Центрально-Черноземного района (2016–2018 гг.)

Table 1.

Integral level of social security of the regions of the Central Black Earth region (2016–2018)

Уровень социальной безопасности Level of social security	Белгородская область Belgorod region	Воронежская область Voronezh region	Липецкая область Lipetsk region	Курская область Kursk region	Тамбовская область Tambov region
	I_j	I_j	I_j	I_j	I_j
2016	1,613	1,561	1,572	1,749	2,526
2017	1,676	1,564	1,566	1,648	1,634
2018	1,662	1,604	1,583	1,641	1,683

Таблица 2.

Оценка социальной безопасности Воронежской области

Table 2.

Assessment of the social security of the Voronezh Region

Индексы социальной безопасности Indices of social security	2016		2017		2018		Изменение Change
	оценка estimation	место place	оценка estimation	место place	оценка estimation	место place	
Демография | Demographics	4,328	3	4,455	3	4,604	3	–
Рынок труда и занятость | Labor employment	0,783	4	0,793	4	0,873	1	3
Благосостояние и социальная защита Welfare and social protection	1,303	2	1,183	3	1,228	2	1
Правопорядок | Law and order	1,227	5	1,213	5	1,17	5	–
Здравоохранение | Health care	1,088	3	1,048	1	1,054	1	–
Образование и духовно-культурное развитие Education and spiritual and cultural development	0,639	4	0,689	3	0,692	3	–

Демографическая ситуация в регионе находится на неизменном уровне, наблюдается увеличение данного показателя на 0,149 единиц. Рынок труда и занятости заметно вырос по сравнению с 2017 годом на 0,08 единиц (1 место среди областей Центрально-Черноземного региона). Уровень благосостояния и социальная защита также увеличился и в 2018 году составил 1,228, что позволило занять 2 строку в рейтинге. Слабой стороной Воронежского региона является правопорядок (в рейтинге область заняла 5 место). Лидером в рейтинге Воронежская область является в сфере здравоохранения.

При анализе результатов, достигнутых в регионе по тому или иному направлению его жизнедеятельности, нельзя забывать об угрозах, которым подвергается любая деятельность, и, прежде всего, угрозах экономической безопасности. Социальная безопасность – это часть экономической безопасности региона. Несмотря на все сильные и слабые стороны Воронежская область подвержена как внутренним, так внутренним угрозам экономической безопасности, предупреждение и предотвращение которых значительным образом скажется на экономическом и социальном благополучии региона.

К наиболее значимым угрозам экономической безопасности Воронежской области относятся [7, 8]:

1) Финансовая интервенция. В данном случае задействованы две группы субъектов. Первая – банковские структуры российского и межрегионального уровней. Механизм интервенции предполагает аккумулирование сбережений населения, средств предприятий и их размещение на финансовых рынках других регионов. Вторая группа субъектов – собственники предприятий пищевой, химической и нефтехимической промышленности, использующие различные финансовые схемы для вывода ресурсов из Воронежской области.

2) Усиление межрегиональной конкуренции на рынках рабочей силы объектами которой выступают: наиболее мобильная и квалифицированная часть трудовых ресурсов региона и традиционная продукция воронежских предприятий. Эта угроза является значимой для социально-экономического развития области. Большой отток молодежи и трудоспособного населения в регионы с наибольшим заработком негативно отражается на функционировании всех сфер региона.

3) Влияние внешних экономических санкций оказывает негативное воздействие на ряд предприятий различных отраслей экономики Воронежского края. Наиболее импортозависимыми являются молочная, сахарная, мясная и кондитерская отрасли. Наблюдается импортозависимость и в сельском хозяйстве, семенной материал на 50–90% импортный. С введением экономических санкций заметно снизился внешнеторговый оборот.

4) Дефицит рабочих кадров. Причинами данного явления можно назвать слабую мотивацию работников, занятых в производстве. Недостаточное внимание начальному и среднему профессиональному образованию, ситуация также усугубляется постепенным старением кадров.

5) Рост конкуренции на российском рынке образовательных услуг – прежде всего, связан с темпами, заданными отдельными регионами страны. К данным регионам относятся: Москва, Ростовская, Нижегородская, Самарская и другие области. Названные регионы отводят высшей школе ключевые роли в стратегиях социально-экономического развития.

6) Доходы теневого оборота, которые не участвуют в формировании регионального бюджета, а часть их и вовсе выводится за пределы субъекта РФ.

7) Ухудшение экологической обстановки в регионе – связано с хозяйственной деятельностью промышленных предприятий и транспорта. Согласно опросу жителей области, они оценивают состояние экологической обстановки как «удовлетворительное». Это означает, что данный фактор является прямой угрозой не только социально-экономическому развитию региона, но и здоровью и жизни его жителей.

По нашему мнению, социальная политика – важнейший аспект развития Воронежской области. Основные направления социальной политики региона обозначены в Стратегии социально-экономического развития Воронежской области на период до 2035 года. Главная миссия данной стратегии заключается в том, чтобы сделать Воронежскую область регионом с высоким качеством жизни, благоприятной средой для предпринимательства и опорным агропромышленным центром России. Формирование благоприятной среды для человека и развития предпринимательства – эта цель определена в действующей Стратегии развития Воронежской области до 2020 года и сохраняет свое преимущество в Стратегии на период до 2035 года.

Выделены следующие приоритетные цели развития Воронежской области:

- достигнуть лидерских позиций области по уровню жизни населения, сократить социально-экономическое неравенство;

- укрепление позиций Воронежской области в национальном и мировом экономическом пространстве, стабильность в экономическом росте;
- обеспечение полицентрического развития Воронежской области.

Исходя из поставленных целей, предложен перечень проектов социально-экономического развития. Демографическая ситуация в области неблагополучная: низкий уровень рождаемости, незначительный естественный прирост – все это отдаляет регион от позиции лидера. Для достижения роста продолжительности жизни и продления активного долголетия населения принят межведомственный проект «Живи долго», а также проект «Формирование здорового образа жизни». Суть проектов заключается в формировании положительного отношения у населения к здоровому образу жизни и спорту, повышении профилактических мер по предупреждению заболеваний, наркомании, алкоголизма, употребления табачных изделий. Популяризируется культура здорового питания и спортивных программ, привлечение к данному направлению большой части населения области. В рамках данного проекта ожидается увеличение населения, приверженного к здоровому образу жизни, на 60% к 2025 году.

Уровень безработицы населения Воронежской области в среднем составляет 4,5%, что является не лучшим показателем по сравнению с другими субъектами РФ. Для снижения безработицы в Воронежской области разработана программа «Содействие занятости населения Воронежской области». Основными задачами данной программы является внедрение механизмов и инструментов для развития нестандартной занятости населения. Программа направлена на получение доходов и трудоустройство жителей трудноизбыточных районов области, лиц с ограниченными возможностями, а также создание условий для самозанятости. Программа позволит снизить диапазон наихудших показателей безработицы в муниципальных районах до 2035 года в 6 раз.

Расширить зону рабочих мест за счет привлечения различных категорий граждан, увеличить число зарегистрированных индивидуальных предпринимателей на 10%, повысить уровень дистанционной занятости работников до 17,5% к 2035 году.

Воронежская область предпринимает множество попыток для развития и улучшения системы образования. В 2018 году губернатором Воронежской области была утверждена программа «Индустриальная школа на 2018–2024 года». Объем финансирования данной программы составил 280 млн р. Программа позволит создать необходимые условия для реализации во всех муниципальных образованиях зональных ресурсных центров, соответствующих требованиям социально-экономического развития региона, при помощи материально-технической и методической базы.

Главным приоритетом социальной политики Воронежской области является социальная защита населения и создание комфортных условий проживания. В рамках данных целей принято множество социальных программ. Для обеспечения населения доступным и качественным жильем, а также для улучшения качества услуг в сфере ЖКХ разработаны следующие социальные программы:

«Формирование комфортной городской среды Воронежской области» – действует до 2023 года. Объем финансирования составил 2742,2 млн р. Цель данной программы – благоустройство дворовых и общественных территорий, создание и реконструкция систем холодного водоснабжения муниципальных образований Воронежской области;

«Обеспечение качественными коммунальными услугами населения Воронежской области до 2035 года». Данную программу профинансировали на 31000 млн р. Суть проекта заключается в развитии водоснабжения и водоотведения путем строительства и модернизации объектов инфраструктуры области.

Приоритетным для Воронежской области остается снижение уровня бедности населения и дифференциации между городом и селом. Для этого необходимо обеспечить население качественными социальными услугами защиты, а также проводить своевременный мониторинг масштабов бедности. При успешной реализации программ социального развития ожидается снижение доли граждан с доходами ниже прожиточного минимума до 4,0% к 2035 году, увеличение числа населения, получившего государственную социальную помощь вдвое. Особая роль отводится улучшению инфраструктуры города для лиц с ограниченными возможностями, улучшению условий проживания пенсионеров и пожилых людей, инвалидов. Реализация данных целей возможна с помощью привлечений средств, субсидий из федерального бюджета, а также частных капиталов, внедрения новых технологий реабилитации и форм социального обслуживания. Ключевым проектом является создание Центра волонтерского движения в сфере социальной защиты населения.

Особое внимание в Воронежской области уделяется культуре. Это связано с тем, что Воронежская область является одним из культурных и туристических центров. На развитие данной сферы выделено 3251,8 млн р. В 2019 году постановлением губернатора утверждена программа «Культурный регион», задачами которой являются развитие индустрии отдыха и досуга, обеспечение реализации туристско-рекреационного потенциала, развитие инфраструктуры и регионального туризма. Для достижения поставленных задач необходимо:

- создать условия для успешной самореализации молодежи и вовлечения её в общественную деятельность;
- создать условия для развития в Воронежской области креативных индустрий в сфере культуры;
- сформировать системы многоканального финансирования посредством привлечения частных инвестиций, благотворительности, меценатства;
- популяризовать нравственные ценности, способствующие культурному воспитанию личности;
- активно внедрять цифровые технологии в сферу услуг, предоставляемые учреждениями культуры;
- расширить практику выездных мероприятий, реализуемых учреждениями культуры Воронежской области.

Благодаря внедрению данных мер к 2035 году удельный вес внебюджетных источников финансирования культуры увеличится до 25% от общего объема. Укрепятся толерантные социальные установки у населения Воронежской области, а также расшириться доступ к культурной деятельности.

Развитие системы защиты граждан Воронежской области от чрезвычайных ситуаций позволит минимизировать социально-экономические последствия при возникновении чрезвычайных ситуаций. Развитие данной сферы на сегодняшний момент актуально как никогда. Ключевыми задачами в развитии являются:

- обновление материально-технической базы и формирование аварийно-спасательных служб;
- активная система оповещения в случае при угрозе возникновения чрезвычайных ситуаций;
- обучение населения правилам безопасного поведения современным способом;
- развитие спутниковой и радиотелефонной сетей;
- вовлечение населения в ряды добровольных спасательных дружин.

Для развития указанной сферы губернатором Воронежской области приняты следующие программы:

- программа «Обеспечение высокого уровня пожарной безопасности до 2035 года». Суть программы заключается в оснащении подразделений противопожарной службы новыми пожарными автомобилями, увеличение состава противопожарной службы до 1211 человек, обновление доли пожарно-технического вооружения до 58%;
- программа «Снижение рисков возникновения и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций, обеспечение защиты населения до 2035 года». Программа направлена на увеличение состава спасателей до 115 человек, модернизацию систем оповещения граждан, повышение степени удовлетворения граждан проводимыми мероприятиями по защите населения до 70%. Также увеличение средств индивидуальной защиты до 5831 единиц.

Принятые программы помогут снизить число граждан, погибших и получивших травмы при чрезвычайных ситуациях, достигнуть повышения эффективности действий подразделений экстренных оперативных служб [9].

Согласно Стратегии социально-экономического развития Воронежской области до 2035 года существуют три сценария развития области: консервативный (пессимистический), базовый и целевой. Для консервативного сценария характерен умеренный рост экономики области с сохранением отставания в гражданских высокотехнологичных секторах. Модернизация экономики в этом случае будет идти сложившимися темпами в условиях накопленных инвестиций.

Базовый сценарий заключается в повышательном тренде развития экономики Воронежской области. Основная опора в этом сценарии идет на модернизацию структурной и технологической экономики, внедрение новых технологий, создание конкурентоспособного сектора производства.

Целевой сценарий социально-экономического развития Воронежской области отличается траекторией развития с учетом стратегических рубежей, на которые в долгосрочной перспективе могут выйти и другие российские регионы-лидеры.

Рассмотрим некоторые значения показателей социально-экономического развития Воронежской области по консервативному, базовому и целевому сценариям развития (таблицы 3, 4).

Таблица 3.

Показатели социально-экономического развития Воронежской области по консервативному (1) и базовому (2) сценариям до 2035 года

Table 3.

Indicators of socio-economic development of the Voronezh Region according to the conservative (1) and basic (2) scenarios until 2035

Показатели Indicators	Годы | Years									
	2019		2020		2024		2030		2035	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Ожидаемая продолжительность жизни, лет Life expectancy, years	72,0	72,3	72,0	72,8	72,0	73,7	72,0	74,5	72,0	74,7
Доля населения с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума, % The share of the population with monetary incomes below the subsistence level, %	9,4	9,3	9,3	9,2	6,1	6,0	4,9	4,5	4,4	4,3
Среднедушевые денежные доходы, тыс. р. Average per capita cash income, thousand rub.	31,6	31,8	35,3	35,9	45,4	47,0	64,8	67,9	85,1	89,5
Уровень безработицы на полном рынке труда, % The unemployment rate in the full labor market, %	4,5	4,4	4,4	4,3	4,3	4,2	4,2	4,1	4,1	4,0
Уровень занятости населения, % Employment rate of the population, %	63,1		63,4		64,2		65,5		68,0	
Общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на 1 жителя, кв. м The total area of residential premises, on average per 1, sq. m	29,7	63,2	30,1	63,5	31,5	64,8	33,8	66,5	35,6	69,0
ВРП на душу населения, в текущих ценах, тыс. р. GRP per capita, at current prices, thousand rub.	415,9	439,9	437,1	475,8	561,0	671,4	782,1	972,4	1016,3	1271,6
Объем инвестиций в основной капитал, млрд р. The volume of investments in fixed assets, billion rub.	271,1	274,9	290,9	305,5	358,9	416,5	461,6	658,7	569,1	908,2
Объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами в промышленном производстве, млрд р. The volume of shipped goods of own production, works services performed by own forces in industrial production, bln rub.	478,2	497,0	507,3	547,9	571,0	666,0	681,8	892,5	790,4	1139,1
Доля населения, охваченного мероприятиями в сфере культуры, в общей численности населения, % % of the population covered by cultural activities in total	65,0	74,7	75,0	77,6	78,0	80,0	84,0	85,6	88,0	90,0

Таблица 4.

Показатели социально-экономического развития Воронежской области по целевому сценарию до 2035 года

Table 4.

Indicators of socio-economic development of the Voronezh Region according to the target scenario until 2035

Показатели Indicators	Годы | Years				
	2019	2020	2024	2030	2035
Ожидаемая продолжительность жизни, лет | Life expectancy, years	73,5	74,0	74,4	75,0	75,4
Доля населения с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума, % | The share of the population with monetary incomes below the subsistence level, %	9,2	9,1	5,9	4,3	4,0
Среднедушевые денежные доходы, тыс. р. | Average per capita cash income, thousand rub.	33,9	36,2	48,6	73,4	100,8
Уровень безработицы на полном рынке труда, % | The unemployment rate in the labor market, %	4,4	4,3	4,2	4,1	4,0
Уровень занятости населения, % | Employment rate of the population, %	64,4	64,8	66,3	68,5	70,0
Общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на 1 жителя, кв. м The total area of residential premises, on average per 1 resident, sq.	30,2	30,7	32,7	36,0	39,0
ВРП на душу населения, в текущих ценах, тыс. р. | GRP per capita, at current prices, ths rub.	447,5	487,0	686,0	986,2	1310,6
Объем инвестиций в основной капитал, млрд. р. | The volume of investments in assets, bln rub.	299,4	344,5	502,2	815,6	1114,8
Объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами в промышленном производстве, млрд р. The volume of shipped goods of own production, works and services performed by own forces i n industrial production, billion rub.	552,2	590,9	774,5	1162,4	1630,3
Доля населения, охваченного мероприятиями в сфере культуры, в общей численности населения, % Percentage of the population covered by cultural activities in the total population, %	77,0	78,0	82,0	87,0	92,0

Воплощение целевого сценария обеспечивает достижение миссии и установленных стратегических целей социально-экономического развития области, позволяет занять лидирующие позиции и обеспечивает полицентрическое развитие Воронежской области, что ведет к достижению поставленных приоритетных целей.

Воронежскую область, бесспорно, можно назвать одним из социально-ориентированных субъектов Российской Федерации. В области принято огромное количество законов и программ, направленных на улучшение социальной сферы общества. К сожалению, на данном этапе не все утвержденные положения находят отражение в реальной жизни, но администрация области предпринимает множество мер и попыток для успешной реализации программ, а также для обеспечения достойного уровня жизни каждого жителя области [10–20].

Заключение

Анализ социальной безопасности Воронежской области показал, что в регионе ее уровень достаточно высок. Но, к сожалению, область в рейтинге Центрально-Черноземного региона занимает лишь 4 место, что свидетельствует о наличии ряда нерешенных проблем и угроз. Правительство Воронежской области предпринимает ряд усилий по совершенствованию социально-экономической политики в регионе. Важно отметить, что в настоящее время множество проводимых социально-экономических программ достаточно эффективны и дают положительные результаты. С успешной реализацией принятой губернатором Воронежской области Стратегии социально-экономического развития Воронежской области до 2035 года, область выйдет совершенно на новый уровень и станет примером для многих регионов Российской Федерации.

Литература

1 Burchi Fr. Social protection and revenue collection: how they can jointly contribute to strengthening social cohesion // International social security review. 2020. № 4. P. 14–29.

2 Palier Br. Work, social protection and the middle classes: What future in the digital age? // International social security review. 2019. № 3. P. 113–133.

3 Горковенко Е.В., Платонова И.В., Чекудаев К.В. Формирование инструментария системы мотивации труда менеджеров промышленных организаций // Экономика и предпринимательство. 2013. № 12–4 (41). С. 329–333.

4 Grigoryeva V.V., Gorkovenko E.V., Platonova I.V., Borshevskaya E.P. et al. Formation of concept of provision of economic security of organization: personnel aspect // European Research Studies Journal. 2016. V. 19. № 2. P. 46–54.

5 Гайфуллин А.Ю. Доступность медицинской помощи как фактор социальной безопасности арктических регионов // Проблемы функционирования и развития территориальных социально-экономических систем: материалы VI Всероссийской научно-практической internet-конференции. Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН, 2017. С. 153–157.

6 Гайфуллин А.Ю. Социальные технологии управления обществом: проблемы и перспективы // Проблемы функционирования и развития территориальных социально-экономических систем: сборник статей II Всероссийской научно-практической интернет-конференции. Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН, 2018. С. 52–56.

7 Горковенко Е.В., Платонова И.В., Чекудаев К.В. Анализ экономической безопасности Центрально-Черноземного региона // Экономика и предпринимательство. 2017. № 8–3 (85). С. 253–258.

8 Горковенко Е.В., Платонова И.В. Оценка угроз экономической безопасности Центрально-Черноземного региона // Материалы LVI отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2017 год. 2018. С. 164.

9 Послание Президента Российской Федерации Федеральному Собранию Российской Федерации от 01.12.2016 // Российская газета. 2016. № 274. С. 24–26.

10 Стратегия социально-экономического развития Воронежской области на период до 2035 года (с изменениями на 23 декабря 2019 года). URL: http://docs.cntd.ru/document/550300779 (дата обращения: 20.12.2020 г.).

11 Карасев О.И., Пуляевская В.Л. Разработка сценарных условий как ключевой этап подготовки стратегии региона // Вестник НГУЭУ. 2016. № 3. С. 60-69.

12 Кулаев А.П., Казак А.А. Стратегическое планирование в российской федерации: плюсы, вопросы и проблемы // Вестник НГУЭУ. 2016. № 3. С. 70-83.

13 Пиньковецкая Ю.С. Малое предпринимательство в контрактной системе: закупки для регионов россии // Вестник НГУЭУ. 2016. № 3. С. 215-228.

14 Fast facts and figures about social security 2013. Government Printing Office, 2013.

15 George V. Social security and society. Routledge, 2018. V. 3.

16 Gruber J., Wise D. A. Social security and retirement around the world. University of Chicago Press, 2019.

17 Soneji S., King G. Statistical security for social security // Demography. 2012. V. 49. №. 3. P. 1037-1060. doi: 10.1007/s13524-012-0106-z

18 Gruber J., Wise D. A. Social security programs and retirement around the world: Micro-estimation. University of Chicago Press, 2019.

19 Kahf M., Al Yafai S. Social security and zakāh in theory and practice // International Journal of Economics, Management and Accounting. 2015. V. 23. №. 2. P. 189-215.

20 Pennings F. Social security // Routledge Handbook of the Welfare State. Routledge, 2018. P. 355-365.

References

1 Burchi Fr. Social protection and revenue collection: how they can jointly contribute to strengthening social cohesion. International social security review. 2020. no. 4. pp. 14–29.

2 Palier Br. Work, social protection and the middle classes: What future in the digital age? International social security review. 2019. no. 3. pp. 113–133.

3 Gorkovenko E.V., Platonova I.V., Chekudaev K.V. Formation of tools for the system of labor motivation of managers of industrial organizations. Economics and Entrepreneurship. 2013. no. 12–4 (41). pp. 329–333. (in Russian).

4 Grigoryeva V.V., Gorkovenko E.V., Platonova I.V., Borshevskaya E.P. et al. Formation of concept of provision of economic security of organization: personnel aspect. European Research Studies Journal. 2016. vol. 19. no. 2. pp. 46–54.

5 Gaifullin A. Yu. Accessibility of medical care as a factor of social security in the Arctic regions. Problems of functioning and development of territorial socio-economic systems: materials of the VI All-Russian scientific and practical Internet-conference. Ufa, ICEI UNC RAN, 2017. pp. 153–157. (in Russian).

6 Gaifullin A.Yu. Social technologies of society management: problems and prospects. Problems of functioning and development of territorial socio-economic systems: collection of articles of the II All-Russian Scientific and Practical Internet Conference. Ufa, ICEI UNC RAN, 2018. pp. 52–56. (in Russian).

7 Gorkovenko E.V., Platonova I.V., Chekudaev K.V. Analysis of the economic security of the Central Black Earth region. Economics and Entrepreneurship. 2017. no. 8–3 (85). pp. 253–258. (in Russian).

8 Gorkovenko E.V., Platonova I.V. Assessment of threats to the economic security of the Central Black Earth region. Materials of the LVI reporting scientific conference of VSUET teachers and researchers for 2014. 2018. pp. 164. (in Russian).

9 Message of the President of the Russian Federation to the Federal Assembly of the Russian Federation dated 01.12.2016. Russian newspaper. 2016. no. 274. pp. 24–26. (in Russian).

10 Strategy of socio-economic development of the Voronezh Region for the period up to 2035 (as amended on December 23, 2019). Available at: http://docs.cntd.ru/document/550300779 (accessed: 20.12.2020) (in Russian).

11 Karasev O.I., Pulyaevskaya V.L. Development of scenario conditions as a key stage in the preparation of a regional strategy. Vestnik NSUEM. 2016. no. 3. pp. 60-69. (in Russian).

12 Kulaev A.P., Kazak A.A. Strategic planning in the Russian Federation: pros, questions and problems. Vestnik NSUEM. 2016. no. 3. pp. 70-83. (in Russian).

13 Pinkovetskaya Yu.S. Small Business in the Contract System: Procurement for Russian Regions. Vestnik NSUEM. 2016. no. 3. pp. 215-228. (in Russian).

14 Fast facts and figures about social security 2013. Government Printing Office, 2013.

15 George V. Social security and society. Routledge, 2018. vol. 3.

16 Gruber J., Wise D. A. Social security and retirement around the world. University of Chicago Press, 2019.

17 Soneji S., King G. Statistical security for social security. Demography. 2012. vol. 49. no. 3. pp. 1037-1060. doi: 10.1007/s13524-012-0106-z

18 Gruber J., Wise D. A. Social security programs and retirement around the world: Micro-estimation. University of Chicago Press, 2019.

19 Kahf M., Al Yafai S. Social security and zakāh in theory and practice. International Journal of Economics, Management and Accounting. 2015. vol. 23. no. 2. pp. 189-215.

20 Pennings F. Social security. Routledge Handbook of the Welfare State. Routledge, 2018. pp. 355-365

Сведения об авторах

Екатерина В. Горковенко к.э.н., доцент, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gorek@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-9699-4238

Ирина В. Платонова к.э.н., доцент, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, aniri_78@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3213-9854

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Ekaterina V. Gorkovenko Cand. Sci. (Econ.), associate professor, economic security and financial monitoring department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gorek@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-9699-4238

Irina V. Platonova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, economic security and financial monitoring department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036. Russia, aniri_78@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3213-9854

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 29/01/2021	**После редакции** 18/02/2022	**Принята в печать** 02/03/2021

Received 29/01/2021	**Accepted in revised** 18/02/2022	**Accepted** 02/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-443-454 Оригинальная статья/Research article
УДК 360 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Комплексная интегральная оценка ресурсообеспеченности бизнес-организации на различных стадиях её жизненного цикла

Надежда Н. Кривцова [1] titovanadya2012@mail.ru 0000-0003-1323-6584
Юрий А. Саликов [1] saural@rambler.ru
Елена А. Резникова [1] elenardrug@mail.ru
Мирон А. Карпович [2] tb.gerolskih@cds.vrn.ru 0000-0002-5690-8400

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия

Аннотация. Необходимость оценки ресурсообеспеченности промышленного предприятия на каждой стадии жизненного цикла обусловлена ограниченностью имеющихся ресурсов и повышением их эффективного и рационального использования. Разработка методического подхода оценки ресурсообеспеченности промышленного предприятия позволит не только диагностировать проблемы, которые возникли или могут возникнуть на конкретной стадии его жизненного цикла, но и предусмотреть изменение ситуации на рынке и своевременно отреагировать. Ресурсное обеспечение - это совокупность необходимых видов ресурсов, которыми располагает промышленное предприятие и рационально использует их с целью продления или восстановления соответствующей стадии жизненного цикла и дальнейшего развития. Для промышленных предприятий наиболее приоритетными являются такие составляющие ресурсного обеспечения деятельности по стадиям жизненного цикла, как: «Финансовые и информационно-интеллектуальные ресурсы» на стадии рождения, «Кадровые и производственно-сбытовые ресурсы» на стадии роста, «Имиджевые ресурсы и ресурсы экономической безопасности» на стадии зрелости и «Ресурсы экономической безопасности и информационно-интеллектуальные ресурсы» на стадии кризиса. На основе представленных приоритетных составляющих ресурсного обеспечения промышленного предприятия сформирована система показателей, позволяющая измерять и контролировать процесс его развития на каждой стадии жизненного цикла. Разработанная методика оценки ресурсообеспеченности промышленного предприятия на различных стадиях его жизненного цикла включает 7 этапов. По представленному методическому подходу проведена оценка ресурсообеспеченности реально действующего промышленного предприятия на различных стадиях его жизненного цикла. В качестве исследуемого было выбрано мясоперерабатывающее предприятие Воронежской области (ООО «Х»). Полученное значение комплексного интегрального показателя ресурсообеспеченности исследуемого промышленного предприятия на стадии рождения соответствует очень высокому уровню, на стадии роста – среднему и на стадии зрелости – очень низкому, что свидетельствует о недостаточности приоритетных составляющих ресурсного обеспечения для преодоления предприятием стадии роста и перехода на стадию зрелости. На основании проведенной оценки ресурсообеспеченности предложены возможные направления для дальнейшего развития ООО «Х».

Ключевые слова: ресурсы, ресурсообеспеченность, оценка ресурсообеспеченности, промышленное предприятие, развитие

Comprehensive integrated assessment of the resource availability of a business organization at various stages of its life cycle

Nadezhda N. Krivtsova [1] titovanadya2012@mail.ru 0000-0003-1323-6584
Yurii A. Salikov [1] saural@rambler.ru
Elena A. Reznikova [1] elenardrug@mail.ru
Miron A. Karpovich [2] tb.gerolskih@cds.vrn.ru 0000-0002-5690-8400

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
2 Voronezh State Technical University, 84, 20th Anniversary of October St., Voronezh, 394006, Russia

Abstract. The need to assess the resource availability of the industrial enterprise at each stage of the life cycle is due to the limited resources available and the increase of their effective and rational use. The development of a methodical approach to assess the resource availability of the industrial enterprise will allow not only to diagnose the problems that have arisen or may arise at a particular stage of its life cycle, but also to anticipate changes in the market situation and respond in a timely manner. Resource provision is a set of necessary types of resources that an industrial enterprise has and uses them rationally in order to extend or restore the appropriate stage of the life cycle and further development. For industrial enterprises, the highest priority are such components of the resource provision of activities by stages of the life cycle as: "Financial and information-intellectual resources" at the stage of birth, "Personnel and production and sales resources" at the stage of growth, "Image resources and resources of economic security" at the stage of maturity and "Resources of economic security and information-intellectual resources" at the stage of crisis. On the basis of the presented priority components of the resource provision of the industrial enterprise the system of indicators, allowing to measure and control the process of its development at each stage of the life cycle, was formed. The developed methodology of assessing the resource availability of the industrial enterprise at various stages of its life cycle includes 7 stages. According to the presented methodological approach, the assessment of resource availability of actually operating industrial enterprise at various stages of its life cycle was carried out. The meat-processing enterprise of the Voronezh region (LLC "X") was chosen as the one under study. The resulting value of the integrated integral indicator of resource availability of the industrial enterprise under study at the stage of birth corresponds to a very high level, at the stage of growth - to the average and at the stage of maturity - very low, which indicates the lack of priority components of resource provision to overcome the growth stage and the transition to the stage of maturity. Based on the assessment of resource availability the possible directions for the further development of "X" LLC were proposed.

Keywords: resources, resource availability, assessment of resource availability, industrial enterprise, development

Для цитирования
Кривцова Н.Н., Саликов Ю.А., Резникова Е.А., Карпович М.А. Комплексная интегральная оценка ресурсообеспеченности бизнес-организации на различных стадиях её жизненного цикла // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 443–454. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-443-454

For citation
Krivtsova N.N., Salikov Yu.A., Reznikova E.A., Karpovich M.A. Comprehensive integrated assessment of the resource availability of a business organization at various stages of its life cycle. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 443–454. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-443-454

© 2021, Кривцова Н.Н. и др. / Krivtsova N.N. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

В современных экономических реалиях, характеризующихся увеличением степени нестабильности параметров внешней среды, необходимым условием выживания и обеспечения эффективных результатов функционирования промышленного предприятия является поиск путей повышения конкурентоспособности и постоянное совершенствование деятельности. Формирование конкурентных преимуществ в значительной мере зависит от способности субъектов хозяйствования рационально использовать имеющиеся ресурсы на каждой стадии жизненного цикла. В этой плоскости оценка ресурсообеспеченности промышленного предприятия на каждой стадии жизненного цикла становится платформой для экономического роста, успешного функционирования, повышения конкурентного статуса и дальнейшего развития.

Научный интерес к изучению вопросов, связанных с оценкой ресурсообеспеченности промышленного предприятия на каждой стадии жизненного цикла, обусловлен ограниченностью имеющихся ресурсов и необходимостью их эффективного и рационального использования. Это требует, прежде всего, определения сущности ресурсов как экономической категории, обоснования содержательной характеристики данного понятия и уточнения его составляющих.

Оценка ресурсообеспеченности промышленного предприятия позволит не только диагностировать проблемы, которые возникли или могут возникнуть на конкретной стадии его жизненного цикла, но и предусмотреть изменение ситуации на рынке и своевременно отреагировать. Оперативность принятия соответствующих управленческих решений позволит продлить или восстановить соответствующую стадию жизненного цикла промышленного предприятия. Важность таких решений возрастает ввиду быстроизменяющейся внешней среды и возможностей конкурентов отреагировать соответствующим образом.

Разработка методического подхода оценки ресурсообеспеченности промышленного предприятия позволит проанализировать наличие и эффективность использования ресурсного обеспечения на каждой стадии жизненного цикла. Применение такого подхода предприятием будет способствовать оптимизации и рационализации имеющихся ресурсов.

Материалы и методы

Вопросы методики анализа использования отдельных видов ресурсов были рассмотрены во многих научных статьях, соответствующих разделах учебников и учебных пособий отечественных и зарубежных ученых и специалистов, в частности Л.Е. Басовского, М.А. Вахрушина, А.Г. Кайгородова, Г.И. Апр, К.Ф. Ковальчук, Т.Д. Косово, Е.В. Мниха, Н.С. Пласкова, Г.В. Савицкой, В.М. Серединский и других.

Общепринятым в научной литературе является деление методов оценки ресурсообеспеченности промышленных предприятий на формализованные и неформализованные (таблица 1).

Неформализованные методы в процессе оценки ресурсообеспеченности можно использовать в трех направлениях. Во-первых, это структуризация имеющихся ресурсов в целях идентификации их составляющих компонентов. Во-вторых, для измерения показателей, которые не могут быть оценены количественными методами. В-третьих, в целях исчисления значимости составляющих ресурсов. Основным недостатком применения неформализованных методов является высокая степень субъективизма полученных оценок. Преимуществом формализованных методов является их точность и объективность. В процессе оценки ресурсообеспеченности промышленного предприятия отечественные исследователи обычно используют экономико-статистические методы, методы нормирования и интегрального оценивания.

В то же время методологические и методические аспекты оценки ресурсообеспеченности промышленного предприятия на каждой стадии его жизненного цикла остаются вне зоны внимания ученых. Фундаментальной основой разработки методического подхода к оценке ресурсообеспеченности промышленного предприятия на различных стадиях его жизненного цикла является определение экономической сущности таких ключевых понятий как «ресурсы» и «ресурсное обеспечение».

Проблемы ресурсного обеспечения и эффективности использования ресурсов промышленных предприятий всегда привлекали и продолжают привлекать внимание ученых-экономистов и практиков. Известны труды по этой проблематике таких специалистов, как В.И. Андрейчук, М. Армстронг, Г. Беккер, Н.А. Власова, В.М. Геец, А.Дж. Стрикленд, А.А. Томпсон, Л. Туроу, А.С. Федонин и др.

Анализ современных научных подходов к определению сущности понятия «ресурсы» свидетельствует о том, что большинство исследователей под ресурсами понимают конкретные средства, запасы и реальные возможности промышленного предприятия по их целесообразному и рациональному использованию для достижения поставленных целей и задач.

С экономической позиции «ресурсы» – это инструменты, которые прямо или косвенно участвуют в процессе производства или предоставления услуг. В общем виде ресурсами могут выступать природные элементы (сырье, геофизическое сырье), трудовые ресурсы (человеческий капитал), капитал (в физической форме), информационные (документы и др.), финансовые (капитал в денежной форме), оборотные средства, предпринимательские способности и др [1].

Таблица 1.

Особенности и направления применения современных методов оценки ресурсообеспеченности промышленного предприятия

Table 1.

Peculiarities and directions of modern methods of assessment of resource availability of industrial enterprise

Метод The method	Особенности Peculiarities	Направления применения Directions for use
1	2	3
Неформализованные методы оценки | Non-formalized evaluation methods		
Структурно-функционального моделирования Structural and functional modeling	Предполагается проведение системного анализа процесса функционирования промышленного предприятия с идентификацией ресурсов, привлеченных на каждом из его этапов It is supposed to conduct a system analysis of the process of functioning of an industrial enterprise with the identification of resources involved in each of its stages	Идентификация составляющих ресурсного обеспечения Identification of resource components
Матричные методы Matrix methods	Построение двух- или трехмерной матрицы, визуализирующих финансовое положение промышленного предприятия по фактическим значениям исследуемых показателей Construction of a two – or three-dimensional matrix visualizing the financial situation of an industrial enterprise by the actual values of the studied indicators	Наглядное представление фактического состояния промышленного предприятия относительно желаемого; является ценным в процессе стратегического планирования A visual representation of the actual state of an industrial enterprise relative to the desired one; valuable in the strategic planning process
Эвристические методы Heuristic methods	Используются для количественного измерения сложно формализованных величин They are used to quantify complex formalized quantities	Оценка количественных и качественных характеристик ресурсов, коэффициентов весомости Assessment of quantitative and qualitative characteristics of resources, weighting coefficients
Формализованные методы оценки | Formalized evaluation methods		
Экономико-статистический метод Economic-statistical method	Вычисление абсолютных показателей Calculation of absolute values	Оценка количественных и качественных параметров ресурсов Assessment of quantitative and qualitative parameters of resources
	Вычисление относительных показателей (коэффициентов) Calculation of relative indicators (coefficients)	Оценка эффективности использования ресурсов (эффект в расчете на единицу ресурса) | Evaluation of resource efficiency (effect per unit of resource)
Методы нечеткой логики Fuzzy logic methods	Количественное измерение сложно формализованных показателей; вычисление интегральных коэффициентов Quantitative measurement of complex formalized indicators; calculation of integral coefficients	Оценка количественных и качественных характеристик ресурсов, коэффициентов весомости | Assessment of quantitative and qualitative characteristics of resources, weighting coefficients
Нормирования norming method	Приведение несопоставимых показателей ресурсного обеспечения в безразмерный вид Bringing non-comparable indicators of resource provision in a dimensionless form	Подготовка несопоставимых показателей количественных и качественных параметров ресурсов к дальнейшей интеграции Preparation of non-comparable indicators of quantitative and qualitative parameters of resources for further integration

Продолжение таблицы 1 | Continuation of table 1

1	2	3
Интегральной оценки Integral assessment method	Вычисление обобщенного показателя, в котором синтезированы ранее определенные нормированные показатели Calculation of the generalized indicator, which synthesized previously defined normalized indicators	Вычисление обобщенных интегральных коэффициентов Calculation of generalized integral coefficients
Корреляционного анализа correlation analysis method	Оценка тесноты и характера связи между переменными Assessment of the closeness and nature of the relationship between variables	Количественное обоснование коэффициентов весомости составляющих ресурсного обеспечения | Quantitative justification of the weighting coefficients of the components of resource provision
Таксономический анализ Taxonomic analysis	Дает возможность сравнить показатели деятельности промышленного предприятия с виртуальным эталоном Gives the opportunity to compare the performance of an industrial enterprise with a virtual benchmark	Количественное измерение степени отставания от эталона Quantitative measurement of the degree of lag from the benchmark
DEA-анализ DEA analysis	Сопоставление способности нескольких объектов (промышленных предприятий) трансформировать ресурсы (входы) на результаты (выходы) Comparison of the ability of several objects (industrial enterprises) to transform resources (inputs) into results (outputs)	Сравнительный анализ эффективности и полноты использования ресурсного обеспечения с конкурентами Comparative analysis of the effectiveness and completeness of the use of resources with competitors

Анализ научной литературы показал, что сущность ресурсного обеспечения рассматривается через такие содержательные характеристики, как: совокупность определенных видов ресурсов, которые принимают непосредственное участие в процессах развития промышленного предприятия; возможность промышленного предприятия обеспечить свою деятельность необходимым количеством и набором ресурсов для достижения положительного экономического эффекта в определенный момент времени; процесс поиска, привлечения и использования различных видов ресурсов; система государственных мероприятий, направленных на создание материальных, правовых, институциональных условий преобразования элементов ресурсного пространства на средства достижения целей [1].

Большинство авторов акцентирует внимание на том, что получение финансовых результатов промышленным предприятием возможно при наличии соответствующего ресурсного обеспечения, поэтому необходимо распоряжаться ресурсами так, чтобы в дальнейшем достичь результатов экономического, социального, экологического, инновационного эффекта. Когда промышленное предприятие имеет достаточное количество ресурсов в своем распоряжении, оно способно выполнять все свои функции, нормально развиваться и функционировать в соответствии с поставленными целями.

Рассмотрев различные толкования понятия «ресурсное обеспечение», можно дать собственную его трактовку: ресурсное обеспечение – это совокупность необходимых видов ресурсов, которыми располагает промышленное предприятие и рационально использует их с целью продления или восстановления соответствующей стадии жизненного цикла и дальнейшего развития. По нашему мнению, важно рассмотреть составляющие ресурсного обеспечения промышленного предприятия. На структуру составляющих ресурсного обеспечения влияет множество факторов, среди которых – отрасль деятельности, в которой функционирует промышленное предприятие, его организационно-правовая форма, выбранная стратегия развития, масштаб производства, численность работников, финансово-экономическое положение и др.

На основе проведенных исследований установлено, что составляющие ресурсного обеспечения основаны на множестве классификаций различных видов ресурсов промышленного предприятия. Рассмотрим их подробнее:

- материальные ресурсы – основные фонды и активы предприятия;
- технологические ресурсы – имеющиеся технологии и особенности организации производственного процесса промышленного предприятия, инновации, наличие конкурентных преимуществ, идей и научных изобретений;
- трудовые (кадровые) ресурсы – штатный состав работников, пригодных к труду, в результате трудовых усилий которых создается готовая продукция;

- финансовые ресурсы – денежные единицы, которые находятся на балансе промышленного предприятия и которыми оно может распоряжаться;
- инвестиционные ресурсы – материальные и нематериальные ресурсы, используемые инвестором в процессе их вложения в объекты инвестирования с целью дальнейшего получения прибыли;
- нематериальные ресурсы – это такие составляющие потенциала, которые способны приносить экономическую пользу промышленному предприятию в течение относительно длительного периода времени, к ним относятся полезные модели и патенты, товарные и промышленные образцы;
- пространственные ресурсы – помещения, в которых происходит производственный процесс, а также территория промышленного предприятия, коммуникации связи, электроснабжения;
- информационные ресурсы – все документы, которые хранятся в так называемых информационных системах; это могут быть библиотеки, архивы, банки данных, интернет среда и тому подобное;
- время – это очень специфический вид ресурса, поскольку он является невозобновляемым ресурсом, его нельзя купить, восстановить или вернуть;
- природные ресурсы – природное сырье, которое может быть использовано как предмет потребления и как средство труда;
- правовые ресурсы – законодательные акты, нормативно-правовые и научно-методические документы (положения, правила, нормы, инструкции, рекомендации, характеристики и т. п.) [2].

На наш взгляд, для промышленных предприятий наиболее приоритетными являются такие составляющие ресурсного обеспечения деятельности по стадиям жизненного цикла, как: «Финансовые и информационно-интеллектуальные ресурсы» на стадии рождения, «Кадровые и производственно-сбытовые ресурсы» на стадии роста, «Имиджевые ресурсы и ресурсы экономической безопасности» на стадии зрелости и «Ресурсы экономической безопасности и информационно-интеллектуальные ресурсы» на стадии кризиса.

На основе представленных приоритетных составляющих ресурсного обеспечения промышленного предприятия может быть сформирована система показателей, позволяющая измерять и контролировать процесс его развития на каждой стадии жизненного цикла [3]. Система показателей приоритетных составляющих ресурсного обеспечения промышленного предприятия на различных стадиях его жизненного цикла представлена в таблице 2.

Таблица 2.

Система показателей приоритетных составляющих ресурсного обеспечения промышленного предприятия на различных стадиях его жизненного цикла

Table 2.

The system of indicators of priority components of the resource provision of the industrial enterprise at various stages of its life cycle

Стадия жизненного цикла промышленного предприятия Stage of the life cycle of an industrial enterprise	Приоритетная составляющая ресурсного обеспечения The priority component of resource provision	Показатель (k_{ij}) Indicator (k_{ij})
1	2	3
Рождение Birth	Финансовые ресурсы Financial resources	Коэффициент общей ликвидности, коэффициент срочной ликвидности, коэффициент абсолютной ликвидности, коэффициент оборачиваемости активов, коэффициент оборачиваемости дебиторской задолженности, коэффициент оборачиваемости кредиторской задолженности, коэффициент финансовой зависимости, рентабельность активов, рентабельность реализации, рентабельность собственного капитала Total liquidity ratio, quick ratio, absolute liquidity ratio, asset turnover ratio, accounts receivable turnover ratio, accounts payable turnover ratio, financial dependence ratio, return on assets, return on sales, return on equity
	Информационно-интеллектуальные ресурсы Information and intellectual resources	доля сотрудников, имеющих высшее образование, доля сотрудников, прошедших переподготовку и повышение квалификации в отчетном периоде, доля сотрудников, имеющих докторскую и кандидатскую степень, доля НИР, доля нематериальных активов в общем объеме активов | share of employees with higher education, share of employees who received retraining and advanced training in the reporting period, share of employees with doctoral and candidate degrees, share of research developments, share of intangible assets in the total assets

Продолжение таблицы 2 | Continuation of table 2

1	2	3
Рост Growth	Кадровые ресурсы Human resources	Коэффициент оборота по приему, коэффициент оборота по выбытию, коэффициент текучести кадров, коэффициент общего оборота кадров, коэффициент полного оборота кадров, коэффициент замещения, коэффициент постоянства состава персонала на предприятии, коэффициент стабильности персонала Turnover rate for additions, turnover rate for departures, staff turnover rate, total staff turnover rate, total staff turnover rate, replacement rate, the coefficient of personnel composition constancy in the enterprise, the coefficient of personnel stability
	Производственно-сбытовые ресурсы Production and sales resources	Коэффициент износа ОПФ, коэффициент годности ОПФ, коэффициент использования технологических возможностей, коэффициент использования производственных мощностей, фондоотдача, фондоемкость, коэффициент загрузки оборудования, коэффициент сменности, коэффициент сбытовых затрат, коэффициент охвата клиентов, коэффициент превращения в новых клиентов, коэффициент утраты клиентов, коэффициент объема продаж на одного клиента, коэффициент средней величины заказа, коэффициент аннулирования заказа | depreciation factor of fixed production assets, utilization factor of fixed production assets, technological capacity utilization factor, capacity utilization factor, capital productivity, capital intensity, equipment utilization factor, shift factor, sales cost factor, customer coverage factor, customer conversion factor, customer loss factor, sales volume per customer, average order value factor, order cancellation factor
Зрелость Maturity	Имиджевые ресурсы Image resources	известность торговой мирки, уровень сервисных услуг, уровень лояльности предприятия к партнерам, информационная открытость предприятия, доля проводимых предприятием социальных акций, значимость продукции предприятия для региона, уровень лояльности руководства к персоналу | the recognition of the trading world, the level of service, the level of loyalty of the company to its partners, information transparency of the company, the share of social activities conducted by the company, the importance of the company's products for the region, the level of loyalty of management to the staff
	Ресурсы экономической безопасности Economic security resources	рентабельность продукции, рентабельность продаж, коэффициент автономии, фондоотдача, фондоемкость, фондорентабельность, коэффициент финансового левериджа product profitability, return on sales, autonomy coefficient, productivity of funds, cost of funds, profitability of funds, financial leverage coefficient
Кризис Crisis	Ресурсы экономической безопасности Economic security resources	рентабельность продукции, рентабельность продаж, коэффициент автономии, фондоотдача, фондоемкость, фондорентабельность, коэффициент финансового левериджа product profitability, return on sales, autonomy coefficient, productivity of funds, cost of funds, profitability of funds, financial leverage coefficient
	Информационно-интеллектуальные ресурсы Information and intellectual resources	доля сотрудников, имеющих высшее образование, доля сотрудников, прошедших переподготовку и повышение квалификации в отчетном периоде, доля сотрудников, имеющих докторскую и кандидатскую степень, доля НИР, доля нематериальных активов в общем объеме активов | share of employees with higher education, share of employees who received retraining and advanced training in the reporting period, share of employees with doctoral and candidate degrees, share of research developments, share of intangible assets in the total assets

Полноценное функционирование промышленного предприятия возможно только при наличии достаточного количества приоритетных составляющих ресурсного обеспечения, необходимых на каждой стадии его жизненного цикла. В то же время успешная деятельность промышленного предприятия способствует повышению уровня ресурсообеспеченности и переходу на следующую стадию развития или смены вида деятельности (на стадии кризиса). Поэтому возникает вопрос оценки ресурсного обеспечения деятельности промышленного предприятия на каждой стадии жизненного цикла с помощью одного интегрального показателя, который бы учитывал наличие приоритетных составляющих ресурсного обеспечения и давал общую оценку их количества для дальнейшего развития.

Различные методики трансформации базовых индикаторов, ранжирования и расчета

интегрального показателя имеют свои преимущества и недостатки и дают, соответственно, разные результаты. Одним из недостатков расчета интегрального показателя является относительность процедуры взвешивания значимости тех или иных компонентов в общей структуре предмета или явления.

Одним из методов минимизации этого недостатка является метод анализа иерархий (МАИ), который был разработан американским математиком Т. Саати в конце 1970-х годов. Он состоит в декомпозиции проблемы на более простые составляющие части и представлении ее в виде иерархии, элементы которой попарно сравниваются между собой по девятибалльной шкале [4].

В отличие от существующих подходов предлагаем методику оценки ресурсообеспеченности промышленного предприятия на различных стадиях его жизненного цикла, включающую определение весомостей приоритетных составляющих ресурсного обеспечения с помощью метода анализа иерархий. Предложенная методика представляет собой чувствительный математический аппарат для оценки уровня ресурсообеспеченности промышленного предприятия на различных стадиях жизненного цикла, реагирует даже на незначительные отклонения начальных параметров, которые трудно учитывать в процессе управления.

Рассмотрим предложенную методику оценки ресурсообеспеченности промышленного предприятия на различных стадиях его жизненного цикла более детально (рисунок 1). На первом этапе происходит формирование системы частных показателей k_{ij}, отражающих в наибольшей степени уровень ресурсообеспеченности промышленного предприятия, по приоритетным составляющим ресурсного обеспечения на каждой стадии жизненного цикла, а именно: «Финансовые и информационно-интеллектуальные ресурсы» на стадии рождения, «Кадровые и производственно-сбытовые ресурсы» на стадии роста, «Имиджевые ресурсы и ресурсы безопасности» на стадии зрелости и «Ресурсы безопасности и информационно-интеллектуальные ресурсы» на стадии кризиса, и осуществляется их расчет [5].

При этом отдельно определяется группа показателей, высокое значение которых стимулирует ресурсообеспеченность промышленного предприятия, а также группа показателей, высокое значение которых тормозит ресурсообеспеченность.

На втором этапе происходит нормирование частных показателей, то есть приведение их к одному диапазону (от 0 до 1) с целью сравнения между собой.

Процедура нормирования осуществляется по формулам (1) (для показателей, которые стимулируют ресурсообеспеченность), (2) (для показателей, которые тормозят ресурсообеспеченность):

$$k_{ij}^{стим} = \frac{k_{ij} - k_{ijmin}}{k_{ijmax} - k_{ijmin}} \qquad (1)$$

где $k_{ij}^{стим}$ – i-ый частный показатель j-ой приоритетной составляющей ресурсного обеспечения, который стимулирует ресурсообеспеченность промышленного предприятия на конкретной стадии жизненного цикла; k_{ij} – i-ый частный показатель j-ой приоритетной составляющей ресурсного обеспечения; k_{ijmax} – максимальное значение частного показателя, который стимулирует ресурсообеспеченность, в j-й приоритетной составляющей ресурсного обеспечения; k_{ijmin} – минимальное значение частного показателя, который стимулируют ресурсообеспеченность, в j-й приоритетной составляющей ресурсного обеспечения.

$$k_{ij}^{дестим} = 1 - \frac{k_{ij} - k_{ijmin}}{k_{ijmax} - k_{ijmin}} \qquad (2)$$

где $k_{ij}^{дестим}$ – i-ый частный показатель j-ой приоритетной составляющей ресурсного обеспечения, который дестимулирует ресурсообеспеченность промышленного предприятия на конкретной стадии жизненного цикла; k_{ij} – i-ый частный показатель j-ой приоритетной составляющей ресурсного обеспечения; k_{ijmax} – максимальное значение частного показателя, который дестимулирует ресурсообеспеченность, в j-й приоритетной составляющей ресурсного обеспечения; k_{ijmin} – минимальное значение частного показателя, который дестимулирует ресурсообеспеченность, в j-й приоритетной составляющей ресурсного обеспечения.

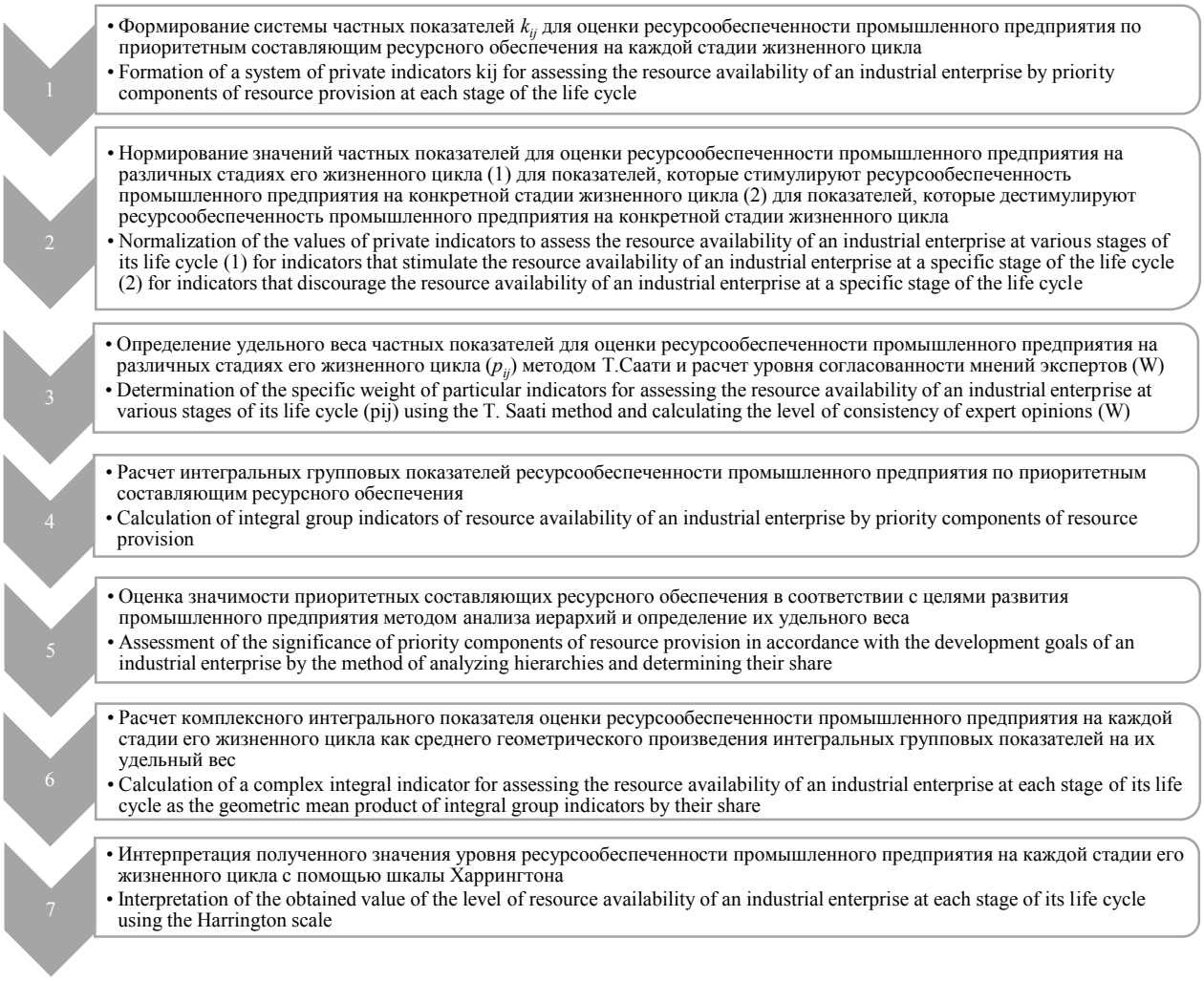


Рисунок 1. Последовательность этапов оценки ресурсообеспеченности промышленного предприятия на каждой стадии его жизненного цикла

Figure 1. The sequence of stages of assessing the resource availability of an industrial enterprise at each stage of its life cycle

На третьем этапе методом парных сравнений (методом Т. Саати) происходит оценка значимости (относительной важности) каждого частного показателя приоритетной составляющей ресурсного обеспечения. Специальные группы экспертов проводят оценку методом парных сравнений частных показателей по каждой приоритетной составляющей ресурсного обеспечения. Респонденты каждой группы заполняют «матрицу суждений», в которой представлены все показатели соответствующей группы. Удельный вес показателей будет рассчитываться по формуле (3):

$$a_{ij} = \frac{\sqrt[n_i]{\prod_{Y=1}^{n_i} a_{XY}}}{\sum_{Y=1}^{n_i} \sqrt[n_i]{\prod_{Y=1}^{n_i} a_{XY}}} \quad (3)$$

где a_{ij} – удельный вес j-ого показателя в i-ой приоритетной составляющей ресурсного обеспечения; a_{XY} – балльная экспертная оценка показателя x относительно показателя y; n_i – количество показателей в i-й приоритетной составляющей ресурсного обеспечения.

Итоговое значение удельного веса каждого показателя определяется как среднее арифметическое по соответствующим значениям, полученным от каждого эксперта. В результате получаем поправочные коэффициенты p_{ij}, которые позволят осуществить ранжирование частных показателей для каждой приоритетной составляющей ресурсного обеспечения на каждой стадии жизненного цикла. Степень согласованности мнений экспертов по каждой группе можно рассчитать с помощью коэффициента конкордации, вычисляемый по формуле (4).

$$W = \frac{12S}{m^2\left(n^3 - n\right)} \quad (4)$$

где w – коэффициент конкордации; n – количество результирующих показателей по каждой

приоритетной составляющей ресурсного обеспечения; m – количество респондентов (m = 10); S – сумма квадратов разниц.

Сумма квадратов разностей (S) рассчитывается по формуле (5).

$$S = \sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{j=1}^{m} x_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} x_{ij}}{n}\right)^2 \qquad (5)$$

где S – сумма квадратов разниц; x_{ij} – экспертная балльная оценка i-го показателя j-м экспертом.

На четвертом этапе рассчитываются интегральные групповые показатели оценки ресурсообеспеченности промышленного предприятия на каждой стадии жизненного цикла как сумма произведений частных показателей kij на соответствующие поправочные коэффициенты pij в соответствующей приоритетной составляющей ресурсного обеспечения.

На пятом этапе происходит оценка значимости приоритетных составляющих ресурсного обеспечения методом анализа иерархий и определяется удельный вес (ω_i) финансовых и информационно-интеллектуальных ресурсов на стадии рождения, кадровых и производственно-сбытовых ресурсов на стадии роста, имиджевых ресурсов и ресурсов экономической безопасности на стадии зрелости, ресурсов экономической безопасности и информационно-интеллектуальных ресурсов на стадии кризиса.

На шестом этапе рассчитывается комплексный интегральный показатель для оценки ресурсоообеспеченности промышленного предприятия на каждой стадии жизненного цикла как среднегеометрическое произведений интегральных групповых показателей на их удельный вес по формулам:

$$K_{ресоб\ I} = \sqrt{K_{фр}\omega_{фр}K_{инф-инт}\omega_{инф-инт}}$$

$$K_{ресоб\ II} = \sqrt{K_{кр}\omega_{кр}K_{пр-сб}\omega_{пр-сб}}$$

$$K_{ресоб\ III} = \sqrt{K_{ир}\omega_{ир}K_{эб}\omega_{эб}}$$

$$K_{ресоб\ IV} = \sqrt{K_{эб}\omega_{эб}K_{инф-инт}\omega_{инф-инт}}$$

где $K_{ресоб\ i}$ – комплексный интегральный показатель ресурсообеспеченности промышленного предприятия на i-той стадии жизненного цикла; $K_{фр}, K_{инф-инт}$, $K_{кр}$, $K_{пр-сб}$, $K_{ир}$, $K_{эб}$ – интегральные групповые показатели ресурсообеспеченности промышленного предприятия по финансовым, информационно-интеллектуальным, кадровым, производственно-сбытовым, имиджевым ресурсам и ресурсам экономической безопасности соответственно; $\omega_{фр}$, $\omega_{инф-инт}$, $\omega_{кр}$, $\omega_{пр-сб}$, $\omega_{ир}$, $\omega_{эб}$ – удельный вес финансовых, информационно-интеллектуальных, кадровых, производственно-сбытовых, имиджевых ресурсов и ресурсов экономической безопасности соответственно.

На седьмом этапе осуществляется анализ полученных значений комплексных интегральных показателей ресурсообеспеченности промышленного предприятия на каждой стадии жизненного цикла. Для этого применяется универсальная вербально-числовая шкала Харрингтона, приведенная в таблице 3. С помощью данной шкалы устанавливается соответствие между физическими (числовыми) и психофизическими параметрами (высокое / низкое, хорошо / плохо, большой / маленький).

Таблица 3.

Вербально-числовая шкала Харрингтона

Table 3.

Harrington's Verbal Numerical Scale

Уровень управления ресурсообеспеченностью бизнес-организации The level of resource management of the business organization	Числовое значение Numerical value
Очень высокий | Very high	0,8–1,0
Высокий | High	0,63–0,8
Средний | Medium	0,37–0,63
Низкий | Low	0,2–0,37
Очень низкий | Very low	0–0,2

Руководство предприятия с помощью шкалы Харрингтона имеет возможность интерпретировать полученное значение интегрального показателя ресурсообеспеченности на каждой стадии жизненного цикла и принимать на его основе управленческие решения.

Результаты и обсуждение

Проведем оценку ресурсообеспеченности реально действующего промышленного предприятия на различных стадиях его жизненного цикла. В качестве исследуемого было выбрано мясоперерабатывающее предприятие Воронежской области (ООО «Х»).

Мясная промышленность является одной из ведущих отраслей агропромышленного комплекса России. Она объединяет промышленные предприятия, которые осуществляют убой и переработку скота и птицы и вырабатывают мясо и мясную продукцию. Несмотря на сохранение положительной динамики в производстве мяса в России, тревога за развитие мясной отрасли

нарастает. Пандемия коронавируса COVID-19 оказывает негативное влияние на мясоперерабатывающую отрасль, которое проявляется в сокращении реальных доходов населения, увеличении безработицы, снижении деловой активности и падении спроса. Более всего производителей заботит снижение доходов граждан и вероятное усиление безработицы. В сложившихся условиях поиск путей оптимального и рационального использования имеющихся ресурсов является наиболее актуальным.

Приоритетом в развитии сельского хозяйства Воронежской области остается молочное и мясное скотоводство. За отчетный год производство мяса составило 537 тыс. тонн. По производству свинины и говядины область занимает четвертое место в России. Рост объемов производства сырья стимулирует положительную динамику предприятий перерабатывающей отрасли. По итогам 2019 года произведено продукции на 224,4 млрд рублей, индекс производства продуктов составил 113 %. В текущем году завершится реализация проектов по переработке молока-сырья в Бобровском и Аннинском районах и продолжится инвестиционная фаза по развитию перерабатывающих мощностей двух крупнейших холдингов-прозводителей сырья – групп компаний «ЭкоНива» и «АГРОЭКО» [6, 7].

На основе данных хозяйственного учета деятельности ООО «Х» рассчитаем частные показатели оценки ресурсообеспеченности по приоритетным составляющим ресурсного обеспечения на каждой стадии жизненного цикла и проведем их нормирование.

Далее проводится экспертная оценка значимости показателей методом их попарных сравнений. В опросе участвуют по 10 экспертов, которые ориентируются в финансовой, кадровой, интеллектуальной, информационной, имиджевой, производственной, сбытовой, экономически безопасной составляющих ресурсного обеспечения промышленного предприятия. Затем производится расчет удельного веса частных показателей (pij) и рассчитывается уровень согласованности мнений экспертов (W) по каждой группе.

Далее производится расчет интегральных групповых показателей ресурсообеспеченности промышленного предприятия по приоритетным составляющим ресурсного обеспечения и оценка их значимости методом анализа иерархий с целью определения удельного веса (таблица 4).

Таблица 4.

Результаты расчетов комплексных интегральных показателей ресурсообеспеченности по стадиям жизненного цикла для ООО «Х» (2019 г.)

Table 4.

Results of calculations of integrated integral indicators of resource availability by stages of the life cycle for LLC X (2019).

Стадия жизненного цикла промышленного предприятия Stage of the life cycle of an industrial enterprise	Составляющая ресурсного обеспечения Resource provisioning component	Интегральный групповой показатель ресурсообеспеченности Integral group indicator of resource availability	Удельный вес Specific weight	Комплексный интегральный показатель ресурсообеспеченности промышленного предприятия Comprehensive integral indicator of resource availability of an industrial enterprise
Рождение Birth	Финансовые ресурсы Financial resources	2,314	0,634	0,832
	Информационно-интеллектуальные ресурсы Information and intellectual resources	1,289	0,366	
Рост Growth	Кадровые ресурсы Human resources	0,876	0,435	0,472
	Производственно-сбытовые ресурсы Production and sales resources	1,035	0,565	
Зрелость Maturity	Имиджевые ресурсы Image resources	0,312	0,643	0,119
	Ресурсы экономической безопасности Economic security resources	0,197	0,357	

Как видно из таблицы 4, значение комплексного интегрального показателя ресурсообеспеченности исследуемого промышленного предприятия на стадии рождения соответствует очень высокому уровню, на стадии роста – среднему и на стадии зрелости – очень низкому, что свидетельствует о недостаточности приоритетных составляющих ресурсного обеспечения для преодоления предприятием стадии роста и перехода на стадию зрелости. Возможными направлениями для дальнейшего развития ООО «Х» являются:

- совершенствование кадровой политики промышленного предприятия;
- оптимизация производственных мощностей промышленного предприятия;
- разработка основных моделей деятельности сбыта продукции по нескольким альтернативным вариантам, при этом учитывая все угрозы и возможности внутренних и внешних факторов;
- создание и поддержание положительного имиджа промышленного предприятия;
- создание службы экономической безопасности промышленного предприятия.

Заключение

Методика оценки ресурсообеспеченности промышленного предприятия на каждой стадии жизненного цикла позволяет получать объективную оценку благодаря применению метода анализа иерархий для определения удельного веса каждой приоритетной составляющей ресурсного обеспечения и применению шкалы Харрингтона с целью интерпретации получаемых значений комплексных интегральных показателей.

Литература

1 Бланк И.А. Антикризисное финансовое управление предприятием. М.: Эльга, 2018. 981 с.
2 Блэк Дж. Экономика. Толковый словарь. М.: ИНФРА-М, Издательство "Весь Мир", 2014. 540 с.
3 Саликов Ю.А., Кривцова Н.Н. Финансово-экономические характеристики жизненного цикла организации // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 3. С. 246–252. doi:10.20914/2310–1202–2020–3–246–252.
4 Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1989. 316 с
5 Krivtsova N.N., Salikov Yu.A., Strukov G.N., Sukhareva I.A. Methodological approach to analysis of business-organization development factors at life cycle stages // Advances in Economics, Business and Management Research. Proceedings of the Russian Conference on Digital Economy and Knowledge Management (RuDEcK 2020). 2020. P. 341–346.
6 Voronkova O.V., Kurochkina A.A., Firova I.P., Bikezina T.V. Implementation of an information management system for industrial enterprise resource planning // Revista Espacios. 2017. V. 38. №. 49.
7 Voronkova O.Y., Iakimova L.A., Frolova I.I., Shafranskaya C.I. et al. Sustainable development of territories based on the integrated use of industry, resource and environmental potential. 2019.
8 Arora M. et al. Buildings and the circular economy: Estimating urban mining, recovery and reuse potential of building components // Resources, Conservation and Recycling. 2020. V. 154. P. 104581.
9 Sotnikova E. A., Zviagintceva Y. A. Managing Company Competitiveness in the Digital Economy // Scientific and Technical Revolution: Yesterday, Today and Tomorrow. 2020.V. 129. P. 365.
10 Figge F. et al. Longevity and circularity as indicators of eco-efficient resource use in the circular economy // Ecological economics. 2018. V. 150. P. 297-306.
11 Bradley R. et al. A total life cycle cost model (TLCCM) for the circular economy and its application to post-recovery resource allocation // Resources, Conservation and Recycling. 2018. V. 135. P. 141-149.
12 Di Maio F. et al. Measuring resource efficiency and circular economy: A market value approach // Resources, Conservation and Recycling. 2017. V. 122. P. 163-171.
13 Monk E., Wagner B. Concepts in enterprise resource planning. Cengage Learning, 2012.
14 Lieder M., Rashid A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry // Journal of cleaner production. 2016. V. 115. P. 36-51. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.12.042
15 Braglia M., Frosolini M. An integrated approach to implement project management information systems within the extended enterprise // International Journal of Project Management. 2014. V. 32. №. 1. P. 18-29. doi: 10.1016/j.ijproman.2012.12.003
16 Mittal S., Khan M.A., Romero D., Wuest T. A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs) // Journal of manufacturing systems. 2018. V. 49. P. 194-214.
17 Kwilinski A. Mechanism of modernization of industrial sphere of industrial enterprise in accordance with requirements of the information economy. 2018.
18 Langenwalter G. A. Enterprise resources planning and beyond: integrating your entire organization. CRC Press, 2020. V. 12.
19 Im K., Cho H. A systematic approach for developing a new business model using morphological analysis and integrated fuzzy approach // Expert Systems with Applications. 2013. V. 40. №. 11. P. 4463-4477. doi: 10.1016/j.eswa.2013.01.042
20 Schumacher A., Erol S., Sihn W. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises // Procedia Cirp. 2016. V. 52. P. 161-166. doi: 10.1016/j.procir.2016.07.040

References

1 Blank I.A. Anti-crisis financial management of the enterprise. Moscow, Elga, 2018. 981 p. (in Russian).
2 Black J. Economics. Dictionary. Moscow, INFRA-M, Ves Mir Publishing House, 2014. 540 p. (in Russian).
3 Salikov Yu.A., Krivtsova N.N. Financial and economic characteristics of the life cycle of the organization. Proceedings of VSUET. 2020.vol. 82. no. 3. pp. 246–252. doi: 10.20914/2310–1202–2020–3–246–252 (in Russian).
4 Saati T.L. Making decisions. Hierarchy analysis method. Moscow, Radio i svyaz, 1989. 316 p. (in Russian).

5 Krivtsova N.N., Salikov Yu.A., Strukov G.N., Sukhareva I.A. Methodological approach to analysis of business-organization development factors at life cycle stages. Advances in Economics, Business and Management Research. Proceedings of the Russian Conference on Digital Economy and Knowledge Management (RuDEcK 2020). 2020. pp. 341–346.

6 Voronkova O.V., Kurochkina A.A., Firova I.P., Bikezina T.V. Implementation of an information management system for industrial enterprise resource planning. Revista Espacios. 2017. vol. 38. no. 49.

7 Voronkova O.Y., Iakimova L.A., Frolova I.I., Shafranskaya C.I. et al. Sustainable development of territories based on the integrated use of industry, resource and environmental potential. 2019.

8 Arora M. et al. Buildings and the circular economy: Estimating urban mining, recovery and reuse potential of building components. Resources, Conservation and Recycling. 2020. vol. 154. pp. 104581.

9 Sotnikova E.A., Zviagintceva Y.A. Managing Company Competitiveness in the Digital Economy. Scientific and Technical Revolution: Yesterday, Today and Tomorrow. 2020. vol. 129. pp. 365.

10 Figge F. et al. Longevity and circularity as indicators of eco-efficient resource use in the circular economy. Ecological economics. 2018. vol. 150. pp. 297-306.

11 Bradley R. et al. A total life cycle cost model (TLCCM) for the circular economy and its application to post-recovery resource allocation. Resources, Conservation and Recycling. 2018. vol. 135. pp. 141-149.

12 Di Maio F. et al. Measuring resource efficiency and circular economy: A market value approach. Resources, Conservation and Recycling. 2017. vol. 122. pp. 163-171.

13 Monk E., Wagner B. Concepts in enterprise resource planning. Cengage Learning, 2012.

14 Lieder M., Rashid A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. Journal of cleaner production. 2016. vol. 115. pp. 36-51. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.12.042

15 Braglia M., Frosolini M. An integrated approach to implement project management information systems within the extended enterprise. International Journal of Project Management. 2014. vol. 32. no. 1. pp. 18-29. doi: 10.1016/j.ijproman.2012.12.003

16 Mittal S., Khan M.A., Romero D., Wuest T. A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). Journal of manufacturing systems. 2018. vol. 49. pp. 194-214.

17 Kwilinski A. Mechanism of modernization of industrial sphere of industrial enterprise in accordance with requirements of the information economy. 2018.

18 Langenwalter G. A. Enterprise resources planning and beyond: integrating your entire organization. CRC Press, 2020. vol. 12.

19 Im K., Cho H. A systematic approach for developing a new business model using morphological analysis and integrated fuzzy approach. Expert Systems with Applications. 2013. vol. 40. no. 11. pp. 4463-4477. doi: 10.1016/j.eswa.2013.01.042

20 Schumacher A., Erol S., Sihn W. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. Procedia Cirp. 2016. vol. 52. pp. 161-166. doi: 10.1016/j.procir.2016.07.040

Сведения об авторах

Надежда Н. Кривцова старший преподаватель, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, titovanadya2012@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-1323-6584

Юрий А. Саликов д.э.н., профессор, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, saural@rambler.ru

Елена А. Резникова к.э.н., доцент, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, elenardrug@mail.ru

Мирон А. Карпович д.э.н, профессор, кафедра цифровой и отраслевой экономики, Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия, tb.gerolskih@cds.vrn.ru
https://orcid.org/0000-0002-5690-8400

Information about authors

Nadezhda N. Krivtsova senior teacher, economic security and financial monitoring department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, titovanadya2012@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-1323-6584

Yurii A. Salikov Dr. Sci. (Econ.), professor, economic security and financial monitoring department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, saural@rambler.ru

Elena A. Reznikova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, economic security and financial monitoring department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, elenardrug@mail.ru

Miron A. Karpovich Dr. Sci. (Econ.), professor, digital and industrial economics department, Voronezh State Technical University, 84, 20th Anniversary of October St., Voronezh, 394006, Russia, tb.gerolskih@cds.vrn.ru
https://orcid.org/0000-0002-5690-8400

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/01/2021	**После редакции** 17/02/2021	**Принята в печать** 05/03/2021
Received 20/01/2021	**Accepted in revised** 17/02/2021	**Accepted** 05/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-455-459 Оригинальная статья/Research article
УДК 330.3 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Критериальная оценка инновационных разработок

Юлия Н. Степанова [1] julia_vrn@inbox.ru 0000-0002-6502-042X

1 Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия

Аннотация. Сложность инновационных процессов связана с высоким уровнем неопределенности в результатах выведения на рынок новшеств и их коммерциализации. Ключевой задачей в инновационном развитии хозяйствующих субъектов является превентивная оценка инноваций и выбор наиболее перспективных для внедрения инновационных разработок. Данное обстоятельство требует проведение исследования и детальной проработки методологического аппарата оценки инновационных разработок. Цель работы: осуществить критериальную оценку перспективных для внедрения инновационных разработок, трансфер которых обеспечит высокий уровень отдачи на вложенные инвестиции, и приведет к росту инновационной активности хозяйствующих субъектов. Объект исследования: инновационные разработки (создание собственных, приобретение, копирование). Предлагаемая оценка инновационной разработки базируется на расчете двух критериев: срок окупаемости и универсальность. Выбор критерия «срок окупаемости» обоснован двумя аспектами. Прежде всего он определяет срок, за который вложенные средства вернутся инвестору и определяет «доходность» вложений в инновационные разработки, так как его расчёт напрямую связан с показателями затраты и прибыль. Оценка качественных показателей критерия «универсальность»: новизна, изобретательский уровень, применимость, соответствие стандартам, наличие конкурентов на рынке осуществляется балльным методом при помощи экспертов. Полученные результаты оценки отражают рекомендации по результативности внедрения инновационных разработок дополняют общую оценку инновационной деятельности, в части включения в стоимость новой продукции затрат на создание инновационной разработки от модели в рамках НИОКР, на освоение производства и иные возможные затраты, связанные с доведением инновационной разработки до использования в производстве и коммерциализации.

Ключевые слова: инновационные разработки, трансфер технологий, срок окупаемости, универсальность

Criteria-based assessment of innovative developments

Yuliya N. Stepanova [1] julia_vrn@inbox.ru 0000-0002-6502-042X

1 Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, st. Timiryazeva, 8, Voronezh, 394087, Russia

Abstract. The complexity of innovation processes is associated with a high level of uncertainty in the results of bringing innovations to the market and their commercialization. The key task in the innovative development of business entities is the preventive assessment of innovations and the selection of the most promising for the implementation of innovative developments. This circumstance requires research and detailed elaboration of the methodological apparatus for assessing innovative developments. Purpose of the work: to carry out a criterion assessment of promising for the implementation of innovative developments, the transfer of which will provide a high level of return on investment, and will lead to an increase in the innovative activity of business entities. Research object: innovative developments (creation of our own, acquisition, copying). The proposed assessment of innovative development is based on the calculation of two criteria: payback period and versatility. The choice of the "payback period" criterion is based on two aspects. First of all, it determines the period for which the invested funds will be returned to the investor and determines the "profitability" of investments in innovative developments, since its calculation is directly related to cost and profit indicators. Evaluation of the quality indicators of the criterion "universality": novelty, inventive step, applicability, compliance with standards, the presence of competitors in the market is carried out by a point method with the help of experts. The results of the assessment reflect the recommendations on the effectiveness of the implementation of innovative developments, complement the overall assessment of innovative activities, in terms of including in the cost of new products the costs of creating an innovative development from a model within the framework of R&D, for the development of production and other possible costs associated with bringing the innovative development to use in production and commercialization.

Keywords: innovative developments, technology transfer, payback period, versatility

Введение

Несомненно, есть проблемы, тормозящие развитие инновационной экономики России, такие как: низкий спрос на инновации и огромная доля импорта инновационных технологий на уровне 98,8% от общего числа [1–4]. По данным статистики, лишь 5% результатов российских НИОКР находят применение в промышленности, тогда как в США и Великобритании – около 70%. Из 500 запатентованных в РФ изобретений только одно внедряется в реальное производство, что свидетельствует о крайне низкой практический степени применения инновационных разработок [5].

Цель работы – осуществить критериальную оценку перспективных для внедрения инновационных разработок, трансфер которых обеспечит

Для цитирования
Степанова Ю.Н. Критериальная оценка инновационных разработок // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 455–459. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-455-459

For citation
Stepanova Yu.N. Criteria-based assessment of innovative developments. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 455–459. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-455-459

© 2021, Степанова Ю.Н. / Stepanova Yu.N.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

высокий уровень отдачи на вложенные инвестиции, и приведет к росту инновационной активности хозяйствующих субъектов.

Материалы и методы

Методика отбора перспективных для внедрения инновационных разработок включает в себя четыре последовательных этапов: выбор подхода к оценке инновационной разработки; алгоритм оценки первого критерия выбора; алгоритм оценки второго критерия выбора; комплексная оценка инновационной разработки и принятие решения по результатам оценки.

Первый этап связан с определением стоимости инновационной разработки (CID). Для оценки стоимости создания инновационных разработок возможно использовать затратный, сравнительный (рыночный) и доходный методы.

В целом выбор подходов к оценке инновационных разработок зависит от целей и задач, стоящих перед хозяйствующим субъектом, а также воздействия отраслевого фактора [6].

Второй этап направлен на определение коммерческой ценности инновационной разработки. Для этого предложено использовать показатель «срок окупаемости» инвестиций (CT). Выбор этого показателя обоснован простотой его определения, важностью для инвестора и информационной насыщенностью, ввиду того, что он выступает характеристикой отдачи инвестиций и временным индикатором диффузии инноваций.

Критерий срока окупаемости является одним из наиболее распространенных в мировой и отечественной практике. В основу критерия положен подход определения периода времени, который потребуется для возврата суммы изначальных вложений. Критерий «срок окупаемости» возможно рассчитать с любой точностью: до месяца, недели, дней.

Исходя из того, что инновационные разработки являются фактором повышения инновационной активности хозяйствующего субъекта, предлагаем определить границы по критерию в рамках до 12 месяцев включительно. Если значение «срок окупаемости» меньше или равно 12 месяцев, то ему присваивается 1 балл, если меньше 12 месяцев, то 0 баллов.

Третий этап связан с определением стратегической важности инновационной разработки. Вторым критерием выбора перспективных к внедрению ИР предлагаем использовать критерий «универсальности» (CU).

Считаю, что критерий «универсальности» способен оценить рыночный потенциал каждой исследуемой ИР с точки зрения результативности.

Оценка инновационных разработок по уровню «универсальности» осуществляется балльным способом на базе частных показателей: новизна (U1); изобретательский уровень (U2); применимость (U3); соответствие стандартам (U4); наличие конкурентов на рынке (U5).

Оценка показателей U1, U2, U3 производится в соответствии с характеристикой, прописанной в ст. 1350 ГК РФ. Показатель U4 оценивается в соответствии с ГОСТ Р56261–2014 [4].

Оценка показателя U5 происходит путем сравнения с аналогами конкурентов.

Далее в качестве способа оценки качественных показателей используется балльный метод. В случае соответствия критерия заявленным характеристикам он получает положительную оценку, ему присваивается 1 балл. В случае несоответствия – ответ отрицательный, присваивается 0 баллов. Итоговая сумма баллов по показателям может иметь диапазон от 1 до 5 баллов. Далее полученный балл относится к зоне значимости оценки следующим образом: 5 баллов – зона «высокой» оценки универсальности инновационной разработки, от 4 до 1 балла – зона «низкой» оценки.

При таком подходе возможны корректировки изменения балльных оценок и зон их значимости.

Четвертый этап позволяет дать комплексную оценку и осуществить отбор перспективных для внедрения инновационных разработок на основе способов комбинаторики [7–9].

Результаты и обсуждение

Полученные критерии оценки CT, CU могут иметь ограниченное число комбинаций [10-11]. Интерпретация итоговых комбинаций и рекомендации к трансферу и внедрению инновационных разработок отражены в таблице 1.

Итоговая комбинация комплексной-оценки: CID {0; 0} свидетельствует о том, что инновационная разработка неприемлема для использования [12-13].

Комбинация оценки CID {1; 1} рекомендует инновационные разработки к внедрению, так как срок ее окупаемости меньше года и высокая зона критерия универсальности.

Таблица 1.

Комплексная оценка инновационной разработки (CID)

Table 1.

Comprehensive assessment of innovative development (CID)

Критерий CT CT Criterion	Ограничения Limitations	Баллы Scores	Критерий CU CU Indicator	Баллы Scores	Зона значения CU Scores Value Area	Индикатор (IU) Indicator IU
Срок окупаемости Payback period	<12 месяцев	1	**Универсальности** Versatility	5	высокая high	1
	>12 месяцев	0		1–4	низкая low	0
Итоговая комбинация (combination) CID = {CT; CU}						
CID {0; 0}	CID {1; 0}		CID {0; 1}	CID {1; 1}		

Примечание: CT – критерий «срок окупаемости»; CU – критерий «универсальности»; IU – итоговый балл качественного показателя

Note: CT – criterion «payback period»; CU – criterion of «universality»; IU – the final score of the quality indicator

Оценка CID {0; 1} характеризует инновационную разработку, как рекомендованную к внедрению, если для приобретателя срок окупаемости имеет другие (более 12 месяцев) временные ограничения. Оценка CID {1; 0} инновационная разработка может быть рекомендована к внедрению, если из выбранной матицы оценки CU для приобретателя существенность каких-либо качественных показателей (U1…U5), не столь важна (низкая), то есть имеет в комбинации 0 баллов.

Заключение

Предлагаемая комплексная оценка помогает хозяйствующему субъекту установить уровень новизны и критерии инновационности инновационных разработок, которые никак и нигде законодательно, нормативно, административно не установлены [14–20].

Полученные результаты сократят значительный разрыв между уровнем затрат на производство инновационной продукции и объемами ее производства для хозяйствующих субъектов.

Литература

1 Морковина С.С., Степанова Ю.Н., Золотухин Е.Ю. Инновационная восприимчивость средних и крупных предприятий региональной системы и факторы ее определяющие // В сборнике: Глобальные проблемы модернизации национальной экономики. Материалы IX Международной научно-практической конференции. 2020. С. 426–438.

2 ГОСТ Р 56261–2014 Инновационный менеджмент. Инновации. Основные положения. Национальный стандарт Российской Федерации. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200118633

3 Андреев Ю.Н. Современное состояние малых инновационных предприятий при вузах и научных организациях // Инноватика и экспертиза. Научные труды Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Научно-исследовательский институт – Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы». М.: ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, 2019. № 1. С. 10–20.

4 Городникова Н.В., Гохберг Л.М., Дитковский К.А. и др. Индикаторы инновационной деятельности: 2018: статистический сборник. М.: НИУ ВШЭ, 2018. 344 с.

5 Теребова С.В., Борисов В.Н. Развитие малого инновационного бизнеса в промышленном и научно-образовательном секторе России // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2019. Т. 12. № 3. С. 55–76. doi: 10.15838/esc.2019.3.63.4.

6 Лосева О.В., Федотова М.А. Подходы к стоимости оценки результатов научных исследований в научных организациях и организациях высшего образования // Проблемы экономики и юридической практики. 2018. № 5. С. 67–71.

7 Андреев Ю.Н., Лукашева Н.А., Секерин В.Д. Пути усиления взаимодействия малых инновационных предприятий с промышленностью // Инноватика и экспертиза. Научные труды Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Научно-исследовательский институт – Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы». М.: ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, 2018. № 3. С. 75–84.

8 Cahyadi A., Magda R. Digital Leadership in the Economies of the G20 Countries: A Secondary Research // Economies. 2021. V. 9. № 1. P. 32. doi: 10.3390/economies9010032

9 Kowalski A.M., Rybacki J. Moderate Innovator Trap – Does the Convergence of Innovation Performance Occur in the World Economy? // Economies. 2021. V. 9. № 1. P 11. doi: 10.3390/economies9010011

10 Красникова А.В., Красникова М.С. Оценка эффективности коммерциализации инноваций // В сборнике: Юность и Знания – Гарантия Успеха. Сборник научных трудов 4-й Международной молодежной научной конференции. 2017. С. 67–70.

11 Веселовский М.Я., Милькевич Д.А. Проблемы коммерциализации инноваций в медицинской промышленности // Вестник АГТУ. 2019. № 2. С. 50-57. doi: 10.24143/2073-5537-2019-2-50-57

12 Kondrasheva N.N. Development of an innovative project for the new product launch // Components of Scientific and Technological Progress. 2020. № 2 (44). С. 26-29.

13 Заенчковский А.Э. Назработка многоуровневой системы ключевых показателей эффективности инновационных процессов региона // Решение. 2017. Т. 1. С. 399-401.

14 Zaytsev A.A., Blizkyi R.S., Rakhmeeva I.I., Dmitriev N.D. Building a Model for Financial Management of Digital Technologies in the Areas of Combinatorial Effects // Economies. 2021. V. 9. P. 52. doi: 10.3390/economies902005

15 Report of Inter-Agency and Expert Group on Sustainable Development Goal Indicators (E/CN.3/2017/2). Revised list of global Sustainable Development // Goal indicators. 2017. P. 26. URL: http://unstats.un.org

16 Nazarevich S., Smirnova M., Tushavin V. Integral criteria for evaluation of scientific and technical research // International Journal for Quality Research. 2015. V. 9. №. 3.

17 Mohannak K., Samtani L. A criteria-based approach for evaluating innovation commercialisation // Proceedings of the DRUID Society Conference 2014. DRUID Society, 2014. P. 1-15.

18 Messmann G., Mulder R.H. Development of a measurement instrument for innovative work behaviour as a dynamic and context-bound construct // Human Resource Development International. 2012. V. 15. №. 1. P. 43-59. doi: 10.1080/13678868.2011.646894

19 Batkovskiy A.M. et al. Developing intelligent decision support systems in multi-criteria problems of administrative-territorial formations infrastructure projects assessment // Journal of Applied Economic Sciences. 2017. V. 12. №. 5. P. 51.

20 Anand A. et al. Generalized innovation diffusion modeling & weighted criteria based ranking // Proceedings of 3rd International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization. IEEE, 2014. P. 1-6. doi: 10.1109/ICRITO.2014.7014705

References

1 Morkovina S.S., Stepanova Yu. N., Zolotukhin E. Yu. Innovative susceptibility of medium and large enterprises of the regional system and its determining factors // In the collection: Global problems of modernization of the national economy. Materials of the IX International Scientific and Practical Conference. 2020. pp. 426–438 (in Russian).

2 GOST R 56261–2014 Innovation management. Innovation. Basic provisions. National standard of the Russian Federation. Available at: http://docs.cntd.ru/document/1200118633

3 Andreev Yu.N. The current state of small innovative enterprises at universities and scientific organizations // Innovation and expertise. Scientific works of the Federal State Budgetary Institution of Science "Research Institute – Republican Research Scientific and Consulting Center for Expertise". Moscow, FGBNU NII RINKTSE, 2019. no. 1. pp. 10–20 (in Russian).

4 Gorodnikova N.V., Gokhberg L.M., Ditkovsky K.A. et al. Indicators of innovative activity: 2018: statistical collection. Moscow, NRU HSE, 2018. 344 p. (in Russian).

5 Terebova S.V., Borisov V.N. Development of small innovative business in the industrial and scientific and educational sector of Russia. Economic and social changes: facts, trends, forecast. 2019. vol. 12. no. 3. pp. 55–76. doi: 10.15838 / esc.2019.3.63.4 (in Russian).

6 Loseva O.V., Fedotova M.A. Approaches to the cost of evaluating the results of scientific research in scientific organizations and institutions of higher education. Problems of Economics and Legal Practice. 2018. no. 5. pp. 67–71 (in Russian).

7 Andreev Yu. N., Lukasheva N.A., Sekerin V.D. Ways to enhance the interaction of small innovative enterprises with industry. Innovation and Expertise. Scientific works of the Federal State Budgetary Institution of Science "Research Institute – Republican Research Scientific and Consulting Center for Expertise". Moscow, FGBNU NII RINKTSE, 2018. no. 3. pp. 75–84. (in Russian).

8 Cahyadi A., Magda R. Digital Leadership in the Economies of the G20 Countries: A Secondary Research. Economies. 2021. vol. 9. no. 1. pp. 32. doi: 10.3390/economies9010032

9 Kowalski A.M., Rybacki J. Moderate Innovator Trap – Does the Convergence of Innovation Performance Occur in the World Economy? Economies. 2021. vol. 9. no. 1. pp. 11. doi: 10.3390/economies9010011

10 Krasnikova A.V., Krasnikova M.S. Evaluation of the effectiveness of commercialization of innovations. In the collection: Youth and Knowledge – the Guarantee of Success. Collection of scientific papers of the 4th International Youth Scientific Conference. 2017. pp. 67–70 (in Russian).

11 Veselovsky M.Ya., Milkevich D.A. Problems of the commercialization of innovations in the medical industry. Vestnik AGTU. 2019. no. 2. pp. 50-57. doi: 10.24143 / 2073-5537-2019-2-50-57 (in Russian).

12 Kondrasheva N.N. Development of an innovative project for the new product launch. Components of Scientific and Technological Progress, 2020. no. 2 (44). pp. 26-29. (in Russian).

13 Zaenchkovsky A.E. Development of a multilevel system of key indicators of the effectiveness of innovation processes in the region. Decision, 2017. vol. 1. pp. 399-401. (in Russian).

14 Zaytsev A.A., Blizkyi R.S., Rakhmeeva I.I., Dmitriev N.D. Building a Model for Financial Management of Digital Technologies in the Areas of Combinatorial Effects. Economies. 2021. vol. 9. pp. 52. doi: 10.3390/economies9020052 (in Russian).

15 Report of Inter-Agency and Ex pert Group on Sustainable Development Goal Indicators (E/CN.3/2017/2). Revised list of global Sustainable Development. Goal indicators, 2017. pp. 26. Available at: http://unstats.un.org

16 Nazarevich S., Smirnova M., Tushavin V. Integral criteria for evaluation of scientific and technical research. International Journal for Quality Research. 2015. vol. 9. no. 3.

17 Mohannak K., Samtani L. A criteria-based approach for evaluating innovation commercialization. Proceedings of the DRUID Society Conference 2014. DRUID Society, 2014. pp. 1-15.

18 Messmann G., Mulder R.H. Development of a measurement instrument for innovative work behaviour as a dynamic and context-bound construct. Human Resource Development International. 2012. vol. 15. no. 1. pp. 43-59. doi: 10.1080/13678868.2011.646894

19 Batkovskiy A.M. et al. Developing intelligent decision support systems in multi-criteria problems of administrative-territorial formations infrastructure projects assessment. Journal of Applied Economic Sciences. 2017. vol. 12. no. 5. pp. 51.

20 Anand A. et al. Generalized innovation diffusion modeling & weighted criteria based ranking. Proceedings of 3rd International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization. IEEE, 2014. pp. 1-6. doi: 10.1109/ICRITO.2014.7014705

Сведения об авторах

Юлия Н. Степанова к.э.н., доцент, кафедра экономики и финансов, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия, julia_vrn@inbox.ru
https://orcid.org/0000-0002-6502-042X

Information about authors

Yuliya N. Stepanova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, economics and finance department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva St., 8, Voronezh, 394087, Russia, julia_vrn@inbox.ru
https://orcid.org/0000-0002-6502-042X

Вклад авторов

Юлия Н. Степанова написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Yuliya N. Stepanova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Поступила 20/01/2021	**После редакции** 15/02/2021	**Принята в печать** 04/03/2021
Received 20/01/2021	**Accepted in revised** 15/02/2021	**Accepted** 04/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-460-465 Оригинальная статья/Research article
УДК 360 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Исследование возможностей национальной инновационной среды по внедрению финансовых технологий

Надежда А. Серебрякова [1] nad.serebryakova@mail.ru 0000-0002-9141-5580
Татьяна С. Колмыкова [2] kgtu_fk@list.ru 0000-0002-5633-4283
Евгений А. Гривачев [1] garpun-22@mail.ru 0000-0003-4164-7823
Снежанна В. Клыкова [2] kgtu_fk@list.ru 0000-0002-6053-3701

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305000, Россия

Аннотация. Статья посвящена исследованию важной научной и практической проблемы, заключающейся в раскрытии факторов и условий, способствующих стимулированию внедрения инноваций в финансовую отрасль. Изучено, что процессы внедрения цифровых технологий актуальны во всех сферах экономики, особенную восприимчивость к ним демонстрирует финансовая среда. Сделан акцент на том, что Банком России как мегарегулятором реализуется ряд проектов, способствующих формированию условий по имплементации финансовых технологий в банковский сектор страны. Рассмотрены основные инфраструктурные проекты Банка России, направленные на стимулирование развития финтеха. Среди них: единая биометрическая система, система быстрых платежей, маркетплейс Банка России, система передачи финансовых сообщений. В ходе исследования выявлены проблемы в части нормативного обеспечения и регулирования процессов создания и внедрения цифровых технологий. В связи с чем обоснована актуальность адаптации норм финансового права к стремительному распространению цифровых технологий. Доказано, что ускорение темпов внедрения технологических инноваций не только открывает новые возможности для совершенствования бизнеса, но и несет в себе явные и скрытые риски. Анализ материалов исследования позволил структурировать основные потенциальные угрозы, сопровождающие распространение цифровых технологий. Сделан вывод о необходимости разработки системных мероприятий по формированию благоприятной национальной инновационной среды, стимулирующей развитие финансовых инноваций.

Ключевые слова: инновации, управление инновациями, технологические инновации, финансовые инновации

Research of the possibilities of the national innovative environment for the implementation of financial technologies

Nadezhda A. Serebryakova [1] nad.serebryakova@mail.ru 0000-0002-9141-5580
Tatiana S. Kolmykova [2] kgtu_fk@list.ru 0000-0002-5633-4283
Evgeny A. Grivachev [1] garpun-22@mail.ru 0000-0003-4164-7823
Snezhanna V. Klykova [2] kgtu_fk@list.ru 0000-0002-6053-3701

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
2 Southwest State University, st. 50 years of October, 94, Kursk, 305000, Russia

Abstract. The article is devoted to the study of an important scientific and practical problem on the disclosure of factors and conditions that stimulate the introduction of innovations in the financial sector. It has been studied that the processes of introducing digital technologies are relevant in all spheres of the economy. The financial environment is highly receptive to digital adoption. The emphasis is made on the fact that the Bank of Russia as a mega-regulator is implementing a number of projects that stimulate the introduction of financial technologies in the country's banking sector. The main infrastructure projects of the Bank of Russia aimed at stimulating the development of fintech are considered. Among them: a unified biometric system, a system of fast payments, a marketplace of the Bank of Russia, a system for transmitting financial messages. The study revealed the weakness of the national regulatory system for the creation and implementation of digital technologies in the financial environment. The urgency of adapting the norms of financial law to the rapid spread of digital technologies has been substantiated. It has been proven that the acceleration of the pace of implementation of technological innovations not only opens up new opportunities for business improvement, but also carries obvious and hidden risks. Analysis of the research materials made it possible to structure the main potential threats that accompany the spread of digital technologies. It is concluded that it is necessary to develop systemic measures to create a favorable national innovation environment that stimulates financial innovation.

Keywords: innovation, innovation management, technological innovation, financial innovation

Введение

Современный мир претерпевает глобальные технологические трансформации. Цифровые технологии и, порождаемые их использованием, огромные массивы цифровых данных кардинальным образом воздействуют на социально-экономические процессы, происходящие в обществе. Ускорение темпов внедрения технологических инноваций, по мнению экспертов, не только открывает новые возможности для совершенствования бизнеса, но и несет в себе явные и скрытые риски и угрозы [6, 10, 12–20].

Технологические инновации, такие как блокчейн, анализ больших данных, интернет

Для цитирования

Серебрякова Н.А., Колмыкова Т.С., Гривачев Е.А., Клыкова С.В. Исследование возможностей национальной инновационной среды по внедрению финансовых технологий // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 460–465. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-460-465

For citation

Serebryakova N.A., Kolmykova T.S., Grivachev E.A., Klykova S.V. Research of the possibilities of the national innovative environment for the implementation of financial technologies. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 460–465. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-460-465

© 2021, Серебрякова Н.А. и др. / Serebryakova N.A. et al.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

вещей, искусственный интеллект, робототехника приводят к необходимости активного поиска замены традиционных бизнес-моделей на новые, адаптированные к приходу новых технологий. Процессы внедрения цифровых технологий актуальны во всех сферах экономики, особенную восприимчивость демонстрирует финансовая среда.

Методы

В последние годы в профильной литературе получила распространение категория финтеха, которая применяется в отношении компаний финансовой индустрии, активно использующих в своей деятельности цифровые инновации [1, 2, 3, 8].

Согласно исследованиям EY, Россия занимает третье место в мире по уровню проникновения финтех-услуг, уступая лишь Китаю и Индии [7]. Также в стране фиксируется максимально высокий спрос на он-лайн транзакции. Эксперты EY отмечают, что данное лидерство реализовано за счет совместных усилий Банка России и участников финансового рынка.

Мониторингом и регулированием процессов внедрения инструментов финтеха в национальную финансовую систему занимается Банк России, выполняющий функции макрорегулятора. Ориентирами деятельности Банка России, задекларированными в Основных направлениях развития финансового рынка Российской Федерации на период 2019–2021 годов, служат:

1. формирование доверительной среды,
2. развитие конкуренции на финансовом рынке,
3. поддержание финансовой стабильности,
4. обеспечение доступности финансовых услуг и капитала.

Банком России реализуются ряд проектов, направленных на формирование благоприятных средовых условий по внедрению финтеха в банковский сектор страны. Рассмотрим основополагающие из них.

Так, на развитие цифровой инфраструктуры финансового рынка направлено создание и продвижение Единой биометрической системы (ЕБС), которая вместе с логином и паролем от Госуслуг (Единой системой идентификации и аутентификации, ЕСИА) расширяет возможности дистанционного доступа граждан к получению полного спектра финансовых услуг: от открытия счета или вклада до получения кредита. Платформа ЕБС является ключевым элементом механизма удаленной идентификации клиента с использованием его биометрических данных. Ее применение дает возможность заменить личное посещение на получение финансовой услуги в удаленном режиме через интернет, что позволит значительно повысить доступность финансовых продуктов и услуг на территории всей страны.

В расширение сферы применения ЕБС в декабре 2020 г. приняты поправки к ФЗ № 115-ФЗ «О противодействии легализации (отмыванию) доходов, полученных преступным путем, и финансированию терроризма», которые позволяют банкам проводить с клиентами – физическими лицами банковские операции и иные сделки дистанционно.

Использование технологии биометрической идентификации является сравнительным новшеством для банковской системы. В настоящее время только крупные российские банки могут позволить себе внедрение этого вида финтеха. Так, в ВТБ прошла отладку и принята к использованию единая мультиканальная биометрическая платформа, которая позволяет идентифицировать человека по голосу. Система стала доступной для клиентов банка с октября 2020 года. Ранее биометрическая платформа в тестовом режиме распознавала и верифицировала слепок голоса с учетом шума, помех, других искажений звука. Применение технологии позволяет распознавать голос клиента с точностью близкой к 100% и обеспечивает необходимый уровень защиты его финансовых средств.

Яркой инновацией в мировой системе удаленной идентификации является платформа Id-Me, которая представляет собой программный продукт компании RecFaces. Платформа предназначена для создания единого биометрического ландшафта и выполняет широкий функционал: от хранения и пополнения базы профилей клиентов, до мониторинга безопасности на объектах при обнаружении лиц, занесенных в черные списки.

Еще один важный инфраструктурный элемент национальной финансовой системы – система быстрых платежей (СБП). Это сервис Банка России, участниками которого являются 210 банков, зона покрытия услугой составляет более 95% территории Российской Федерации.

СБП позволяет практически мгновенно совершать платежи в пользу как физических, так и юридических лиц без взимания комиссии, а также осуществлять переводы между физическими лицами с использованием наиболее простых идентификаторов – номера мобильного телефона или QR-кода. Удобной опцией, отличающей СБП, является отсутствие привязки перевода или платежа к единому идентификатору, что позволяет выбрать наиболее подходящий способ осуществления операции.

Отличительными особенностями СБП является круглосуточная работа сервиса круглый год, а также то, что списание денежных средств со счета плательщика и зачисление на счет получателя происходит мгновенно. Кроме прочего, не нужно знать номера карты или счета получателя средств, достаточно располагать его номером телефона. Действует ограничение по сумме одного перевода или платежа до 600 тысяч рублей. При этом банки-участники сервиса могут устанавливать дополнительные лимиты на суммы переводов или платежей согласно внутренней политике управления рисками.

Одним из главных элементов цифровой финансовой инфраструктуры является Маркетплейс Банка России, который представляет онлайн сервис по предоставлению дистанционной розничной дистрибуции финансовых продуктов и услуг в круглосуточном режиме. Маркетплейс дает возможность клиентам приобретать финансовые продукты у всех подключенных к системе банков, страховых компаний и прочих участников финансового рынка.

Преимуществами использования платформы Маркетплейс являются следующие: во-первых, клиент получает доступ к финансовым продуктам и услугам различных финансовых организаций круглосуточно в режиме «одного окна», во-вторых, технологические решения позволяют быть уверенными в безопасности совершаемых операций, в-третьих, клиент располагает сведениями о сделках в одном реестре. С позиции финансовых организаций использование сервиса Маркетплейса способствует расширению клиентской базы, осуществлению анализа потребностей клиентов в различных финансовых продуктах и услугах, снижению стоимости привлечения и обслуживания клиентов, организации удаленного взаимодействия и оперативного реагирования при работе с клиентами.

Еще одним проектом по формированию современной инфраструктуры финансового рынка является создание на базе информационно-телекоммуникационной системы Банка России системы передачи финансовых сообщений (СПФС) как альтернативного канала межбанковского взаимодействия. По оценкам ЦБ РФ использование СПФС обходится дешевле SWIFT: если тариф на передачу финансового сообщения через систему SWIFT составляет порядка 1,6–2,7 рубля, то использование СПФС обходится в 1,5–2,5 рубля за сообщение. Кроме того, подключение к SWIFT обходится финансовым учреждениям в десятки тысяч долларов, тогда как к СПФС подключение бесплатно, а также отсутствует плата за обслуживание. Система передачи финансовых сообщений Банка России успела зарекомендовать себя как гарантированный и бесперебойный поставщик услуг по передаче электронных сообщений по финансовым операциям.

Также следует упомянуть о том, что Банком России рассматривается возможность выпуска цифрового рубля как дополнительной формы национальной валюты. Сочетание свойств наличных и безналичных рублей делает возможным использование цифрового рубля для осуществления дистанционных платежей и расчетов онлайн. Считается, что цифровой рубль может стать дополнительным средством расчетов, особенно удобным к использованию в малонаселенных и труднодоступных территориях страны, где ограничен доступ к финансовой инфраструктуре.

Результаты и обсуждение

Наряду с очевидными преимуществами развития цифровых технологий в финансовой среде, можно выделить потенциальные угрозы, сопровождающие их распространение (рисунок 1).

Важным аспектом, сопряженным с развитием национальной финансовой системы, является законодательное регулирование цифровых трансформаций. Вопросами о потенциальных проблемах распространения финтеха и необходимости актуального законотворчества в области регулирования финансового рынка задаются как отечественные, так и зарубежные исследователи [4, 5, 9].

Реализация банковской деятельности на территории Российской Федерации подчинена разветвленной системе нормативно-правовых актов, ключевыми из них являются Конституция Российской Федерации, Федеральный закон «О банках и банковской деятельности», Федеральный закон «О Центральном банке Российской Федерации (Банке России)».

Так, правовые нормы, регулирующие реализацию дистанционных банковских технологий, разрозненны. Кроме того, законодателем не определено понятие дистанционного банковского обслуживания. Отдельные нормы содержатся в п. 3 ст. 847 Гражданского Кодекса РФ, где указано, что договором банковского счета может быть предусмотрено, что распоряжение денежными средствами, находящимися на счете, может осуществляться путем представления расчетных документов в электронной форме, а также с использованием иных видов связи, например факса. В этих целях на практике часто используется электронно-цифровая подпись, которая позволяет установить подлинность, авторство и целостность документа, одновременно являясь аналогом физической подписи уполномоченного лица.

Обеспечению правового регулирования цифровой экономики посвящен федеральный проект «Нормативное регулирование цифровой экономики». Данный проект реализуется в рамках национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», направленной на реализацию Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

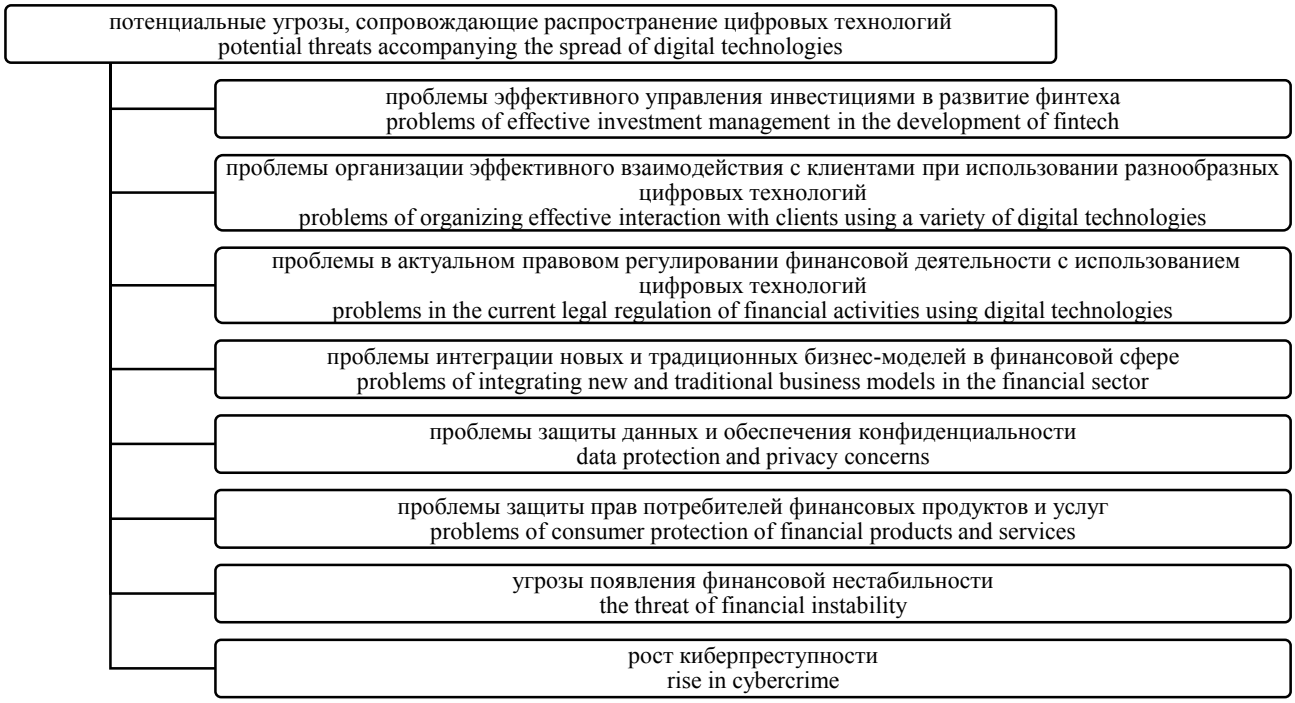


Рисунок 1. Потенциальные угрозы, сопровождающие распространение цифровых технологий в финансовой сфере
Figure 1. Potential threats accompanying the spread of digital technologies

Федеральным проектом «Нормативное регулирование цифровой экономики» предусмотрена разработка и принятие нормативно-правовых документов, способствующих ликвидации первоочередных барьеров, препятствующих развитию цифровой экономики, в том числе в финансовой сфере.

Специалисты отмечают, «что российское законодательство имеет слабое превентивное воздействие на генезис банковских инноваций. В национальном праве отсутствует система регулирования процесса создания и внедрения новых банковских технологий» [11]. Таким образом, актуальной задачей является адаптация норм права к стремительному развитию цифровых технологий на финансовом рынке.

Заключение

Решению перечисленных проблем и угроз распространения цифровых инноваций в финансовой сфере будет способствовать рост надзора за развитием финтеха как в части актуализации законотворчества в области финансового права, так и в наделении соответствующими полномочиями органов, осуществляющих финансовый надзор. Важно учитывать, что инструменты регулирования национальной финансовой системы должны приниматься с учетом комплексного характера отношений в этой сфере. Поскольку банки и прочие финансовые учреждения имеют стратегическое значение для развития национальной экономики, важным является соблюдение баланса в реализации публичных и коммерческих интересов.

Потенциал технологических инноваций в финансовой сфере огромен и горизонты возможностей применения новшеств сейчас сложно спрогнозировать даже специалистам. Одно не вызывает сомнений – внедрение цифровых технологий и создание на их базе новых финансовых продуктов и услуг должно быть направлено на обеспечение законных прав и интересов всех участников финансовых взаимоотношений.

Литература

1 Dapp T., Slomka L., AG D.B., Hoffmann R. Fintech–The digital (r) evolution in the financial sector //Deutsche Bank Research. 2014. P. 1-39.

2 Ducas E., Wilner A. The security and financial implications of blockchain technologies // Regulating emerging technologies in Canada International Journal. 2017. V. 72. P. 538–562.

3 Fortnum D., Pollari I., Mead W., Hughes B. et al. The pulse of fintech Q1 2017: Global analysis of investment in fintech. KPMG technical report. New York, 2017.

4 Gabor D., Brooks S. The digital revolution in financial inclusion: international development in the fintech era // New Political Economy. 2017. V. 22. №. 4. P. 423-436. doi: 10.1080/13563467.2017.1259298

5 Lee I., Shin Y. J. Fintech: Ecosystem, business models, investment decisions, and challenges // Business Horizons. 2018. V. 61. №. 1. P. 35-46. doi: 10.1016/j.bushor.2017.09.003

6 Serebryakova N.A., Dorokhova N.V., Isaenko M.I., Dashkova E.S. Directions of transformation of labor relations in the modern conditions // Journal of Applied Economic Sciences. 2016. V. 11. № 8. P. 1542–1551.

7 Глобальный индекс принятия FinTech – 2019. URL: https://www.ey.com/en_gl/ey-global-fintech-adoption-index

8 Казаренкова Н.П., Световцева Т.А. Трансформация банковской системы России под влиянием цифровизации экономики // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2018. Т. 8. № 4 (29). С. 188–195.

9 Колмыкова Т.С., Апальков Д.А., Казьмин А.Ю. Исследование динамики развития национального банковского сектора в условиях цифровизации экономического пространства // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2020. Т. 10. № 3. С. 99–110.

10 Обухова А.С., Казаренкова Н.П. Применение цифровых технологий при оценке кредитоспособности заемщика // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2020. Т. 10. № 2. С. 140–153.

11 Ручкина Г.Ф. Банковская деятельность: переход на новую модель осуществления, или «Финтех» как новая реальность // Банковское право. 2017. № 4. С. 55–62.

12 Третьякова И.Н., Ситникова Э.В. Ликвидность как основа эффективной деятельности коммерческого банка // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2016. № 4 (21). С. 119–127.

13 Караоол А.Л. Анализ обеспеченности жителей новосибирской области инфраструктурой, предназначенной для обслуживания держателей банковских карт // Вестник НГУЭУ. 2017. № 2. С. 249-259.

14 Алексеев М.А. Моделирование финансового цикла и поведение компании в информационном пространстве финансового рынка // Вестник НГУЭУ. 2017. № 3. С. 131-146.

15 Алексеев М.А., Глинский В.В., Анохин Н.В. О манипулировании в информационном пространстве // Вестник НГУЭУ. 2017. № 4. С. 10-21.

16 Laeven L., Levine R., Michalopoulos S. Financial innovation and endogenous growth // Journal of Financial Intermediation. 2015. V. 24. №. 1. P. 1-24. doi: 10.1016/j.jfi.2014.04.001

17 Gennaioli N., Shleifer A., Vishny R. Neglected risks, financial innovation, and financial fragility // Journal of Financial Economics. 2012. V. 104. №. 3. P. 452-468. doi: 10.1016/j.jfineco.2011.05.005

18 Frame W.S., White L.J. Technological change, financial innovation, and diffusion in banking. Leonard N. Stern School of Business, Department of Economics, 2014. P. 1-5.

19 Allen F. Trends in financial innovation and their welfare impact: an overview // European Financial Management. 2012. V. 18. №. 4. P. 493-514. doi: 10.1111/j.1468-036X.2012.00658.x

20 Awrey D. Toward a supply-side theory of financial innovation // Journal of Comparative Economics. 2013. V. 41. №. 2. P. 401-419. doi: 10.1016/j.jce.2013.03.011

References

1 Dapp T., Slomka L., AG D.B., Hoffmann R. Fintech–The digital (r) evolution in the financial sector. Deutsche Bank Research. 2014. pp. 1-39.

2 Ducas E., Wilner A. The security and financial implications of blockchain technologies. Regulating emerging technologies in Canada International Journal. 2017. vol. 72. pp. 538–562.

3 Fortnum D., Pollari I., Mead W., Hughes B. et al. The pulse of fintech Q1 2017: Global analysis of investment in fintech. KPMG technical report. New York, 2017.

4 Gabor D., Brooks S. The digital revolution in financial inclusion: international development in the fintech era. New Political Economy. 2017. vol. 22. no. 4. pp. 423-436. doi: 10.1080/13563467.2017.1259298

5 Lee I., Shin Y.J. Fintech: Ecosystem, business models, investment decisions, and challenges. Business Horizons. 2018. vol. 61. no. 1. pp. 35-46. doi: 10.1016/j.bushor.2017.09.003

6 Serebryakova N.A., Dorokhova N.V., Isaenko M.I., Dashkova E.S. Directions of transformation of labor relations in the modern conditions. Journal of Applied Economic Sciences. 2016. vol. 11. no. 8. pp. 1542–1551.

7 Global FinTech Adoption Index - 2019. Available at: https://www.ey.com/en_gl/ey-global-fintech-adoption-index (in Russian).

8 Kazarenkova N.P., Svetovtseva T.A. Transformation of the banking system of Russia under the influence of the digitalization of the economy. Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Series: Economics. Sociology. Management. 2018. vol. 8. no. 4 (29). pp. 188-195. (in Russian).

9 Kolmykova T.S., Apalkov D.A., Kazmin A.Yu. Study of the dynamics of the development of the national banking sector in the context of digitalization of the economic space. News of the South-West State University. Series: Economics. Sociology. Management. 2020. vol. 10. no. 3. pp. 99–110. (in Russian).

10 Obukhova A.S., Kazarenkova N.P. The use of digital technologies in assessing the creditworthiness of a borrower. News of the South-West State University. Series: Economics. Sociology. Management. 2020. vol. 10. no. 2. pp. 140–153. (in Russian).

11 Ruchkina G.F. Banking: transition to a new model of implementation, or "Fintech" as a new reality. Banking Law. 2017. no. 4. pp. 55–62. (in Russian).

12 Tretyakova I.N., Sitnikova E.V. Liquidity as the basis for the effective operation of a commercial bank. News of the South-West State University. Series: Economics. Sociology. Management. 2016. no. 4 (21). pp. 119-127. (in Russian).

13 Karaool A.L. Analysis of the provision of the residents of the Novosibirsk region with the infrastructure designed to serve the holders of bank cards. Vestnik NSUEM. 2017. no. 2. pp. 249-259. (in Russian).

14 Alekseev M.A. Modeling the financial cycle and company behavior in the information space of the financial market. Vestnik NSUEM. 2017. no. 3. pp. 131-146. (in Russian).

15 Alekseev M.A., Glinsky V.V., Anokhin N.V. On manipulation in the information space. Vestnik NSUEM. 2017. no. 4. pp. 10-21. (in Russian).

16 Laeven L., Levine R., Michalopoulos S. Financial innovation and endogenous growth. Journal of Financial Intermediation. 2015. vol. 24. no. 1. pp. 1-24. doi: 10.1016/j.jfi.2014.04.001

17 Gennaioli N., Shleifer A., Vishny R. Neglected risks, financial innovation, and financial fragility. Journal of Financial Economics. 2012. vol. 104. no. 3. pp. 452-468. doi: 10.1016/j.jfineco.2011.05.005

18 Frame W.S., White L.J. Technological change, financial innovation, and diffusion in banking. Leonard N. Stern School of Business, Department of Economics, 2014. pp. 1-5.

19 Allen F. Trends in financial innovation and their welfare impact: an overview. European Financial Management. 2012. vol. 18. no. 4. pp. 493-514. doi: 10.1111/j.1468-036X.2012.00658.x

20 Awrey D. Toward a supply-side theory of financial innovation. Journal of Comparative Economics. 2013. vol. 41. no. 2. pp. 401-419. doi: 10.1016/j.jce.2013.03.011

Сведения об авторах

Надежда А. Серебрякова д.э.н., доцент, кафедра теории экономики и учетной политики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nad.serebryakova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9141-5580

Татьяна С. Колмыкова д.э.н., профессор, кафедра финансов и кредита, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, kgtu_fk@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-5633-4283

Евгений А. Гривачев аспирант, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, garpun-22@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-4164-7823

Снежанна В. Клыкова аспирант, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, kgtu_fk@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-6053-3701

Information about authors

Nadezhda A. Serebryakova Dr. Sci. (Econ.), associate professor, theory of economics and accounting policy department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nad.serebryakova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9141-5580

Tatiana S. Kolmykova Dr. Sci. (Econ.), professor, finance and credit department, Southwest State University, st. 50 years of October, 94, Kursk, 305040, Russia, kgtu_fk@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-5633-4283

Evgeny A. Grivachev graduate student, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, garpun-22@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-4164-7823

Snezhanna V. Klykova graduate student, Southwest State University, st. 50 years of October, 94, Kursk, 305040, Russia, kgtu_fk@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-6053-3701

Вклад авторов

Надежда А. Серебрякова научное руководство исследованием
Татьяна С. Колмыкова консультация в ходе исследования
Евгений А. Гривачев обзор литературных источников по исследуемой проблеме
Снежанна В. Клыкова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Contribution

Nadezhda A. Serebryakova scientific direction of research
Tatiana S. Kolmykova consultation during the study
Evgeny A. Grivachev review of the literature on an investigated problem
Snezhanna V. Klykova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 28/01/2021	**После редакции** 15/02/2021	**Принята в печать** 02/03/2021

Received 28/01/2021	**Accepted in revised** 15/02/2021	**Accepted** 02/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-466-472 Оригинальная статья/Research article
УДК 330.4 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Методы оптимизации развозки грузов потребителям несколькими транспортными средствами

Юрий В. Бугаев [1] y_bugaev52@mail.ru 0000-0002-1043-7682
Людмила А. Коробова [1] lyudmila_korobova@mail.ru 0000-0003-1349-732X
Сергей В. Гудков [1] gudkov3@yandex.ru

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Грузовой транспорт является одной из наиболее важных отраслей народного хозяйства. Увеличение эффективности работы логистической компании обеспечивается точной организации поставок, а также своевременной доставкой груза в пункты маршрута. Именно поэтому возникает потребность в оптимизации развозки грузов. Задача развозки – это транспортная задача по доставке негабаритных грузов из распределительного центра множеству получателей, расположенных в районе действия транспортной компании. Она является обобщением известной задачи коммивояжера, от которой отличается условием ограниченности грузоподъемности применяемого транспортного средства и, как следствие, необходимостью неоднократного возвращения на базу для пополнения перевозимого груза. В данной статье предлагается дополнить традиционную формулировку задачи требованием распределить клиентов по нескольким одновременно работающим транспортным средствам (ТС), чтобы максимальное время выполнения заказа было минимально. Тем самым учитываются не только интересы исполнителя развозки, но и клиентов. Решение задачи состоит из двух этапов. На первом каким-либо известным способом определяются рациональные кольцевые маршруты для каждого ТС, минимизирующие общий пробег. По результатам этапа рассчитывается время прохождения каждого маршрута. На втором этапе решается задача сокращения максимальное время прохождения маршрутов за счет использования нескольких ТС, производящих развозку в одно время. Для этого необходимо оптимально распределить ТС по индивидуальным маршрутам. Предлагается для решения этой задачи воспользоваться алгоритмом решения известной задачи «Упаковка предметов в контейнеры». Данная задача относится к классу *NP*-трудных задач в сильном смысле и не имеет точного алгоритма решения для произвольных исходных данных. В данной работе предлагается комплексный метод решения, сочетающий известный алгоритм «First fitted (FF)» – «первый подходящий», оригинальный алгоритм «First fitted with reordering (FFR)» – «первый подходящий с переупорядочением», а также нижние оценки С. Мартелло и П. Тота для контроля оптимальности полученного решения. Тестовые расчеты показали эффективность данного подхода при умеренной размерности задачи.

Ключевые слова: математические методы, экономика, задача развозки, оптимальный маршрут, упаковка в контейнеры

Methods for optimizing the delivery of goods to consumers by several vehicles

Yuri V. Bugaev [1] y_bugaev52@mail.ru 0000-0002-1043-7682
Lyudmila A. Korobova [1] lyudmila_korobova@mail.ru 0000-0003-1349-732X
Sergey V. Gudkov [1] gudkov3@yandex.ru

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Freight transport is one of the most important sectors of the national economy. The increase in the efficiency of the logistics company is ensured by the accurate organization of supplies, as well as the timely delivery of goods to the points of the route. That is why there is a need to optimize the delivery of goods. A delivery task is a transport task of delivering oversized cargo from a distribution center to a multitude of recipients located in the area of operation of a transport company. It is a generalization of the well-known traveling salesman problem, from which it differs in the condition of the limited carrying capacity of the vehicle used and, as a consequence, the need to repeatedly return to the base to replenish the transported cargo. This article proposes to supplement the traditional formulation of the problem with the requirement to distribute customers among several simultaneously operating vehicles (TC) so that the maximum lead time is minimal. This takes into account not only the interests of the delivery contractor, but also the customers. The solution to the problem consists of two stages. On the first one, in some known way, rational ring routes for each vehicle are determined, minimizing the total mileage. Based on the results of the stage, the time for passing each route is calculated. At the second stage, the problem of reducing the maximum travel time of routes is solved by using several vehicles delivering at the same time. To do this, it is necessary to optimally distribute vehicles along individual routes. It is proposed to use the algorithm for solving the well-known problem "Packing items into containers" to solve this problem. This problem belongs to the class of NP-hard problems in the strong sense and does not have an exact solution algorithm for arbitrary input data. This paper proposes a complex solution method combining the well-known First fitted (FF) algorithm, the original First fitted with reordering (FFR) algorithm, and S. Martello's lower bounds and P. Thoth to control the optimality of the obtained solution. Test calculations have shown the effectiveness of this approach for a moderate dimension of the problem.

Keywords: mathematical methods, economics, delivery problem, optimal route, packing in containers

Для цитирования
Бугаев Ю.В., Коробова Л.А., Гудков С.В. Методы оптимизации развозки грузов потребителям несколькими транспортными средствами // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 466–472. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-466-472

For citation
Bugaev Yu.V., Korobova L.A., Gudkov S.V. Methods for optimizing the delivery of goods to consumers by several vehicles. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 466–472. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-466-472

© 2021, Бугаев Ю.В. и др. / Bugaev Yu.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

В настоящее время актуальным управленческим решением становится оптимизация производственных процессов на всех этапах. Грузовой транспорт – одна из наиболее важных отраслей народного хозяйства. Увеличение эффективности работы логистической компании обеспечивается не только точной организации поставок, но и своевременной доставкой груза в пункты маршрута. Организация работы погрузочно-разгрузочных пунктов, грамотно соотнесенная с работой транспортных средств, становится неотъемлемой частью эффективного функционирования автотранспортного предприятия. Именно поэтому возникает потребность в оптимизации развозки грузов посредством привлечения математических методов.

Задача развозки – это транспортная задача по доставке негабаритных грузов из распределительного центра, например, оптовой базы, склада, грузового терминала и пр., множеству получателей, расположенных в районе действия транспортной компании. Она является обобщением известной задачи коммивояжера, от которой отличается условием ограниченности грузоподъемности применяемого транспортного средства и, как следствие, при движении по маршруту необходимостью неоднократного возвращения на базу для пополнения перевозимого груза для обеспечения всех клиентов. Математически стандартная задача развозки формулируется следующим образом.

Дано: n – число клиентов, которым необходимо доставить грузы; q – вектор заказов, определяющий количество груза, доставляемого каждому клиенту; M – матрица расстояний между всеми клиентами и базой, а также клиентов между собой. C – грузоподъемность применяемого транспортного средства (ТС).

Определить кратчайший маршрут развозки груза, обеспечивающий потребности всех клиентов.

Реальная ситуация отличается от сформулированной канонической задачи чаще всего тем, что помимо пройденного расстояния необходимо каким-то образом учитывать и максимальное время развозки. Если минимизация суммарного расстояния учитывает интересы перевозчика, снижая расход горючего, а значит, себестоимость развозки, то минимизация времени отвечает интересам клиентов, нуждающихся не просто в доставке груза, но и в обеспечении минимального срока доставки. Системный подход подразумевает рассмотрения любой ситуации с различных сторон и учета всех возможных интересов. Поэтому дополним сформулированную задачу следующим условием: требуется распределить клиентов по нескольким одновременно работающим ТС грузоподъемности C, чтобы максимальное время выполнения заказа было минимально.

Поясним последнее условие. Пусть после определения кратчайшего маршрута развозки определилось необходимое число рейсов m и t_Σ – суммарное время всех поездок. Если для выполнения заказа привлечь несколько автомобилей и заставить их работать одновременно, то, очевидно время выполнения всего заказа уменьшится, и оно будет равно t_{max} – максимальное время работы одного автомобиля. Поскольку время реализации индивидуальных маршрутов в общем случае различается, то задача будет состоять в том, чтобы оптимально распределить ТС по индивидуальным маршрутам для минимизации t_{max}.

Материалы и методы

Рассмотрим пример. Имеется 30 пунктов развозки и склад, откуда необходимо развести груз. Массы заказанных грузов приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Массы заказанных грузов

Table 1.

Weights of ordered goods

№	Масса груза, кг Weight of cargo, kg	№	Масса груза, кг Weight of cargo, kg	№	Масса груза, кг Weight of cargo, kg
1	1120	11	300	21	490
2	540	12	226	22	512
3	690	13	356	23	256
4	328	14	420	27	388
5	620	15	236	25	288
6	760	16	222	26	430
7	236	17	552	27	368
8	256	18	460	28	252
9	620	19	292	29	156
10	370	20	920	30	312

Известны также матрица M расстояний между объектами и время преодоления этих расстояний плюс время разгрузки. Необходимо составить маршруты развозки ТС грузоподъемностью 1500 кг.

Воспользуемся каким-либо из многочисленных алгоритмом оптимизации развозки [1- 10] для составления системы кольцевых маршрутов. Результат приведён таблице 2. В последнем столбце приведено расчетное время поездки по маршруту с учётом дорожной ситуации и времени разгрузки.

Таблица 2.

Кольцевые маршруты по алгоритму Кларка–Райта

Table 2.

Clark-Wright loop routes

Маршрут Route	Маршрут (0–склад) Route (0–warehouse)	Перевезенный груз, кг Carried cargo, kg	Расстояние, км Distance, km	Время, мин Time, min
1	0–1–0	1120	5,72	48,6
2	0–3–2–0	1230	10,58	85,2
3	0–13–6–0	1116	7,35	74,8
4	0–16–15–12–7–0	1476	11,04	118,5
5	0–18–20–0	1380	8,03	76,8
6	0–19–27–21–29–0	1306	13,18	134,5
7	0–24–10–9–0	1306	8,32	84,6
8	0–26–25–23–22–0	1486	20.58	161.8
9	0–28–5–4–0	1200	15,3	128,1
10	0–30–17–14–0	1284	8,58	94,4

При использовании одного ТС время выполнения всего заказа составит 1007,3 мин или 16 ч 48 мин. Поставим цель сократить это время за счет использования нескольких ТС, производящих развозку в одно время. Как было сказано выше, проблема, очевидно, состоит в том, чтобы оптимально распределить ТС по индивидуальным маршрутам для минимизации времени выполнения всего заказа. Предлагается для решения этой задачи воспользоваться алгоритмом решения известной задачи «Упаковка предметов в контейнеры» [11–17]. Она формируется следующим образом.

Имеется конечное множество $U = \{u_1, u_2\ldots, u_n\}$ объектов, «размеры» $s(u)$ которых заданы и представлены рациональными числами. Требуется найти такое разбиение множества U на подмножества U_1, $U_2\ldots$, U_k, чтобы сумма размеров объектов в каждом подмножестве не превосходила некоторого положительного числа H, и чтобы число классов разбиения k было минимальным. Наиболее типичная интерпретация задачи, по которой она была названа – требуется упаковать объекты, принадлежащие каждому подмножеству в контейнеры размера H, так чтобы число контейнеров было минимально.

Данная задача имеет множество приложений, мы предлагаем еще одно: объекты ассоциировать с полученными кольцевыми маршрутами, $s(u)$ – со временем поездки по маршруту, подмножества U_j отождествлять с множеством маршрутов, реализуемых одним ТС. Под H следует понимать максимально допустимое общее время развозки. Конкретное значение H не задано в условиях. Очевидно, что его минимальным значением может быть максимальное значение $s(u)$, поскольку нет смысла разбивать сформированные маршруты на части. Что касается прочих рекомендуемых значений H, то тут надо исходить из критерия минимизации общих затрат и имеющегося временного ресурса. Также важным является равномерность загрузки различных единиц ТС.

Задача упаковки относится к классу *NP*-трудных задач в сильном смысле и не имеет точного алгоритма решения для произвольных исходных данных. При малых n можно воспользоваться полным перебором, для больших n разработано несколько приближенных алгоритмов примерно одинаковой эффективности. Наиболее простым является алгоритм «First fitted (FF)» – «первый подходящий» [14, 17]. Он состоит в том, что объекты помещаются в контейнеры в порядке живой очереди. Очередной предмет u_i помещается в контейнер с наименьшим номером, у которого сумма размеров уже помещенных в него предметов не превосходит $H - s(u_i)$, т. е. в первый «допустимый» контейнер.

Более эффективный алгоритм, т. е. дающим лучший результат в смысле минимума целевой функции можно получить, если заметить, что наихудшей для алгоритма FF будет ситуация, когда в упорядочении объектов предметы с меньшими размерами идут раньше предметов с большими размерами. Тогда первые контейнеры будут забиты мелкими объектами, а для крупных объектов свободного места не останется, и последующие контейнеры будут оставаться полупустыми. Отсюда улучшенным вариантом алгоритма является алгоритм «First fitted with decreasing (FFD)» – «первый подходящий с убыванием» [17]. От первого варианта он отличается тем, что перед упаковкой объекты упорядочиваются по уменьшению размеров и к полученной очереди применяется алгоритм FF.

Воспользуемся алгоритмом FFD для оптимального распределения ТС по построенным маршрутам. Положим «размер» контейнеров равным 211 минут или 3 часа 31 минута. Результат расчетов приведен в таблице 3.

Таблица 3.

Результаты расчета по алгоритму «первый подходящий с убыванием»

Table 3.

Calculation results according to the "first fit with descending" algorithm

ТС vehicle	Продолжительности составляющих маршрутов, мин Duration of component routes, min	Суммарное время, мин Total time, min
1	161,8 48,6	210,4
2	134,5 74,8	209,3
3	128,1 76,8	204,9
4	118,5 85,2	203,7
5	94,4 84,6	179,0

При таком распределении максимальное время развозки составит 210,4 мин, или 3 часа 31 минута, т. е. в 4,78 раза меньше, чем при использовании одной единицы ТС. При этом придется задействовать пять единиц ТС, которые будут загружены примерно в одинаковой степени, за исключением ТС № 5.

Попробуем получить более экономный вариант по количеству ТС. Зададимся целью обеспечить развозку тремя единицами ТС. Для подбора подходящего значения H нам понадобится метод оценки числа контейнеров независимый от используемого алгоритма. Прежде всего, определим примерный минимальный размер контейнера при заданном их количестве k. Очевидно $H_{\min} = \sum_i s(u_i) \Big/ k$. В нашем примере при $k = 3$ получим $H_{\min} = 335{,}8$. С другой стороны, нижней оценкой числа контейнеров при заданном H является величина $m_0 = \left\lceil \sum_i s(u_i) \Big/ H \right\rceil$. Здесь символ $\lceil a \rceil$ означает наименьшее целое, большее или равное a. Т.е. фактически это результат округления до целых в большую сторону. Ясно, что при упаковке будет получено такое число контейнеров, если предмеры можно разрезать на части произвольным образом. Понятно, что оценка m_0 является прикидочной и на практике, скорее всего, недостижима. Поэтому для нашей цели воспользуемся более точными оценками С. Мартелло и П. Тота (Martello & Toth) [12, 13].

Обозначим $L = \{1\ldots, n\}$ – множество номеров объектов, $w_i = s(u_i) / H$ – размеры объектов в долях H, $0 < w_i \le 1$. Для произвольного $\alpha \in [0; 1/2]$ положим $L_1 = \{i \in L \mid w_i > 1 - \alpha\}$ – множество номеров крупных предметов; $L_2 = \{i \in L \mid 1 - \alpha \ge w_i > 1/2\}$ – множество номеров средних предметов; $L_3 = \{i \in L \mid 1/2 \ge w_i \ge \alpha\}$ – множество номеров мелких предметов.

Тогда для любого $\alpha \in [0; 1/2]$ величина

$$M_1(\alpha) = |L_1| + |L_2| + \max\left\{0, \left\lceil \sum_{i \in L_3} w_i - |L_2| + \sum_{i \in L_2} w_i \right\rceil\right\} \quad (1)$$

является нижней оценкой для оптимального числа контейнеров $OPT(L)$.

Поясним оценку (1). Каждый предмет из множества $L_1 \cup L_2$ требует отдельный контейнер. Поэтому в любом допустимом решении не менее $|L_1| + |L_2|$ контейнеров. Предметы из множества L_3 невозможно поместить вместе с предметами из L_1. Значит, они лежат либо вместе с предметами из L_2, либо в отдельных контейнерах. В контейнерах для L_2 осталось $S = |L_2| - \sum_{i \in L_2} w_i$ свободного пространства. Следовательно, для предметов из множества L_3 требуется как минимум $\sum_{i \in L_3} w_i - S$ отдельных контейнеров.

Похожим способом получается другая оценка:

$$M_2(\alpha) = |L_1| + |L_2| + \max\left\{0, \left\lceil \frac{|L_3| - \sum_{i \in L_2} \left\lfloor \frac{1 - w_i}{\alpha} \right\rfloor}{\lfloor 1/\alpha \rfloor} \right\rceil\right\} \quad (2)$$

Для получения оценки (2) заменим размер каждого предмета из множества L_3 на α. Тогда в один контейнер войдет $\lfloor 1/\alpha \rfloor$ предметов, и для множества L_3 потребовалось бы $\lceil |L_3| / \lfloor 1/\alpha \rfloor \rceil$ дополнительных контейнеров. Но часть предметов из L_3 можно уложить в контейнеры для L_2. Каждый из них имеет $1 - w_i$, $i \in L_2$ свободного места, где поместится $\lfloor (1 - w_i)/\alpha \rfloor$ предметов из L_3.

Поскольку каждая из величин (1) и (2) является нижней оценкой для $OPT(L)$ при некотором α, то чтобы применить эти оценки на практике, надо найти максимальные значения $M_1(\alpha)$ и $M_2(\alpha)$ по всем $\alpha \in [0; 1/2]$. Причём доказано, что в качестве значений α достаточно брать $\alpha = w_i \le 1/2$. Тогда в качестве обобщающей нижней оценки Мартелло и Тота можно использовать

$$m_1 = \max\left\{\max_\alpha(M_1(\alpha)); \max_\alpha(M_2(\alpha))\right\}. \quad (3)$$

В результате применения этой методики получаем оценку $m_1(H)$ которая при $H = H_{\min}$ также равна 3. Значит, можно выдвинуть предположение, что данная оценка достижима при некотором H, ненамного большим, чем $H_{\min}$.

Однако применение алгоритма FFD при разных H позволило добиться значения $k = 3$ только при $H = 384{,}3$, при этом длительность работы трех используемых ТС составила 327,1; 295,9 и 384,3 мин, соответственно. Т.е. загрузка единиц ТС далека от равномерной. Это означает, что надо подобрать более совершенный алгоритм.

Несложно заметить, что распределение объектов по контейнерам зависит от очередности их рассмотрения. В алгоритме FFD в качестве такой очередности принята упорядоченность по убыванию размеров, хотя строго обоснования такой эвристики нет. Можно ожидать, что проверив несколько вариантов упорядочения,

и применив при каждом из них алгоритм FF, мы сможем найти лучшее распределение объектов.

Для генерации различных упорядоченностей можно воспользоваться различными «экономичными» алгоритмами из [18 – 20], в котором каждое упорядочение отличается от предыдущего перестановкой всего двух элементов. Вот как выглядит набор таких перестановок из трех объектов

1 2 3
1 3 2
3 1 2
3 2 1
2 3 1
2 1 3

Помимо экономичности в смысле затрат времени, этот алгоритм при неполном количестве перестановок позволяет варьировать достаточно много элементов набора. Это позволяет надеяться, что для получения оптимальной расстановки не потребуется рассматривать все комбинации, а будет достаточно ограничиться их небольшой частью. Назовем этот алгоритм «First fitted with reordering (FFR)» – «первый подходящий с переупорядочением».

Кроме того, для контроля оптимальности полученного решения можно использовать оценку m_1 при выбранном H, и при совпадении текущего количества контейнеров с этой оценкой можно быть уверенным, что найдено оптимальное решение.

Описанный алгоритм был проверен на примере при нескольких значениях H. Наилучший результат был получен при $H = 338$. При $n = 10$ общее число упорядочений составляет 10! = 3628800. Данный же результат был получен после применения $r = 400$ вариантов перестановок, примерно за 1,5 секунды. Он приведен в таблице 4. Значение $m_1(338)$ также получилось равным 3. Это означает, что при $H = 338$ получить меньшее число контейнеров невозможно никаким алгоритмом и полученное решение оптимально.

Таблица 4.

Результаты расчета по алгоритму «первый подходящий с переупорядочением»

Table 4.

Calculation results by the "first fit with reordering" algorithm

ТС vehicle	Продолжительности составляющих маршрутов, мин Duration of component routes, min	Суммарное время, мин Total time, min
1	128,1 85,2 74,8 48,6	336,7
2	161,8 94,4 76,8	333
3	118,5 134,5 84,6	337,6

Общее время выполнения заказа составит 337,6 минуты, или 5 часов 38 минут. Загрузка ТС близка к равномерной. Выигрыш по времени по сравнению с первоначальным вариантом составил 2,984 раза, при этом число единиц ТС увеличилось в 3 раза. Практически, достигнут идеальный вариант.

Обсуждение

Предлагается следующая методика применения двух приближенных алгоритмов FFD и FFR.

1. После построения системы кольцевых маршрутов, исходя из условий развозки и имеющихся ресурсов, определяем наиболее приемлемое целевое количество k единиц ТС.

2. С помощью оценки m_1 определяем теоретическое значение H_{min}, при котором выбранное количество k ТС может быть достижимо.

3. Постепенно увеличивая значение $H \geq H_{min}$, применяем алгоритм FFD, как наиболее быстродействующий, для получения распределения ТС по маршрутам.

4. Если достигнутое распределение нас устраивает в смысле равномерности загрузки ТС, то его принимаем за окончательное решение.

5. В противном случае аналогичным образом используем алгоритм FFR. Число упорядочений, в зависимости от значения n, выбираем в диапазоне $1000 \leq r \leq 10000$.

6. Обозначим H^* – минимальное значение H, при котором выбранное число контейнеров k находится каким либо из примененных алгоритмов. Для найденного значения H^* вычисляем оценку $m_1(H^*)$. Если $m_1(H^*) = k$, то убеждаемся в нахождении оптимального решения. В противном случае делаем вывод, что с помощью данной методики оптимальное решение найти невозможно, и при приемлемом показателе равномерности загрузки ТС удовлетворяемся полученным распределением ТС по маршрутам.

Отметим, что наряду с классической задачей об упаковке существует другая задача, в которой требуется упаковать не все объекты в минимальное число контейнеров, а максимальное число объектов в имеющиеся контейнеры [17]. В отношении ее названия в литературе нет однозначного мнения. Иногда ее называют обратной задачей об упаковке в контейнеры. Однако если сопоставить постановки данной задачи и предлагаемой в работе с классической задачей упаковки, то станет ясно, что предлагаемая задача в полной мере соответствует термину «обратная задача упаковки» в отличии от задачи из [17].

Заключение

1. Предложен и проверен на тестовых примерах метод повышения эффективности использования комплекса из нескольких транспортных средств при развозке грузов потребителям.

2. Разработан оригинальный приближенный алгоритм FFR решения известной *NP*-трудной задачи «Упаковка в контейнеры».

3. Разработана новая методика решения задачи развозки грузов потребителям, основанная на сочетании двух приближенных алгоритмов ее решения и контроля оптимальности найденного числа единиц ТС.

Литература

1 Zhou L., Baldacci R., Vigo D., Wang X. A multi-depot two-echelon vehicle routing problem with delivery options arising in the last mile distribution // European Journal of Operational Research. 2018. V. 265. № 2. P. 765–778. doi: 10.1016/j.ejor.2017.08.011

2 Kampf R., Hlatka M., Savin G. Proposal for optimizing specific distribution routes by means of the specific method of operational analysis // Communications-Scientific letters of the University of Zilina. 2017. V. 19. №. 2. P. 133–138.

3 Parhusip S.F. Composite Algorithm Based on Clarke-Wright and Local Search for the Traveling Salesman Problem // Proceedings of the 2019 5th International Conference on Industrial and Business Engineering. 2019. P. 87–90.

4 Иванова А.А., Черноморова Т.С. Об алгоритме решения задачи развозки и его реализации // Бюллетень науки и практики. 2017 № 4. С. 107–114

5 Доценко С.И. Задача распределения расходов при развозке по кольцевому маршруту как кооперативная игра // Информатика. 2017. № 1. С. 12–19.

6 Просов С.Н., Кузьменко Е.А. Декомпозиция задачи маршрутизации по эвристикам метода Кларка-Райта. // Мир транспорта. 2018. 16(3). С. 190–199.

7 Бугаев Ю.В., Коробова Л.А., Зеленова Е.Е. Планирование грузовых перевозок модифицированным методом Кларка–Райта // В сборнике: Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн. Материалы III Международной научно-практической конференции. 2016. С. 179–182.

8 Бугаев Ю.В., Коробова Л.А., Гудков С.В. Решение задачи развозки негабаритных грузов несколькими транспортными средствами // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. междунар. науч. конф. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2021. С. 55–60.

9 Коновалова Т.В., Супрун О.С. К вопросу выбора критерия оптимизации маршрута при доставке грузов автомобильным транспортом // Электронный сетевой политематический журнал" Научные труды КубГТУ". 2017. №. 11. С. 143–150.

10 Подшивалова К.С., Подшивалов С.Ф. Исследование метода ветвей и границ при решении задачи развозки грузов по кольцевому маршруту // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств. 2017. С. 276–281.

11 Christensen H.I. et al. Approximation and online algorithms for multidimensional bin packing: A survey // Computer Science Review. 2017. V. 24. P. 63–79. doi: 10.1016/j.cosrev.2016.12.001

12 Delorme M., Iori M., Martello S. Bin packing and cutting stock problems: Mathematical models and exact algorithms // European Journal of Operational Research. 2016. V. 255. №. 1. P. 1–20. doi: 10.1016/j.ejor.2016.04.030

13 Boyar J., Larsen K.S., Kamali S., López-Ortiz A. Online bin packing with advice // Algorithmica. 2016. V. № 1. P. 507–527. doi: 10.1007/s00453-014-9955-8

14 Dósa G., Epstein L. The tight asymptotic approximation ratio of first fit for bin packing with cardinality constraints // Journal of Computer and System Sciences. 2018. V. 96. P. 33–49. doi: 10.1016/j.jcss.2018.03.004

15 Asta S., Özcan E., Parkes A.J. CHAMP: Creating heuristics via many parameters for online bin packing // Expert Systems with Applications. 2016. V. 63. P. 208–221. doi: 10.1016/j.eswa.2016.07.005

16 Чепикова А.В., Коробова Л.А., Бугаев Ю.В. Задача трехмерной упаковки элементов // Аллея науки. 2018. Т. 1. № 9 (25). С. 433–436. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36430946_56294686.pdf

17 Фуремс Е.М. Обратная задача об упаковке в контейнеры при наличии качественных критериев – постановка и обзор применяемых методов // Искусственный интеллект и принятие решений. 2016. № 3. С. 31–43.

18 Орлов Б.Ю. Построение алгоритма последовательности перестановок в исследованиях и работе оборудования маслодобывающих предприятий // Научные исследования и современное образование. 2017. С. 183–185.

19 Шабля Ю.В., Кручинин Д.В., Репкин А.С. Сравнение подходов к разработке алгоритмов комбинаторной генерации на примере множеств перестановок и сочетаний // Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук. 2019. С. 75–80.

20 Титенко Е.А., Крипачев А.В., Марухленко А.Л. Коммутационная схема параллельных парных перестановок для специализированного продукционного устройства // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2018. №. 8 (202).

References

1 Zhou L., Baldacci R., Vigo D., Wang X. A multi-depot two-echelon vehicle routing problem with delivery options arising in the last mile distribution. European Journal of Operational Research. 2018. vol. 265. no. 2. pp. 765–778. doi: 10.1016/j.ejor.2017.08.011

2 Kampf R., Hlatka M., Savin G. Proposal for optimizing specific distribution routes by means of the specific method of operational analysis. Communications-Scientific letters of the University of Zilina. 2017. vol. 19. no. 2. pp. 133–138.

3 Parhusip S.F. Composite Algorithm Based on Clarke-Wright and Local Search for the Traveling Salesman Problem. Proceedings of the 2019 5th International Conference on Industrial and Business Engineering. 2019. pp. 87–90.

4 Ivanova A.A., Chernomorova T.S. On the algorithm for solving the delivery problem and its implementation // Bulletin of Science and Practice. 2017 No. 4. P. 107–114. (in Russian).

5 Dotsenko S.I. The problem of distribution of costs during transportation along a circular route as a cooperative game. Informatics. 2017. no. 1. pp. 12–19. (in Russian).

6 Prosov S.N., Kuzmenko E.A. Decomposition of the routing problem according to the heuristics of the Clark-Wright method. World of transport. 2018. vol. 16. no. 3. pp. 190–199. (in Russian).

7 Bugaev Yu.V., Korobova L.A., Zelenova E.E. Freight traffic planning by the modified Clark-Wright method. In the collection: Virtual modeling, prototyping and industrial design. Materials of the III International Scientific and Practical Conference: Electronic resource. General edition: V.A. Nemtinov. 2016. pp. 179–182. (in Russian).

8 Bugaev Yu.V., Korobova L.A., Gudkov S.V. Solution of the problem of delivery of oversized cargo by several vehicles. Mathematical methods in engineering and technology: collection of articles. tr. international scientific. SPb, Publishing house of Polytechnic. University, 2021. pp. 55–60. (in Russian).

9 Konovalova T.V., Suprun O.S. To the question of choosing a route optimization criterion for the delivery of goods by road. Electronic network polythematic journal "Scientific works of KubSTU". 2017. no. 11. pp. 143–150. (in Russian).

10 Podshivalova K.S., Podshivalov S.F. Research of the branch and bound method in solving the problem of delivering goods along a circular route. Problems of quality and operation of vehicles. 2017. pp. 276–281. (in Russian).

11 Christensen H.I. et al. Approximation and online algorithms for multidimensional bin packing: A survey. Computer Science Review. 2017. vol. 24. pp. 63–79. doi: 10.1016/j.cosrev.2016.12.001

12 Delorme M., Iori M., Martello S. Bin packing and cutting stock problems: Mathematical models and exact algorithms. European Journal of Operational Research. 2016. vol. 255. no. 1. pp. 1–20. doi: 10.1016/j.ejor.2016.04.030

13 Boyar J., Larsen K.S., Kamali S., López-Ortiz A. Online bin packing with advice. Algorithmica. 2016. no. 1. pp. 507–527. doi: 10.1007/s00453-014-9955-8

14 Dósa G., Epstein L. The tight asymptotic approximation ratio of first fit for bin packing with cardinality constraints. Journal of Computer and System Sciences. 2018. vol. 96. pp. 33–49. doi: 10.1016/j.jcss.2018.03.004

15 Asta S., Özcan E., Parkes A.J. CHAMP: Creating heuristics via many parameters for online bin packing. Expert Systems with Applications. 2016. vol. 63. pp. 208–221. doi: 10.1016/j.eswa.2016.07.005

16 Chepikova A.V., Korobova L.A., Bugaev Yu.V. The problem of three-dimensional packing of elements. Alley of Science. 2018. vol. 1. no. 9 (25). pp. 433–436. Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36430946_56294686.pdf (in Russian).

17 Furems E.M. Inverse problem of packing into containers in the presence of qualitative criteria – formulation and review of applied methods. Artificial Intelligence and Decision Making. 2016. no. 3. pp. 31–43. (in Russian).

18 Orlov B.Yu. Construction of an algorithm for the sequence of permutations in the research and operation of equipment of oil-extracting enterprises. Scientific research and modern education. 2017. pp. 183–185. (in Russian).

19 Shablya Yu.V., Kruchinin D.V., Repkin A.S. Comparison of approaches to the development of algorithms for combinatorial generation on the example of sets of permutations and combinations. Applied mathematics and informatics: modern research in the field of natural and technical sciences. 2019. pp. 75–80. (in Russian).

20 Titenko E.A., Kripachev A.V., Marukhlenko A.L. Switching scheme of parallel paired permutations for a specialized production device. Bulletin of the Southern Federal University. Technical science. 2018. no. 8 (202). (in Russian).

Сведения об авторах

Юрий В. Бугаев д.ф.-м.н., профессор, кафедра высшей математики и информационных технологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, y_bugaev52@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1043-7682

Людмила А. Коробова к.т.н., доцент, кафедра высшей математики и информационных технологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lyudmila_korobova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-1349-732X

Сергей В. Гудков магистрант, кафедра высшей математики и информационных технологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gudkov3@yandex.ru

Information about authors

Yuri V. Bugaev Dr. Sci. (Phys.-Math.), professor, higher mathematics and information technologies department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, y_bugaev52@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1043-7682

Lyudmila A. Korobova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, higher mathematics and information technologies department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lyudmila_korobova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-1349-732X

Sergey V. Gudkov master student, higher mathematics and information technologies department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gudkov3@yandex.ru

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 27/01/2021	**После редакции** 19/02/2021	**Принята в печать** 05/03/2021

Received 27/01/2021	**Accepted in revised** 19/02/2021	**Accepted** 05/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-473-482 Оригинальная статья/Research article
УДК 360 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Особенности экономической безопасности предпринимательской деятельности

Татьяна А. Журкина [1] zhutat@ya.ru
Юлия В. Наролина [2] yulona15@ya.ru
Марина В. Пономаренко [3] marina307@inbox.ru 0000-0001-7059-3911

1 Воронежский техникум пищевой и перерабатывающей промышленности, Московский пр-т, 129, г. Воронеж, 394000, Россия
2 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
3 Ставропольский государственный аграрный университет, пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355017, Россия

Аннотация. Предпринимательство, являясь основой рыночной экономики и устойчиво развиваясь, способствует укреплению экономической стабильности в стране, полному удовлетворению потребностей населения. Вопросы экономической безопасности предпринимательства слабо освещены в экономической литературе. Многие ученые считаю, что экономическая безопасность производства является частью системы экономической безопасности государства, так как без нормально функционирующей экономики невозможно обеспечить экономическую безопасность любого вида предпринимательской деятельности. Экономическая безопасность в широком смысле отражает способность предприятия обеспечивать свое устойчивое развитие в условиях минимизации негативного влияния внутренних и внешних угроз. Это своеобразный барьер или защита от угроз и потерь. Авторами проанализирована экономическая безопасность деятельности ООО «Бородинское» Белгородской области. Подробно исследованы внутренние и внешние факторы экономической безопасности в ходе SWOT-анализа, выявлены сильные и слабые стороны деятельности предприятия в рамках обеспечения его экономической безопасности. Предложены мероприятия, направленные на минимизацию потерь, снижение угроз и повышение устойчивости развития предприятия. Особое внимание, на взгляд авторов, следует уделить кадровому потенциалу и разработке эффективной системы мотивации персонала. Авторами просчитана возможность внедрения прогрессивной технологии производства, особое внимание уделено ценовой политике. Согласно прогнозу выручка к 2022 году повысится на 38%, себестоимость основных видов продукции снизится на 5–25%, прибыль повысится в 2,3 раза, а уровень рентабельности составит 25,1%.

Ключевые слова: экономическая безопасность, предпринимательская деятельность, проблемы безопасности, угрозы, SWOT анализ

Specifics of economic security of entrepreneurship

Tatiana A. Zhurkina [1] zhutat@ya.ru
Julia V. Narolina [2] yulona15@ya.ru
Marina V. Ponomarenko [3] marina307@inbox.ru 0000-0001-7059-3911

1 Voronezh College of Food and Processing Industry, Moskovskiy Av., 129 Voronezh, 394000, Russia
2 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
3 Stavropol State Agricultural University, Zootekhnicheskiy lane, 12, Stavropol, 355017, Russia

Abstract. Entrepreneurship, being the basis of the market economy and developing steadily, contributes to the strengthening of economic stability in the country, to the full satisfaction of the needs of the population. The issues of economic security of entrepreneurship are poorly covered in the economic literature. Many scientists believe that the economic security of production is part of the system of economic security of the state, since without a normally functioning economy it is impossible to ensure the economic security of any type of entrepreneurial activity. Economic security in a broad sense reflects the ability of an enterprise to ensure its sustainable development while minimizing the negative impact of internal and external threats. This is a kind of barrier or protection against threats and losses. The authors have analyzed the economic security of the activities of Borodinskoye LLC in the Belgorod region. The internal and external factors of economic security have been studied in detail in the course of the SWOT analysis, the strengths and weaknesses of the enterprise's activities in the framework of ensuring its economic security have been identified. The proposed measures aimed at minimizing losses, reducing threats and increasing the sustainability of the enterprise. In the authors' opinion, special attention should be paid to human resources and the development of an effective personnel motivation system. The authors have calculated the possibility of introducing progressive production technology, paying special attention to pricing policy. According to the forecast, revenue by 2022 will increase by 38%, the cost of the main types of products will decrease by 5–25%, profit will increase 2.3 times, and the profitability level will be 25.1%.

Keywords: economic security, entrepreneurship, security problems, threats, SWOT analysis

Введение

Развитие агропромышленного комплекса в стране переживает сложные времена из-за экономического кризиса, введения санкций, повышения курса валют, углубляющегося диспаритета цен на промышленную и сельскохозяйственную продукцию, сокращения государственной поддержки сельскохозяйственных товаропроизводителей.

Повышение эффективности функционирования аграрной сферы имеет большое значение для укрепления продовольственной независимости страны, и в значительной степени зависит от развития предпринимательской деятельности, направленной на стабилизацию и

Для цитирования
Журкина Т.А., Наролина Ю.В., Пономаренко М.В. Особенности экономической безопасности предпринимательской деятельности // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 473–482. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-473-482

For citation
Zhurkina T.A., Narolina Ju.V., Ponomarenko M.V. Specifics of economic security of entrepreneurship. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 473–482. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-473-482

© 2021, Журкина Т.А. и др. / Zhurkina T.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

развитие производства сельскохозяйственной продукции, которая служит основой создания продовольственного фонда страны, а также предопределяющим фактором развития большинства отраслей перерабатывающей промышленности. От уровня развития аграрной экономики во многом зависят экономическая стабильность в стране, а также её продовольственная и экономическая безопасность.

Вопросы предпринимательства и обеспечения экономической безопасности сельскохозяйственных предприятий пока слабо освещены в экономической литературе. Отмечается очень мало научных исследований по проблемам повышения устойчивости аграрного производства и обеспечения экономической безопасности предприятий, что обусловлено не только сложностью, но и глубиной обозначенной проблемы. Актуальность и недостаточная разработанность проблем, посвященных организации эффективного предпринимательства в аграрном секторе экономики, укреплению экономической безопасности и устойчивости сельскохозяйственного производства вызывают споры ученых-экономистов.

Термин экономическая безопасность вызывает живейший интерес академического сообщества, что, с одной стороны, приводит к проведению большого количества исследований различных ее сфер, а с другой – создает многообразие трактовкой самой его сути. Если говорить об экономической безопасности государства, можно утверждать, что она входит в качестве подсистемы в систему его национальной безопасности. Наряду с ней, среди элементов безопасности государства выделяются экологическая, военная и военно-техническая, технологическая, социальная, политико-правовая и другие. Хотя основным источником экономической безопасности страны является состояние бизнеса, она тесно взаимосвязана со всеми остальными перечисленными элементами и играет среди них далеко не последнюю роль [3]. Уровень развития экономики определяет ресурсное обеспечение не только политической, но и экологической, и даже военной сфер; он же формирует основу социального развития и отчасти – справедливости, а также спрос на технологии, информацию и др.

Экономическая безопасность, в свою очередь, представляет собой обширную совокупность факторов и блоков, с одной стороны, включающих ресурсное обеспечение экономики (наличие квалифицированных работников, природных богатств – от климата до полезных ископаемых, информационных объектов и др.), а с другой стороны, предполагающих их эффективное использование и развитость антропогенной составляющей (уровень развития производительных сил, экономической и социальной инфраструктуры, человеческого капитала, динамика инновационных процессов).

Таким образом, повышенное внимание и сложность самого явления привели к настоящему моменту к отсутствию единого общепризнанного определения термина «экономическая безопасность» [2, 4, 5, 7]. Анализ академической литературы позволяет выявить определения, подавляющее большинство которых тяготеет к одной из двух принципиально различающихся групп:

- экономическая безопасность – состояние готовности и возможности экономики предприятия обеспечить устойчивость экономического положения предприятия в условиях минимизации негативного влияния внутренних и внешних угроз [9–20];
- экономическая безопасность – совокупность внутренних и внешних условий, благоприятствующих эффективному, динамичному росту экономики предприятия, расширению рынков сбыта, росту конкурентоспособности, гарантирующую защиту от различного рода угроз и потерь.

Методы

В.К. Сенчагов [8] определяет экономическую безопасность как категорию, характеризующую такое состояние экономики, при котором обеспечивается устойчивый экономический рост, оптимальное удовлетворение общественных потребностей, рациональное управление, защита экономических интересов.

Одним из первых отечественных ученых, введшим понятие «экономической безопасности в область экономики был академик И. Абалкин [1], который характеризовал ее как «совокупность условий и факторов, обеспечивающих независимость национальной экономики, ее стабильность и устойчивость, способность к постоянному обновлению и самосовершенствованию.

Обсуждение

С целью анализа финансовых угроз нами будет проведен анализ финансового состояния ООО «Бородинское» Белгородской области. В динамике за 2017–2019 годы существенных изменений в структуре активов предприятия не произошло. Удельный вес внеоборотных активов в 2019 году 60%, а оборотных активов – 40%. Во внеобротных активах наибольший удельный вес принадлежит основным средствам – 91,25% в 2019 году, что несколько выше, чем в 2017 году (89,74%). В то же время заметно снижение удельного веса финансовых вложений и прочих внеоборотных активов.

В структуре оборотных активов наибольший удельный вес занимают оборотные активы, причем их удельный вес в динамике снизился и в 2019 году составил 56,32%. Негативной оценки заслуживает рост удельного веса дебиторской задолженности с 21,43% в 2017 году до 32,14% в 2019 году. В динамике за последние 3 года заметен резкий рост удельного веса денежных средств и денежных эквивалентов с 3,66% в 2017 году до 9,27% в 2019 году.

В то же время наблюдается снижение удельного веса финансовых вложений с 3,76% в 2017 году до 0,12% в 2019 году и прочих оборотных активов с 0,85% в 2017 году до 0,55% в 2019 году.

В целом по предприятию заметен рост валюты бухгалтерского баланса на 71% за анализируемый период, причем внеоборотные активы повысились на 69%, а оборотные активы – на 73%.

Согласно нашим расчетам существенных изменений в структуре источников формирования имущества предприятия не наблюдается. В 2019 году наибольший удельный вес принадлежит долгосрочным обязательствам – 47,76%, что выше, чем в 2017 году – 38,77%.

За анализируемый период заметно снижение удельного веса капитала и резервов с 27,32% в 2017 году до 22,03% в 2019 году, аналогичная ситуация и по краткосрочным обязательствам: их удельный вес снизился с 33,92% в 2017 году до 30,21% в 2019 году.

Нами проведена группировка активов и пассивов на основе бухгалтерского баланса ООО «Бородинское».

При сравнении групп актива с аналогичными группами пассива видим, что на изучаемом предприятии в 2019 году не имеется ни одного совпадение с нормативными значениями, а значит, у предприятия могут наблюдаться проблемы с платежеспособностью, баланс его нельзя считать абсолютно ликвидным.

Согласно нашим расчетам за 2017–2019 годы анализируемое предприятие является неплатежеспособным, так как коэффициент текущей ликвидности ниже оптимального значения. В динамике заметен его рост на 14%, другие коэффициенты ликвидности также повысились.

Так как коэффициент текущей ликвидности за 2019 год менее 2, то произведем расчет коэффициента восстановления платежеспособности. На основе полученного результата можно сделать вывод о том, что ООО «Бородинское» в ближайшие 6 месяцев не сможет восстановить свою платежеспособность.

Анализ оборачиваемости активов выявил, что капитал быстрее оборачивался в 2017 году и тем самым больше приносил прибыли на каждый рубль актива организации в данном периоде, однако этого же нельзя сказать о 2019 году, когда заметно снижение оборачиваемости капитала на 23% по сравнению с 2017 годом. За анализируемый период оборачиваемость запасов снизилась на 6%, оборачиваемость денежных средств – в 5,1 раз, дебиторской задолженности – в 2,3 раза. По результатам анализа можно сделать вывод о том, что эффективнее всего предприятием используются запасы.

Финансовая устойчивость является отражением стабильного превышения доходов над расходами, обеспечивает свободное маневрирование денежными средствами предприятия и путем эффективного их использования способствует бесперебойному процессу производства и реализации продукции.

Коэффициент концентрации собственного капитала финансовой устойчивости в 2019 году по сравнению с предыдущими двумя годами уменьшился на 19% и недотягивает до минимального оптимального значения, что является признаком снижения финансовой устойчивости предприятия. Коэффициент финансовой зависимости в исследуемых годах показал, что данное значение больше нормативного, поэтому можно сказать, что организация зависит от внешних источников финансирования.

В 2019 году значение коэффициента маневренности собственного капитала показывает, что предприятие финансово независимо. У него 44% собственных средств вложено в оборотные активы, а остальные 56% – во внеоборотные.

Коэффициент концентрации заемного капитала в 2019 году имеет значение выше нормативного, таким образом, предприятие не имеет задолженности и тем самым имеет устойчивое финансовое состояние, что хотя в 2017 и 2018 годах он соответствовал оптимальному значению. Коэффициент структуры долгосрочных вложений за анализируемый период имеет тенденцию резкого роста, в 2019 году его высокое значение свидетельствует о том, что 80% внеоборотных активов профинансировано внешним инвестором. Коэффициент долгосрочного привлечения заемных средств показывает, что предприятие привлекало банковские или иные займы, причем в 2017–2018 годах он не изменился, а в 2019 году несколько повысился.

Коэффициент структуры заемного капитала показывает, что в 2018 г. повысилась доля долгосрочных источников финансирования в общей сумме заемного капитала и составляет 78%. Коэффициент задолженности показывает, что предприятие не соответствует значению данному нормативу, а значительно выше него в течение всего анализируемого периода, поэтому это является признаком неплатежеспособности.

Согласно рассчитанным нами показателям рентабельности можно сказать, что минимальные значения почти по всем показателям рентабельности были в 2018 году, это связанно с тем, что чистая прибыль в этот период составляла 492 865 тыс. руб. что является достаточно низким значением, в сравнение с последующими периодами. В то же время за анализируемый период рентабельность продаж повысилась на 1,97 процентных пункта, рентабельность продукции – на 2,84 процентных пункта, рентабельность собственного капитала – на 0,05 процентных пункта.

ООО «Бородинское» является крупным сельскохозяйственным предприятием, специализирующимся на производстве молока и мяса КРС. Структура земельных угодий анализируемого предприятия является типичной для Центрального Черноземья. Уровень распаханности земельных ресурсов составляет 79%, то есть они интенсивно используются.

В динамике за 2017–2019 годы заметен рост объемов производства основных видов сельскохозяйственной продукции, что достигается в основном за счет роста урожайности возделываемых культур и повышения продуктивности сельскохозяйственных животных, то есть за счет реализации интенсивных факторов производства.

За последние годы в ООО «Бородинское» заметно укрепление материально-технической базы. Так рост стоимости основных средств за 2017–2019 годы составил 112%, в том числе их активной части – на 57%. В то же время негативной оценки заслуживает рост себестоимости основных видов продукции: зерновых – на 14%, зернобобовых – на 15%, кукурузы на зерно – на 54%, подсолнечника – на 64%. Основной причиной этого является углубляющийся диспаритет цен на сельскохозяйственную продукцию, энергоносители и сырье. При этом рост урожайности возделываемых культур и продуктивности скота не всегда опережал темп роста затрат на производство продукции.

Сложившаяся ситуация негативно влияла на финансовую устойчивость и эффективность производства, замедляя темпы его развития. В связи с этим руководству предприятия рекомендуется разработать и внедрить систему мероприятий, направленную на снижение себестоимости продукции и поиску более выгодных каналов реализации продукции, так как снижение цен на подсолнечник и сахарную свеклу в динамике за 2017–2019 годы составило 33% и 36% соответственно.

Повышение уровня интенсивности производства растениеводческой продукции за анализируемый период позволило не только увеличить объем реализованной продукции, но и обеспечить рост доходов и прибыли предприятия. В то же время в анализируемом предприятии заметна устойчивая тенденция роста производительности труда в динамике за 3 последних года, так годовая производительность труда повысилась на 20% за анализируемый период.

Повышение интенсивности сельскохозяйственного производства способствовало росту экономической эффективности работы предприятия, что выразилось в повышении рентабельности предприятия. Рентабельность основного производства в 2019 г. составила 18,8%, что в 1,5 раза выше по сравнению с 2017 годом. Рентабельность продаж по чистой прибыли за три года увеличилась в 1,6 раза. Окупаемость производственных затрат выросла с 112,4% в 2018 г. до 118,8% в 2019 г.

Как уже отмечалось ранее, ООО «Бородинское» специализируется на производстве молока и другой скотоводческой продукции. В хозяйстве ведется масштабная работа по строительству молочных комплексов с учетом последних достижений передовой науки и техники. В результате реализации данного проекта рост объемов производства молока в расчете на 100 га сельскохозяйственных угодий за три года составил – 41,3%. Денежный доход от реализации молока составляет 65,8% от денежной выручки в целом по хозяйству. Рентабельность основных средств в молочном скотоводстве за последние три года выросла на 41,1%.

Таким образом, улучшению показателей эффективности производственной деятельности предприятия в будущем будет способствовать освоение новых прогрессивных ресурсосберегающих технологий производства сельскохозяйственной продукции.

Важным компонентом производственного потенциала предприятия является его кадровый потенциал. В ООО «Бородинское» за анализируемый период общая численность работников увеличилась на 380 человек и ставила в 2019 году 1500 человек. Причем на ряду с увеличением численности работников на предприятии происходит увеличение количества отработанного времени одним работником с 2145 чел.-часов за год до 2279 чел.-часов или на 5,5%.

В ООО «Бородинское» наблюдается высокий уровень качественного состава работников, из которых 46,7% имеют высшее образование и 50,3% – среднее специальное образование.

На предприятии отбор кадров осуществляется по конкурсу, причем предпочтение отдается молодым специалистам (до 35 лет), удельный вес которых в общей структуре персонала более 35%.

В волатильной и агрессивной внешней среде, постоянно угрожающей деловому благополучию любого бизнеса, компании нуждаются в тщательной разработке концепции экономической безопасности. Она должна содержать не только набор предпринимательских решений, принимающих во внимание аспекты предотвращения либо преодоления угроз, но и методику разработки таких решений на перспективу ради обеспечения долгосрочного устойчивого развития фирмы.

Следует отметить и имеющиеся угрозы для коммерческой деятельности предприятия. Так, не эластичный спрос на сельскохозяйственную продукцию приводит к диктату закупочных цен со стороны элеваторов и переработчиков, и их стремлению к понижению закупочных цен. Контрагенты нередко нарушают сроки расчета и поставки материалов, либо поставляют ресурсы ненадлежащего качества, используют методы недобросовестной конкуренции.

По степени негативного воздействия на экономическую безопасность аграрных предприятий внутренние угрозы не уступают внешним угрозам. К внутренним угрозам производственно-технологического процесса ООО «Бородинское» можно отнести несоблюдение сроков проведения технологических операций по выращиванию продукции растениеводства, недостаточные дозы вносимых удобрений, отсутствие действенных мер по защите растений от вредителей и болезней, слабая кормовая база, неразвитость племенного скотоводства и надлежащего ухода за животными.

Внутренней угрозой экономической безопасности предприятия выступает низкий уровнем профессиональной подготовки кадров для работы на современной сельскохозяйственной технике, отсутствие престижа рабочих специальностей.

К потенциальным внутренним угрозам для экономической безопасности аграрных предприятий с точки зрения обеспеченности трудовыми ресурсами можно отнести: нарушение трудовой и финансовой дисциплины; несоблюдение техники безопасности труда; хищение ресурсов и произведенной продукции.

Угрозы экономической безопасности ООО «Бородинское» Белгородской области, разделенные на 4 основные категории по влияющим на них внешним и внутренним факторам буду проанализированы в рамках SWOT-анализа.

В сводном виде все угрозы и возможности можно представить в виде таблицы 1.

В процессе проводимых исследований по обеспечению экономической безопасности на предприятии, нами были выявлены множество взаимосвязанных элементов, обеспечивающих определенную безопасность организации в процессе ее функционирования (таблица 2).

К внутренним угрозам в основном относятся угрозы производственно-технологическим процессам. Данные угрозы представляют риск недополучения продукции, снижения урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности животных. Однако при грамотном управлении производством и своевременном принятии соответствующих решений ущерб от таких угроз может быть минимизирован.

Таким образом, руководство ООО «Бородинское» для осуществления своей деятельности в будущем видит следующие основные угрозы: рост продаж замещающих видов продукции, появление новых конкурентов и опережающее их техническое развитие, рост цен на сырье и сбои в его поставке.

С целью использования сильных сторон предприятия для повышения устойчивости развития ООО «Бородинское» и снижения угроз его экономической безопасности в будущем планируется внедрение следующих мероприятий: расширение сельхозпроизводства на основе ресурсосберегающих технологий, увеличение ассортимента продукции и повышение ее качества, оптимизация кормовой базы скота, мотивация работников и укрепление трудовой дисциплины.

Внешние угрозы могут нанести большой вред экономической безопасности организации, так как они в меньшей степени регулируются со стороны руководства предприятия [6]. Для минимизации внешних угроз предприятие находится в состоянии постоянного обмена с внешней средой, обеспечивая тем самым возможность выживания. Руководство предприятия для достижения своих целей и задач имеет четкое представление о внешней среде и тенденциях ее развития. Путем отслеживания внешних угроз у предприятия есть время для прогнозирования возможностей, время для составления плана выхода из кризиса, время на разработку стратегии, которая может нейтрализовать эти угрозы, свести ущерб от них к минимуму или же превратить угрозы в выгодные возможности.

Таблица 1.

Сводный анализ угроз экономической безопасности

Table 1.

Summary analysis of threats to economic security

Внешняя среда External environment	Возможности: 1. Возможность использования новой техники и технологии производства 2. Открытие фирменных магазинов молочной продукции и товаров первой необходимости 3. Повышение уровня престижа работников сельского хозяйства 4. Снижение конкуренции на рынке из-за снижения доли импортных продуктов питания по причине введения санкций Opportunities: 1. The possibility of using new equipment and production technology 2. Opening of branded stores of dairy products and essential goods 3. Raising the level of prestige of agricultural workers 4. Decrease in competition in the market due to a decrease in the share of imported food products due to the imposition of sanctions	Угрозы: 1. Неблагоприятные погодные условия 2. Низкая инвестиционная привлекательность 3. Диспаритет цен 4. Дефицит собственных оборотных средств 5. Колебания рыночной конъюнктуры и рост их монополизации 6. Недостаточный уровень государственной поддержки 7. Рост стоимости кредитных ресурсов 8. Увеличение налоговой нагрузки 9. Недобросовестная конкуренция 10. Снижение спроса на продукцию из-за появления товаров-заменителей Threats: 1. Unfavorable weather conditions 2. Low investment attractiveness 3. Disparity of prices 4. Deficit of own working capital 5. Fluctuations in the market environment and the growth of their monopolization 6. Insufficient level of state support 7. Growth in the cost of credit resources 8. Increased tax burden 9. Unfair competition 10. Decrease in demand for products due to the appearance of substitute goods
Внутренняя среда Internal environment		
Сильные стороны: 1. Высокое качество продукции при относительно низкой ее себестоимости. 2. Наличие элементов современной технологии производства Strengths: 1. High quality products at a relatively low cost. 2. The presence of elements of modern production technology	СИВ: 1. Повышение качества готовой продукции 2. Разработка новых каналов сбыта в области 3. Создание службы маркетинга и разработка ее стратегии SO: 1. Improving the quality of finished products 2. Development of new sales channels in the region 3. Creation of a marketing service and development of its strategy	СИУ: 1. Снижение цен по сравнению с конкурентами 2. Открытие новых фирменных магазинов 3. Разработка стратегии расширения рынка ST: 1. Lower prices compared to competitors 2. Opening of new brand stores 3. Development of a market expansion strategy
Слабые стороны: 1. Недостатки в рекламной политике 2. Недостаточно широкий ассортимент продукции 3. Низкая заинтересованность работников в результатах своего труда 4. Несоблюдение техники безопасности 5. Неучастие персонала в принятии управленческих решений 6. Нарушение трудовой и финансовой дисциплины Weaknesses: 1. Disadvantages in advertising policy 2. Insufficiently wide range of products 3. Low interest of employees in the results of their work 4. Non-observance of safety precautions 5. Lack of participation of personnel in making management decisions 6. Violation of labor and financial discipline	СЛВ: 1. Использование рекламы с целью роста продаж. 2. Доведение до сотрудников предприятия стратегических целей и задач предприятия. 3. Первичная обработка и упаковка продукции WO: 1. Using advertising to increase sales. 2. Communicating the strategic goals and objectives of the enterprise to the employees of the enterprise. 3. Primary processing and packaging of products	СЛУ: 1. Хищение ресурсов 2. Стимулирование персонала и привлечение его к исследованию предпочтений покупателей WT: 1. Theft of resources 2. Encouraging staff and engaging them in researching customer preferences

Таблица 2.

Состояние экономической безопасности ООО «Бородинское»

Table 2.

The state of economic security of LLC "Borodinskoe"

Вид деятельности Activity types	Направление деятельности Activity directions	Наличие на Предприятии Presence at the enterprise
Защита предприятия от внешних и внутренних угроз Protecting the enterprise from external and internal threats	Обеспечения безопасности предприятия, зданий, оборудования, продукции. Защита коммерческой, финансовой и другой информации. Предотвращение возможных каналов утечки информации и злонамеренных действий со стороны конкурентов Ensuring the safety of an enterprise, buildings, equipment, products. Protection of commercial, financial and other information. Preventing possible channels of information leakage and malicious actions by competitors	Существует Present
Охрана жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности Protection of life and health of employees in the process of labor activity	Пропаганда и проведение мероприятий по охране труда, проведения учебы и инструктажей, поверка знаний по охране труда и ТБ у работников предприятия Promotion and implementation of measures for labor protection, training and instructing, verification of knowledge on labor protection and safety among employees of the enterprise	
Анализ состояния и развития экономики хозяйства Analysis of the state and development of the economy of the enterprise	Обработка информации о хозяйственно-финансовой деятельности предприятия, на основе анализа которой принимаются управленческие решения | Processing information about the economic and financial activities of the enterprise, based on the analysis of which management decisions are made	
Подбор персонала и повышение квалификации работников Recruitment and professional development of employees	Проведение контроля за реализацией кадровой политики на предприятии, проводит надзор за оплатой труда, техникой безопасности, медицинским обслуживанием, социальной защитой работников Control over the implementation of personnel policy at the enterprise, oversees wages, safety precautions, medical care, social protection of employees	
Соблюдение законодательства РФ при осуществлении своей деятельности Compliance with the legislation of the Russian Federation in the implementation of its activities	Осуществляет контроль за соблюдением действующего законодательства на предприятии и оказывает правовую помощь администрации предприятия в разрешении спорных вопросов Monitoring of compliance with the current legislation at the enterprise and provides legal assistance to the administration of the enterprise in resolving controversial issues	

Для обеспечения экономической безопасности предприятия очень важное значение имеет кадровый потенциал и эффективная система мотивации кадров. Основу системы мотивации работников составляет тарифная система оплаты труда и система премирования за достижение более высоких успехов в труде, за экономию ресурсов, за высокое качество продукции. Соблюдение трудовой и производственной дисциплины, наставничество, изобретательство и рационализаторство – все это является слагаемыми устойчивости производства и укреплении финансового состояния организации.

В ООО «Бородинское» сложилась цеховая организационная структура, которая в наибольшей степени соответствует промышленной технологии производства сельскохозяйственной продукции. Данная структура позволяет предприятию лучше взаимодействовать с внешней средой, продуктивно и целенаправленно распределять и направлять усилия работников, удовлетворяя их потребности.

В то же время в ходе анализа деятельности предприятия нами выявлены основные направления, по которым осуществляется обеспечение его экономической безопасности, целостности материально-технической базы. Работы ведутся в направлении предотвращения утечки информации, ведется пропаганда здорового образа жизни, соблюдение технологии производства и техники безопасности, осуществляется контроль за соблюдением действующего законодательства.

Оперативно отслеживая внешние и внутренние угрозы, руководство предприятия своевременно принимает меры по минимизации их негативного влияния на деятельность предприятия и сглаживанию негативных последствий. В ООО «Бородинское» сложилась цеховая структура управления, что позволяет предприятию лучше взаимодействовать с внешней средой, оптимизировать усилия работников на производстве, удовлетворять потребности покупателей.

В ООО «Бородинское объектом экономической безопасности считается вся система, обеспечивающая его полноценное функционирование, причем при поражении одного из производственных участков предприятие будет испытывать угрозу потери баланса своего производственно-хозяйственного механизма. Поэтому для оценки состояния системы экономической безопасности предприятия нами предложено использовать ряд показателей-индикаторов. Несоблюдение их предельных величин или пороговых значений может нанести серьезный вред воспроизводственному процессу и экономической безопасности предприятия в целом.

С целью повышения безопасности производственной деятельности в ООО «Бородинское» нами рекомендуется внедрить мероприятия по совершенствованию прогрессивной технологии возделывания сельскохозяйственных культур, оптимизации кормовой базы и поголовья крупного рогатого скота, обоснованию ценовой политики, закупки современного отечественного оборудования.

В ООО «Бородинское объектом экономической безопасности считается вся система, обеспечивающая его полноценное функционирование, причем при поражении одного из производственных участков предприятие будет испытывать угрозу потери баланса своего производственно-хозяйственного механизма. Поэтому для оценки состояния системы экономической безопасности предприятия нами предложено использовать ряд показателей-индикаторов. Несоблюдение их предельных величин или пороговых значений может нанести серьезный вред воспроизводственному процессу и экономической безопасности предприятия в целом.

Заключение

С целью повышения безопасности производственной деятельности в ООО «Бородинское» нами рекомендуется внедрить мероприятия по совершенствованию прогрессивной технологии возделывания сельскохозяйственных культур, оптимизации кормовой базы и поголовья крупного рогатого скота, обоснованию ценовой политики. При этом в прогнозе на 2022 год выручка может повыситься на 38%, снижение себестоимости единицы продукции может составить 3–25% в зависимости от вида продукции, чистая прибыль повыситься в 2,3 раза до 1677 млн. руб., а уровень рентабельности может составить 25,1%.

Литература

1 Абалкин Л.И. Экономическая безопасность России: угрозы и их отражение // Вопросы экономики. 1994. № 12. С. 4–13.

2 Володина Н.Л., Панюкова И.Н. Угрозы экономической безопасности предприятия // Экономическая безопасность: правовые, экономические, экологические аспекты: сборник научных трудов 3-й Международной научно-практической конференции. 2018. С. 29–32.

3 Ермоленко О.Д. Малое и среднее предпринимательство в сельском хозяйстве: мировой опыт и перспективы в России // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2016. № 12. С. 54–58.

4 Журкина Т.А., Сабетова Т.В. Угрозы экономической безопасности в сфере землепользования // Экономическая безопасность: проблемы, перспективы, тенденции развития: материалы V Международной научно-практической конференции. Пермский государственный национальный исследовательский университет. 2019. С. 126–130.

5 Когтева А.Н., Герасимова Н.А. Оценка уровня экономической безопасности Воронежской области как составляющей экономической безопасности страны // Экономическая безопасность социально-экономических систем: вызовы и возможности: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции. 2018. С. 62–66.

6 Латкин А.П., Горлова Е.Е. Оценка развития системы предпринимательства в аграрной сфере // АПК: экономика, управление. 2015. № 12. С. 59–63.

7 Сабетова Т.В. Место характеристик инновационной деятельности в системе оценки экономической безопасности региона // Стратегии противодействия угрозам экономической безопасности России: материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2018. С. 231–239.

8 Сенчагов В.К. Экономическое обеспечение национальной безопасности // Вестник экономической безопасности. 2010. № 8. С. 31–41.

9 Ianioglo A., Polajeva T. The essence and phases of the comprehensive system of ensuring the economic security of enterprise // International journal of learning and change. 2017. V. 9. №. 1. P. 59-74.

10 Boudreaux C.J., Nikolaev B.N., Klein P. Socio-cognitive traits and entrepreneurship: The moderating role of economic institutions // Journal of Business Venturing. 2019. V. 34. №. 1. P. 178-196.

11 Urbano D., Aparicio S., Audretsch D. Twenty-five years of research on institutions, entrepreneurship, and economic growth: what has been learned? //Small Business Economics. 2019. V. 53. №. 1. P. 21-49.

12 Doran J., McCarthy N., O'Connor M. The role of entrepreneurship in stimulating economic growth in developed and developing countries // Cogent Economics & Finance. 2018. V. 6. №. 1. P. 1442093.

13 Raudeliūnienė J., Tvaronavičienė M., Dzemyda I. Towards economic security and sustainability: key success factors of sustainable entrepreneurship in conditions of global economy // Journal of security and sustainability issues. 2014. V. 3. P. 71-79. doi: 10.9770/jssi.2014.3.4(7)

14 Bublyk M., Koval V., Redkva O. Analysis impact of the structural competition preconditions for ensuring economic security of the machine building complex // Marketing and Management of Innovations. 2017. №. 4.

15 Zu L. International perspective on sustainable entrepreneurship // Sustainable Entrepreneurship. Berlin, Heidelberg, Springer, 2014. P. 67-100. doi: 10.1007/978-3-642-38753-1_6

16 Akhmetshin E.M., Vasilev V.L. Control as an instrument of management and institution of economic security // Academy of strategic management journal. 2016. V. 15. P. 1.

17 Tkacheva T.Y., Afanasjeva L.V. Problems of the formation and development of the theory of the economic security // 3rd international multidisciplinary scientific conference on social sciences & arts, sgem-2016. 2016. P. 499-503.

18 Andruseac G. et al. Economic security–new approaches in the context of globalization // CES Working Papers. 2015. V. 7. №. 2. P. 232-240.

19 Uktamov H.F. Problems of Evaluation and Procuring Economic Security At Enterprises // Asian Journal of Technology & Management Research. 2020. V. 10. №. 01.

20 Dudin M.N., Fedorova I.J.E., Ploticina L.A., Tokmurzin T.M. et al. International practices to improve economic security. 2018.

References

1 Abalkin L.I. Economic security of Russia: threats and their reflection. Problems of Economics. 1994. no. 12. pp. 4–13. (in Russian).

2 Volodina N.L., Panyukova I.N. Threats to the economic security of the enterprise. Economic security: legal, economic, environmental aspects: collection of scientific papers of the 3rd International Scientific and Practical Conference. 2018. pp. 29–32. (in Russian).

3 Ermolenko O.D. Small and medium business in agriculture: world experience and prospects in Russia. Economy of agricultural and processing enterprises. 2016. no. 12. pp. 54–58. (in Russian).

4 Zhurkina T.A., Sabetova T.V. Threats to economic security in the field of land use. Economic security: problems, prospects, development trends: materials of the V International scientific and practical conference. Perm State National Research University. 2019. pp. 126–130. (in Russian).

5 Kogteva A.N., Gerasimova N.A. Assessment of the level of economic security of the Voronezh region as a component of the country's economic security. Economic security of socio-economic systems: challenges and opportunities: Collection of scientific papers of the international scientific and practical conference. 2018. pp. 62–66. (in Russian).

6 Latkin A.P., Gorlova E.E. Assessment of the development of the system of entrepreneurship in the agricultural sector. APK: economics, management. 2015. no. 12. pp. 59–63. (in Russian).

7 Sabetova T.V. The place of the characteristics of innovative activity in the system of assessing the economic security of the region. Strategies for countering threats to the economic security of Russia: materials of the All-Russian scientific and practical conference. 2018. pp. 231–239. (in Russian).

8 Senchagov V.K. Economic support of national security. Bulletin of economic security. 2010. no. 8. pp. 31–41. (in Russian).

9 Ianioglo A., Polajeva T. The essence and phases of the comprehensive system of ensuring the economic security of enterprise. International journal of learning and change. 2017. vol. 9. no. 1. pp. 59-74.

10 Boudreaux C.J., Nikolaev B.N., Klein P. Socio-cognitive traits and entrepreneurship: The moderating role of economic institutions. Journal of Business Venturing. 2019. vol. 34. no. 1. pp. 178-196.

11 Urbano D., Aparicio S., Audretsch D. Twenty-five years of research on institutions, entrepreneurship, and economic growth: what has been learned? Small Business Economics. 2019. vol. 53. no. 1. pp. 21-49.

12 Doran J., McCarthy N., O'Connor M. The role of entrepreneurship in stimulating economic growth in developed and developing countries. Cogent Economics & Finance. 2018. vol. 6. no. 1. pp. 1442093.

13 Raudeliūnienė J., Tvaronavičienė M., Dzemyda I. Towards economic security and sustainability: key success factors of sustainable entrepreneurship in conditions of global economy. Journal of security and sustainability issues. 2014. vol. 3. pp. 71-79. doi: 10.9770/jssi.2014.3.4(7)

14 Bublyk M., Koval V., Redkva O. Analysis impact of the structural competition preconditions for ensuring economic security of the machine building complex. Marketing and Management of Innovations. 2017. no. 4.

15 Zu L. International perspective on sustainable entrepreneurship. Sustainable Entrepreneurship. Berlin, Heidelberg, Springer, 2014. pp. 67-100. doi: 10.1007/978-3-642-38753-1_6

16 Akhmetshin E.M., Vasilev V.L. Control as an instrument of management and institution of economic security. Academy of strategic management journal. 2016. vol. 15. pp. 1.

17 Tkacheva T.Y., Afanasjeva L.V. Problems of the formation and development of the theory of the economic security. 3rd international multidisciplinary scientific conference on social sciences & arts, sgem-2016. 2016. pp. 499-503.

18 Andruseac G. et al. Economic security–new approaches in the context of globalization. CES Working Papers. 2015. vol. 7. no. 2. pp. 232-240.

19 Uktamov H.F. Problems of Evaluation and Procuring Economic Security At Enterprises. Asian Journal of Technology & Management Research. 2020. vol. 10. no. 01.

20 Dudin M.N., Fedorova I.J.E., Ploticina L.A., Tokmurzin T.M. et al. International practices to improve economic security. 2018.

Сведения об авторах

Татьяна А. Журкина к.э.н., преподаватель, Воронежский техникум пищевой и перерабатывающей промышленности, Московский пр-т, 129, г. Воронеж, 394000, Россия, zhutat@ya.ru

Information about authors

Tatiana A. Zhurkina Cand. Sci. (Econ.), lecturer, Voronezh College of Food and Processing Industry, Moskovskiy Av., 129 Voronezh, 394000, Russia, zhutat@ya.ru

Юлия В. Наролина д.э.н., профессор, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, yulona15@ya.ru

Марина В. Пономаренко к.э.н., доцент, кафедра экономической теории и экономики АПК, Ставропольский государственный аграрный университет, пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355017, Россия, marina307@inbox.ru
https://orcid.org/0000-0001-7059-3911

Julia V. Narolina Dr. Sci. (Econ.), professor, economic security and financial monitoring department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, yulona15@ya.ru

Marina V. Ponomarenko Cand. Sci. (Econ.), associate professor, economics and economy of agro-industrial complex department, Stavropol State Agricultural University, Zootekhnicheskiy lane, 12, Stavropol, 355017, Russia, marina307@inbox.ru
https://orcid.org/0000-0001-7059-3911

Вклад авторов
Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution
All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest
The authors declare no conflict of interest.

Поступила 21/01/2021	**После редакции** 18/02/2021	**Принята в печать** 02/03/2021

Received 21/01/2021	**Accepted in revised** 18/02/2021	**Accepted** 02/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-483-489 Оригинальная статья/Research article
УДК 360 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Построение инновационной СМК и ее функционирование с использованием цифровой платформы

Яна В. Денисова [1] yana-denisova@inbox.ru 0000-0003-1242-6909
Владимир Ф. Сопин [1] vlad-sopin24@rambler.ru 0000-0002-9112-2550
Анастасия А. Качмаржик [1] nastasia627@yandex.ru

1 Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, Казань, Респ. Татарстан, 420015, Россия

Аннотация. В современных экономических условиях предприятия вынуждены работать в условиях высокой конкуренции, сложности и изменчивости окружающей среды. Отличительной особенностью нынешних условий является также тот факт, что помимо возрастающей потребности в товарах и услугах высокого качества у потребителей увеличивается спрос на инновационные продукты. На фоне непрерывного развития технологий в различных областях предприятия стали их активно внедрять для создания инновационной продукции. При этом у предприятий, стремящихся укрепить свои позиции на рынке, возникла проблема постоянного сокращения сроков разработки и выпуска инновационной продукции при требуемом сохранении высокого уровня качества. Решить эту задачу в настоящее время не представляется возможным без проведения цифровизации предприятий, которая означает внедрение цифровых технологий не только в производственно-технологической, но также в финансовой и организационно-управленческой областях. С этих позиций представляется актуальным разработка организационно-управленческих методов, направленных на совершенствование инновационного развития предприятия. Авторами статьи представлена модель инновационной СМК, построенной на основе интеграции системы менеджмента качества и системы управления инновациями с использованием цифровой платформы как основы для создания и эффективного функционирования современного предприятия. В рамках данной модели рассмотрена возможность применения процессного подхода при построении инновационной СМК, разработаны мероприятия по ее созданию, дана оценка планируемому экономическому эффекту от внедрения инновационной СМК.

Ключевые слова: научно-технический прогресс, система качества, менеджмент, нормативно-техническая документация, инновации, система управления, интеграция, цифровизация

Building an innovative QMS and its functioning using a digital platform

Yana V. Denisova [1] yana-denisova@inbox.ru 0000-0003-1242-6909
Vladimir F. Sopin [1] vlad-sopin24@rambler.ru 0000-0002-9112-2550
Anastacia A. Kachmarzhik [1] nastasia627@yandex.ru

1 Kazan National Research Technological University, st. Karl Marx, 68, Kazan, Republic of Tatarstan, 420015, Russia

Abstract. In today's economic environment, businesses are forced to operate in a highly competitive, complex and volatile environment. A distinctive feature of the current conditions is also the fact that in addition to the increasing demand for goods and services of high quality among consumers, the demand for innovative products is increasing. Against the background of the continuous development of technologies in various fields, enterprises began to actively introduce them to create innovative products. At the same time, enterprises striving to strengthen their positions in the market faced the problem of constantly reducing the development and production of innovative products while maintaining a high level of quality. It is currently impossible to solve this problem without digitalization of enterprises, which means the introduction of digital technologies not only in production and technology, but also in financial and organizational and managerial areas. From these positions, it seems relevant to develop organizational and management methods aimed at improving the innovative development of the enterprise. The authors of the article presented a model of an innovative QMS, built on the basis of the integration of a quality management system and an innovation management system using a digital platform as a basis for the creation and effective functioning of a modern enterprise. Within the framework of this model, the possibility of applying the process approach to the construction of an innovative QMS was considered, measures for its creation were developed, and an assessment of the planned economic effect from the introduction of an innovative QMS was given.

Keywords: scientific and technological progress, quality system, management, normative and technical documentation, innovation, management system, integration, digitalization

Введение

Внедрение новейших технологий, автоматизированных систем управления, закупка современного программного обеспечения приводят к значительному увеличению затрат предприятия, увеличивают его финансовую нагрузку. Поэтому для решения проблемы финансовой устойчивости предприятия стали уделять повышенное внимание управленческим аспектам повышения эффективности производства, т. е. внедрению управленческих инноваций. На основании изложенного представляется актуальным разработка новых организационно-управленческих методов, направленных на совершенствование инновационной деятельности предприятий. С этой точки зрения авторами статьи была разработана модель инновационной СМК на базе цифровой платформы путем интеграции системы менеджмента качества и системы управления инновациями.

Для цитирования
Денисова Я.В., Сопин В.Ф., Качмаржик А.А. Построение инновационной СМК и ее функционирование с использованием цифровой платформы // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 483–489. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-483-489

For citation
Denisova Ya.V., Sopin V.F., Kachmarzhik A.A. Building an innovative QMS and its functioning using a digital platform. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 483-489. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-483-489

© 2021, Денисова Я.В. и др. / Denisova Ya.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Высокая результативность бизнес-процессов немыслима без четко организованной и эффективно функционирующей системы менеджмента качества. СМК является частью общей системы управления организацией, направленной на обеспечение качества выполняемых работ, установленных в требованиях НТД, с целью удовлетворения потребностей заказчика. СМК включает в себя действия, с помощью которых организация устанавливает свои цели и определяет процессы и ресурсы, требуемые для достижения желаемых результатов [1].

Основная ее задача заключается в улучшении качества производимой продукции посредством непрерывного улучшения всех процессов предприятия и совершенствования их взаимодействия. Разработка, использование и сертификация СМК на соответствие требованиям международных стандартов ISO позволяет улучшить различные показатели хозяйственной деятельности предприятия: достичь существенного роста объёма продаж, увеличить производительность труда, удержать имеющихся и завоевать новых потребителей и клиентов, снизить издержки, повысить престиж предприятия, уменьшить количество рекламаций, снизить предпринимательские риски [2].

В 2016 году основатель и президент экономического форума в Давосе Клаус Шваб сообщил о наступлении четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0», которая заключается в динамичном внедрении новейших технологических разработок во все сферы жизни мирового сообщества [3]. Он отметил, что инновационная деятельность стала ареной борьбы между тысячами компаний по всему миру, причем борьба идет за вывод на рынки новых инновационных продуктов и раздел сфер влияния.

Непосредственно термин «инновация» впервые появился в XIX веке в работах культурологов. Й. Шумпетер впервые ввел экономическое понятие «инноваций» и определил их как новые комбинации методов производства, способные приносить коммерческую выгоду и связанные с созданием новых товаров, применением новых материалов и источников сырья, внедрением нового метода производства, открытием новых рынков сбыта [4]. Инновационная деятельность представляет собой комплекс мероприятий, непосредственно связанный с разработкой, внедрением инноваций, различных достижений научно-технического прогресса, продвижением инноваций на рынок и в общественное производство [5]. Инновационная деятельность направлена на коммерциализацию знаний, технологий и оборудования, а результатом ее становятся новые товары или услуги либо товары и услуги с новыми качествами.

Методы

Наиболее важными сферами внедрения инноваций, которые влияют на прибыль и конкурентную способность предприятия, являются: инновации в системе управления персоналом, инновации в технологическом процессе, инновации в сфере рекламы и маркетинга, инновации в финансово-экономической деятельности (рисунок 1).

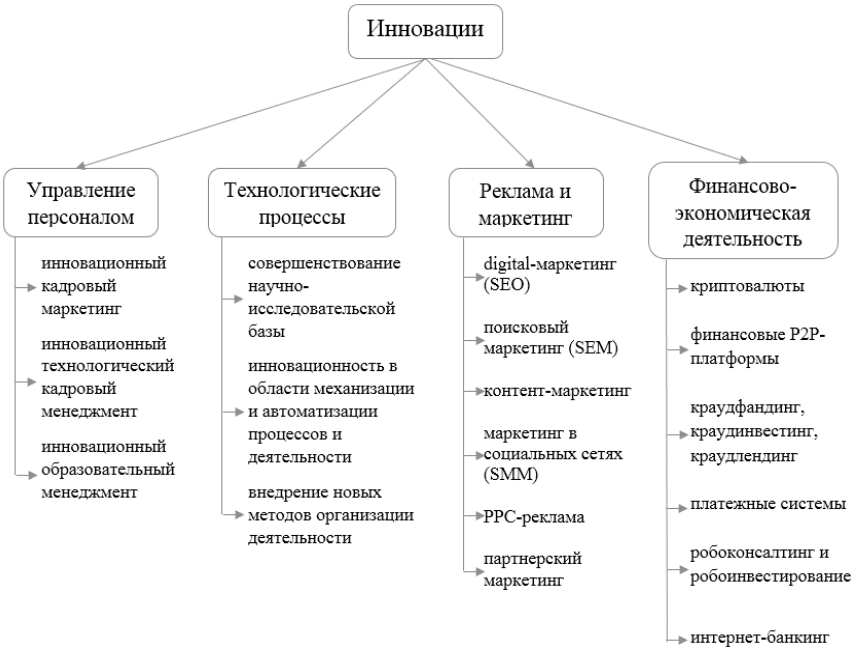


Рисунок 1. Сферы внедрения инноваций

Figure 1. Areas of innovation

В условиях глобализации экономики общей чертой функционирования всех предприятий является направленность на инновационное развитие, обеспечение возможности быстро адаптироваться к изменяющимся условиям. Поиск инновационных идей осуществляется как из внешних, так и из внутренних источников. К внешним источникам можно отнести: научные и технологические разработки; результаты маркетинговых исследований; патенты; разработки потенциальных конкурентов и т. д. Внутренними источниками инновационных идей являются собственные разработки предприятия в области техники, технологий, организации производства и управления [6].

Обсуждение

Инновации служат мощным инструментом повышения конкурентоспособности продукции. В соответствии с этим предприятия, независимо от размеров и форм собственности, стремятся использовать новейшие достижения НТП и внедрить их для создания высококачественной инновационной продукции. Для организации этих процессов и управления ими необходимо наличие системы управления инновациями (СУИ).

В то же время в современных экономических условиях для клиентов и потребителей важно одновременное сочетание двух факторов – инновационных характеристик продукта и его высокого качества. В связи с этим, по мнению авторов, предприятиям целесообразно разрабатывать инновационную систему менеджмента качества, в которой бы учитывались все эти факторы, а процессы были бы взаимодополняемыми.

В основу такой комплексной инновационной системы менеджмента необходимо заложить определенный подход для управления инновационной деятельностью. Наиболее известны из них процессный подход, который рассматривает предприятие через призму взаимоувязанных процессов, направленных на достижение стратегических целей, и системный подход, в котором организация представляет собой некую систему со своими подсистемами и элементами [7]. Современные процессы менеджмента качества строятся в соответствии с международными стандартами ИСО серии 9000, которые адаптированы к различным сферам хозяйственной деятельности и в основе которых лежат данные подходы. Поэтому процессный и системный подходы в рамках стандартов ИСО серии 9000 могут стать основой для разработки инновационной системы менеджмента качества. При этом при разработке процессов инновационной СМК и их отражении в НТД необходимо учитывать тот факт, что в круг ее задач должно входить не только создание новых товаров и услуг с инновационными характеристиками, но и осуществление организационных нововведений на предприятии – например, реализация новых методов ведения бизнеса, внедрение передовых форм организации производства.

Вопрос об интеграции СМК и СУИ ранее подробно не изучался, тогда как актуальность этой темы возрастает. СМК представляет собой систему с множеством бизнес-процессов, связанных между собой. СМК, так же как и СУИ, охватывает все сферы деятельности предприятия и описывает процессы, протекающие в каждой из них. Но в стандартах СМК инновационная деятельность отдельно не рассматривается. Поэтому возникает вопрос о возможности расширения СМК и вхождении инновационной деятельности в спектр ее внимания. Соответственно, управление инновационной деятельностью можно представить в качестве отдельного процесса СМК и описать его с этой точки зрения в нормативной документации предприятия. Однако в силу многогранности СУИ, многоаспектности круга решаемых ею задач и того факта, что это по сути отдельная область, требующая собственного подхода, данная задача представляется проблематичной. Поэтому, по мнению авторов, целесообразно рассмотреть на базе процессного подхода взаимодействие СМК и СУИ как двух взаимосвязанных и близких по функциональному значению частей, при этом функционирующих в рамках единой системы управления.

Для успешной интеграции этих систем необходимо провести ряд мероприятий:

1) определить цели и задачи, которые будут решаться инновационной СМК;

2) разработать новую управленческую документацию, охватывающую и описывающую процессы обеих систем;

3) определить виды ресурсов, необходимые для успешного функционирования инновационной СМК;

4) провести оценку рисков при построении инновационной СМК;

5) дать прогнозные показатели по экономическому эффекту от внедрения инновационной СМК.

На рисунке 2 представлена модель инновационной СМК, объединяющей в себе две составляющие – СМК и СУИ.

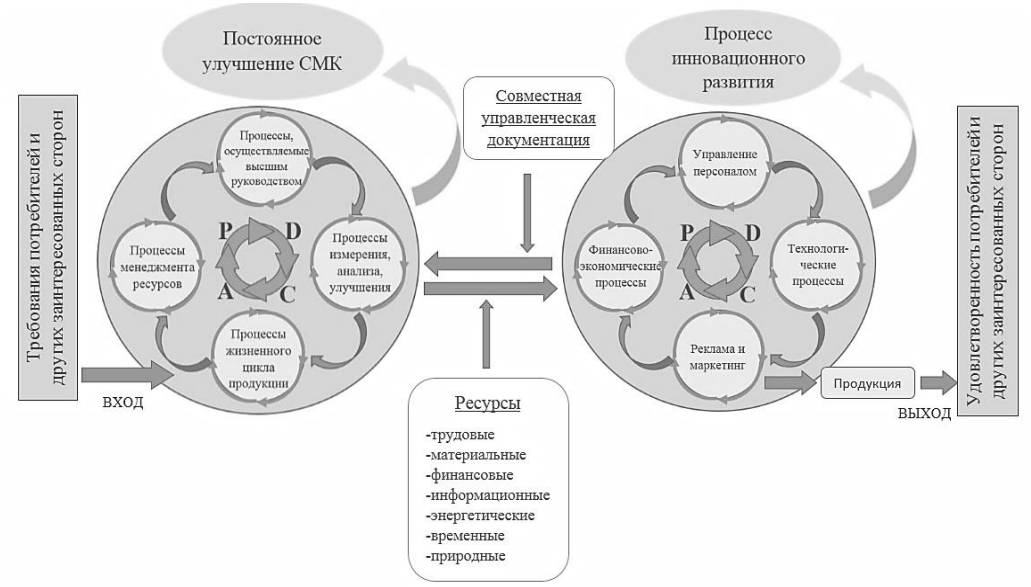


Рисунок 2. Модель инновационной СМК
Figure 2. Model of an innovative QMS

Как видно из рисунка 2, все элементы систем (СМК и СУИ) тесно переплетены и неразрывно связаны. Их функционирование происходит на основе постоянного совершенствования в соответствии с циклом Деминга-Шухарта PDCA. При этом управляющие воздействия и ресурсы становятся у них общими в рамках единой системы.

Функционирование инновационной СМК неразрывно связано с цифровизацией процессов как движущей силой, способной стимулировать внедрение инноваций. Это та платформа, без которой на сегодняшний день невозможно достижение максимизации эффективности всех процессов.

Цифровая трансформация затронула все виды бизнеса. Глобальные изменения коснулись различных сфер производственной, организационной, технологической и управленческой деятельности предприятий. Пандемия коронавирусной инфекции COVID-19 привела к тяжелым социально-экономическим последствиям для большинства отраслей мировой экономики, но в то же время ускорила цифровую трансформацию процессов. Чтобы удерживать конкурентные преимущества и создавать новые – организации вынуждены переводить многие направления деятельности в цифровую оболочку. Для этого им необходимо осуществить роботизацию и автоматизацию производственного процесса; провести управленческую реорганизацию (настроить возможность взаимодействия всех подразделений в онлайн-формате); внедрить новые способы взаимодействия с внешней средой организации (безбумажные, мобильные и автоматизированные способы управления процессами).

На рисунке 3 представлена модель функционирования инновационной СМК на платформе цифровизации. Под последней понимается совокупность различных цифровых моделей, инструментов и баз данных, интегрированных в единую автоматизированную систему управления, призванную организовывать взаимодействие субъектов, на которые она распространяет свое влияние [8].

Как следует из рисунка, цифровизация лежит в основе модели инновационной СМК и охватывает все процессы – от определения целей до внедрения инноваций и контроля за результатом.

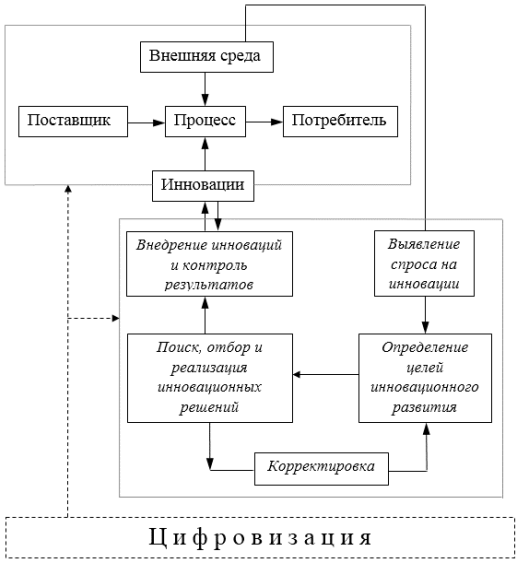


Рисунок 3. Функционирование инновационной СМК на платформе цифровизации
Figure 3. Functioning of an innovative QMS on the digitalization platform

Как же можно оценить планируемый экономический эффект от разработки и внедрения инновационной СМК?

На первый взгляд это не представляет большой сложности, поскольку экономический эффект должен выражаться в понятных финансово-экономических величинах: росте объема продаж, увеличении доли продукции предприятия на рынке, сокращении издержек производства и эксплуатации и т. п. Однако, если углубиться в процесс оценки, становится ясным, что необходимо установить – вследствие чего именно улучшились качественные и количественные характеристики процессов и произошел рост экономических показателей. Кроме того, процесс оценки носит разноплановый характер, многие факторы, влияющие на процессы, разнесены по времени, и это несколько усложняет проведение количественной оценки.

В научной литературе имеется достаточно большое количество публикаций, посвященных вопросам разработки методики оценки экономического эффекта СМК. Они базируются на разных подходах, но их объединяет общее мнение, что для этого требуются комплексные маркетинговые исследования и проведение сложных аналитических расчётов. Так, в работе В.А. Кондрикова и др. [9] для оценки экономического эффекта от внедрения СМК предлагается применить интегральный показатель результативности, в который входят наиболее важные факторы производственно-экономического механизма предприятия и внешней среды с точки зрения качества: потребительские свойства продукции, соблюдение технологических регламентов, удовлетворенность клиентов, результаты аудитов, метрология и квалиметрия, закупки, документооборот. Каждый из этих факторов может воздействовать на конечный результат работы системы как индивидуально, так и совместно друг с другом.

В работах различных авторов отмечается, что при внедрении СМК на предприятиях существенно меняется структура затрат на качество, сокращаются издержки производства (до 20–40 %) за счет снижения потерь от брака и уменьшения затрат на осуществление контрольных мероприятий; увеличивается объем производства и продаж продукции (услуг) за счет роста производительности труда; сокращается время на выявление проблем и их решение, и, как следствие, снижается количество сложных проблем благодаря прозрачности процессов предприятия; обеспечивается соответствие продукции актуальным требованиям рынка (потребителей).

Специальные методики, описывающие расчет экономического эффекта от СУИ, в литературе отсутствуют. Это происходит в силу многоаспектности задач, входящих в СУИ. Так, в зависимости от предмета инноваций различают технико-технологические инновации, экономические инновации, юридические инновации, организационные, управленческие, социальные и экологические инновации. Однако существуют методики, позволяющие анализировать результаты от инновационной деятельности в определенной сфере, а затем на основе проведенного анализа вносить корректировки в инновационный процесс для снижения рисков [10–20]. Данные методики базируются на оценке инновационных проектов посредством учета основных финансово-экономических показателей: затрат на инновации, доходов от инноваций, дате завершения инновационного проекта, увеличении вклада в любом его виде от инновации в развитие организации.

Методы оценки экономической эффективности инновационных проектов условно можно разделить на две группы:

1. Статистические методы оценки.

2. Методы оценки эффективности с учетом коэффициента дисконтирования.

При выборе метода оценки необходимо учитывать, что чем масштабнее инновационный проект, тем большее число факторов необходимо принимать во внимание при расчетах.

Для того чтобы учесть общий эффект от СУИ, необходимо учесть все виды эффектов, которые могут возникнуть при инновационной деятельности. Прежде всего это экономический эффект, который выражается в увеличении прибыли и объеме продаж, снижении затрат, улучшении использования ресурсов. Кроме того, может возникнуть научно-технический эффект, связанный с внедрением информационных технологий, автоматизированных систем управления, улучшением организационного управления труда. Третьим видом эффекта может стать социальный эффект, выражающийся в повышении безопасности труда и улучшении социальных условий жизни работников. И четвертый вид эффекта от инновационной деятельности – экологический эффект, проявляющийся в уменьшении загрязнения окружающей среды и улучшении экологических характеристик выпускаемой продукции либо оказываемых услуг. При этом фактическое увеличение прибыли от инновационной деятельности проявляется только через

экономический эффект. Остальные виды эффектов носят потенциальный характер и могут быть сильно разнесены во времени.

В конечном итоге внедрение инноваций в любой сфере сопровождается совершенствованием, структурированием и оптимизацией всех процессов, что приводит к снижению финансовых, экономических и временных затрат. В результате внедрение во все производственные и управленческие процессы как СМК, так и СУИ, становится оптимальным решением для организаций и предприятий. При этом следует отметить, что от интеграции этих систем, их совместного взаимодействия должен наблюдаться синергетический эффект, т. е. результирующие показатели от функционирования инновационной СМК должны быть гораздо выше, чем от работы каждой ее подсистемы в отдельности.

Заключение

На сегодняшний момент представляется крайне актуальной задачей создание инновационной СМК, объединяющей в себе элементы как системы менеджмента качества, так и системы управления инновациями. При этом для ускорения инновационных процессов и достижения намеченных результатов она должна создаваться на цифровой платформе, которая интегрирует все процессы жизнедеятельности предприятия и обеспечит оптимальное распределение всех ресурсов. Для современных предприятий, стремящимся к лидерским позициям на рынке, предложенная модель способна стать эффективной системой стратегического управления, направленной на динамичное развитие предприятия и полноценное использование им инновационного потенциала.

Литература

1 ГОСТ Р ИСО 9000–2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь (Издание с Поправкой). М.: Стандартинформ, 2019. 47 с.

2 Попова О.В. Деятельность консультантов в проектах по разработке, внедрению и сертификации систем менеджмента качества // Вестник Омского университета. Серия «Экономика». 2015. № 4. С. 164–169.

3 Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо, 2018. 285 с.

4 Шумпетер Й.А. Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия. М.: Эксмо, 2008. 864 с.

5 Медведева А.А. Методы эффективного внедрения инноваций в организацию // Технологии, образование, наука: стратегия прорыва: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 06 марта 2020 г. Белгород: ООО Агентство перспективных научных исследований (АПНИ), 2020. С. 53

6 Борщ Л.М. Инновации предприятий: теоретико-методологический аспект // Научный вестник: Финансы, банки, инвестиции. 2019. № 4. С. 45–57.

7 Демьянова О.В., Якупов А.Н., Билданов Р.Р. Методологические основы процессного подхода в практике промышленных предприятий.

8 Никонов А.А., Стельмашонок Е.В. Анализ внедрения современных цифровых технологий в финансовой сфере // Научно-технические ведомости СПбПУ. Экономические науки. 2018. № 4. С. 111–119.

9 Кондриков В.А., Кузора С.С. Плотникова И.В. Результативность и эффективности СМК предприятия // Методы менеджмента качества. 2006. № 10. С. 89–92.

10 Соловьев Д.Б. Методика оценки инновационной деятельности посредством гибких алгоритмов // Инновации. 2020. № 6. С. 78–86.

11 Priede J. Implementation of quality management system ISO 9001 in the world and its strategic necessity // Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2012. V. 58. P. 1466-1475. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.09.1133

12 Lin C., Kuei C., Chai K. W. Identifying critical enablers and pathways to high performance supply chain quality management // International Journal of Operations & Production Management. 2013. V. 33 № 3. P. 347-370. doi: 10.1108/01443571311300818

13 Klee G.G., Westgard J. O. Quality management // Tietz Fundamentals of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics-E-Book. 2014. V. 90.

14 Kehoe D.F. The fundamentals of quality management. Springer Science & Business Media, 2012.

15 Goetsch D.L., Davis S.B. Quality management for organizational excellence. Upper Saddle River, NJ: pearson, 2014.

16 Vlasov V. et al. Development of standards and their harmonization with international standards as a necessary condition of normative and technical support in construction and development of intelligent transport systems in Russia // Transportation Research Procedia. 2017. V. 20. P. 690-694. doi: 10.1016/j.trpro.2017.01.112

17 Nambisan S., Lyytinen K., Majchrzak A., Song M. Digital Innovation Management: Reinventing innovation management research in a digital world // Mis Quarterly. 2017. V. 41. №. 1.

18 Afuah A. Innovation management-strategies, implementation, and profits. 2020.

19 Volberda H. W., Van Den Bosch F. A. J., Heij C. V. Management innovation: Management as fertile ground for innovation. 2013. V. 10. № 1. P. 1-15. doi: 10.1111/emre.12007

20 Schiederig T., Tietze F., Herstatt C. Green innovation in technology and innovation management–an exploratory literature review // R&d Management. 2012. V. 42. №. 2. P. 180-192. doi: 10.1111/j.1467-9310.2011.00672.x

References

1 GOST R ISO 9000–2015. Quality management systems. Basic provisions and dictionary (Revised Edition). Moscow, Standartinform, 2019. 47 p. (in Russian).

2 Popova O.V. Activity of consultants in projects on development, implementation and certification of quality management systems. Bulletin of the Omsk University. The "Economy" series. 2015. no. 4. pp. 164–169. (in Russian).

3 Shvab K. The Fourth industrial revolution. Moscow, Eksmo, 2018. 285 p. (in Russian).

4 Schumpeter J.A. Teoriya ekonomicheskogo razvitiya. Capitalism, socialism and democracy. Moscow, Eksmo, 2008. 864 p. (in Russian).

5 Medvedeva A.A. Methods of effective implementation of innovations in the organization. Technologies, education, science: a breakthrough strategy: a collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference 06 March 2020. Belgorod, Agency for Advanced Scientific Research (APNI), LLC, 2020. 53 p. (in Russian).

6 Borsch L.M. Innovations of enterprises: theoretical and methodological aspect. Scientific Bulletin: Fmnansy, banks, investments. 2019. no. 4. pp. 45–57. (in Russian).

7 Volodin V.M. Strategic management of innovative activity of the enterprise. News of higher educational institutions. Volga region. Economic sciences. 2017. no. 2. pp. 81–90. (in Russian).

8 Nikonov A.A., Stelmashonok E.V. Analysis of the introduction of modern digital technologies in the financial sphere. Scientific and Technical vedomosti SPbPU. Economic sciences. 2018. no. 4. pp. 111–119. (in Russian).

9 Kondrikov V.A., Kuzora S.S. Plotnikova I.V. Efficiency and effectiveness of the enterprise's QMS. Methods of quality management. 2006. no. 10.pp. 89–92. (in Russian).

10 Solov'ev D.B. Methodology for assessing innovation activity through flexible algorithms. Innovations. 2020. no. 6. pp. 78–86. (in Russian).

11 Priede J. Implementation of quality management system ISO 9001 in the world and its strategic necessity. Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2012. vol. 58. pp. 1466-1475. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.09.1133

12 Lin C., Kuei C., Chai K. W. Identifying critical enablers and pathways to high performance supply chain quality management. International Journal of Operations & Production Management. 2013. vol. 33 no 3. pp. 347-370. doi: 10.1108/01443571311300818

13 Klee G.G., Westgard J. O. Quality management. Tietz Fundamentals of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics-E-Book. 2014. vol. 90.

14 Kehoe D.F. The fundamentals of quality management. Springer Science & Business Media, 2012.

15 Goetsch D.L., Davis S.B. Quality management for organizational excellence. Upper Saddle River, NJ, pearson, 2014.

16 Vlasov V. et al. Development of standards and their harmonization with international standards as a necessary condition of normative and technical support in construction and development of intelligent transport systems in Russia. Transportation Research Procedia. 2017. vol. 20. pp. 690-694. doi: 10.1016/j.trpro.2017.01.112

17 Nambisan S., Lyytinen K., Majchrzak A., Song M. Digital Innovation Management: Reinventing innovation management research in a digital world. Mis Quarterly. 2017. vol. 41. no. 1.

18 Afuah A. Innovation management-strategies, implementation, and profits. 2020.

19 Volberda H. W., Van Den Bosch F. A. J., Heij C. V. Management innovation: Management as fertile ground for innovation. 2013. vol. 10. no. 1. pp. 1-15. doi: 10.1111/emre.12007

20 Schiederig T., Tietze F., Herstatt C. Green innovation in technology and innovation management–an exploratory literature review. R&d Management. 2012. vol. 42. no. 2. pp. 180-192. doi: 10.1111/j.1467-9310.2011.00672.x

Сведения об авторах

Яна В. Денисова к.э.н., доцент, факультет нефти и нефтехимии, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Республика Татарстан, Российская Федерация, yana-denisova@inbox.ru
https://orcid.org/0000-0003-1242-6909

Владимир Ф. Сопин д.х.н., профессор, факультет нефти и нефтехимии, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Республика Татарстан, Российская Федерация, vlad-sopin24@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0002-9112-2550

Анастасия А. Качмаржик магистр, факультет нефти и нефтехимии, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Республика Татарстан, Российская Федерация, nastasia627@yandex.ru

Information about authors

Yana V. Denisova Cand. Sci. (Econ.), petroleum and petrochemical faculty, Kazan National Research Technological University, 68 Karl Marx street, Kazan, 420015, Republic of Tatarstan, Russian Federation, yana-denisova@inbox.ru
https://orcid.org/0000-0003-1242-6909

Vladimir F. Sopin Dr. Sci (Chem.), professor, petroleum and petrochemical faculty, Kazan National Research Technological University, 68 Karl Marx street, Kazan, 420015, Republic of Tatarstan, Russian Federation, vlad-sopin24@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0002-9112-2550

Anastacia A. Kachmarzhik master student, petroleum and petrochemical faculty, Kazan National Research Technological University, 68 Karl Marx street, Kazan, 420015, Republic of Tatarstan, Russian Federation, nastasia627@yandex.ru

Вклад авторов

Яна В. Денисова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёла эксперимент, выполнила расчёты
Владимир Ф. Сопин консультация в ходе исследования
Анастасия А. Качмаржик написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Yana V. Denisova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Vladimir F. Sopin consultation during the study
Anastacia A. Kachmarzhik wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 25/01/2021	**После редакции** 18/02/2021	**Принята в печать** 01/03/2021
Received 25/01/2021	**Accepted in revised** 18/02/2021	**Accepted** 01/03/2021

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-490-499 Оригинальная статья/Research article
УДК 369.022.1 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Финансовая компетентность застрахованных в области социального страхования: особенности формирования

Марина Н. Степанова [1] emarina77@list.ru 0000-0001-9776-1129
1 Байкальский государственный университет, ул. Ленина, 11, г. Иркутск, 664003, Россия

Аннотация. В представленной статье обоснована значимость финансовой компетентности в области обязательного социального страхования для застрахованных лиц; выделены особенности ее формирования и проявления. Автор пришел к выводу о том, что финансовая компетентность застрахованного лица в области обязательного социального страхования выражается прежде всего в способности использовать предоставляемые в случае наступления страховых событий возможности по страховому обеспечению так, чтобы они максимально полно удовлетворяли данным законом социальным гарантиям и интересам домохозяйства, дополнять их до желаемого уровня посредством использования иных способов управления социальными рисками. Поскольку основой финансовой компетентности в области социального страхования являются соответствующие финансовые знания, то вопросам их формирования должно уделяться первостепенное значение, но на практике этого не происходит. Основная роль в подготовке населения к страховым отношениям смещается в область неформального и информального образования, но сами граждане пассивны, а государство, страхователи и страховщики не проявляют должной заинтересованности в комплексном обучении застрахованных лиц. Программы повышения финансовой грамотности затрагивают лишь вопросы пенсионного страхования, обходя стороной другие виды социального страхования. Поскольку наличие финансовых и правовых знаний в области обязательного социального страхования в конечном итоге способно влиять на сохранение финансового благосостояния застрахованных, обеспечивая при этом достижение государственных целей социального характера, то ставится вопрос о необходимости реализации стратегии повышения финансовой грамотности населения с учетом данного аспекта.

Ключевые слова: финансовая компетентность, финансовая грамотность, обязательное социальное страхование, застрахованное лицо, обучение застрахованных, финансовое поведение, социальное страхование, социальное обеспечение, страховое образование, система социального страхования

Financial competence of the field of social insurance: formation features

Marina N. Stepanova [1] emarina77@list.ru 0000-0001-9776-1129
1 Baikal State University, Lenin st., 11, Irkutsk, 664003, Russia

Abstract. The article presents the rationale for the importance of financial competence in compulsory social insurance for insured persons. It highlights the features of the formation and manifestation of financial competence. The author came to the conclusion that the financial competence of the insured person is expressed in the ability to use the opportunities for insurance coverage so that they meet the imperative social guarantees and the interests of the household. The insured must be able to use other methods of managing social risks. Special attention is paid to the formation of financial knowledge in the field of social insurance. The main role in preparing the population for insurance relations is played by non-formal and informal education. However, citizens are passive. The state, policyholders and insurers are not interested in comprehensive training of insured persons. Financial literacy programs include pension insurance. They do not take into account other types of social insurance. The availability of financial and legal knowledge on social insurance can influence the preservation of the financial well-being of citizens. It ensures the achievement of state social goals. Therefore, the question is raised about the need to include in the strategy of improving the financial literacy of the population of the Russian Federation.

Keywords: financial competence, financial literacy, compulsory social insurance, insured person, training of insured persons, financial behavior, social insurance, social security, insurance education, social insurance system

Введение

Обязательное социальное страхование, являясь частью государственной системы социальной защиты населения, выполняет ряд важнейших социальных и финансовых задач, основной из которых выступает минимизация неблагоприятных последствий социальных страховых рисков, наступивших у застрахованных лиц. Одним из факторов ее успешного достижения можно считать реализацию социальных гарантий, принимающих форму своевременно предоставляемого страхового обеспечения, размер которого соответствует императивно установленным условиям его определения. Несмотря на то, что российское законодательство провозглашает принцип обеспечения «государственных гарантий соблюдения прав застрахованных лиц на защиту от социальных страховых рисков и исполнение обязательств по обязательному социальному страхованию независимо от финансового положения страховщика» (Федеральный закон от 16.07.1999 № 165-ФЗ, ст. 4), сами застрахованные не должны снимать с себя ответственность за самоконтроль полноты и своевременности реализации предоставляемых социальных гарантий – это актуализирует задачу овладения ими знаниями, умениями, навыками и компетенциями в области обязательного социального страхования с целью дальнейшего

Для цитирования
Степанова М.Н. Финансовая компетентность застрахованных в области социального страхования: особенности формирования // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 490–499. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-490-499

For citation
Stepanova M.N. Financial competence of the field of social insurance: formation features. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 490–499. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-490-499

© 2021, Степанова М.Н. / Stepanova M.N.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

эффективного применения в повседневной жизни, формирования мотивации получения соответствующего образования в течение всего жизненного пути. Однако, вопросам обучения застрахованных, формирования соответствующей финансовой компетентности в настоящее время уделяется крайне мало внимания: имеют место быть лишь отдельные примеры обучающего характера, интегрированные в программы повышения финансовой грамотности населения, и малочисленный информационный контент, размещаемый заинтересованными субъектами. Поскольку наличие финансовых и правовых знаний в области социального страхования в конечном итоге способно влиять на сохранение финансового благосостояния застрахованных лиц, обеспечивая при этом достижение и целей социального характера, вопросы формирования соответствующих компетенций у потенциальных получателей страхового обеспечения, предоставляемого государственными внебюджетными фондами, предопределяют актуальность связанных с ними практически значимых задач, требующих поиска эффективных способов решения.

Цель работы – обосновать значимость финансовой компетентности в области обязательного социального страхования для застрахованных лиц и выделить приоритетные аспекты ее изучения.

Материалы и методы

Исследование проводилось с учетом соблюдения принципов достоверности, объективности и детерминированности. Была выдвинута гипотеза о том, что несмотря на императивность отношений, возникающих в процессе осуществления обязательного социального страхования, регламентацию его условий, застрахованное лицо может иметь возможность принимать финансовые решения, наиболее благоприятным образом для себя и частного семейного домохозяйства используя предоставляемые законом социальные гарантии, а значит можно говорить и о возможности формирования финансовой компетентности в области социального страхования. Анализ результатов проведенных ранее исследований, в которых прямо или косвенно затрагивались вопросы определения содержательных границ понятия «финансовая компетентность» позволил выявить его сущностные характеристики и, используя приемы логического, интерпретационного и системного подходов, выделить особенности проявления финансовой компетентности в интересующей нас области экономических отношений. Использование гносеологического подхода обеспечило возможность определить специфику формирования финансовой компетентности в сфере обязательного социального страхования и обозначить факторы, под влиянием которых оно происходит.

Результаты

Финансовая компетентность является одной из важнейших характеристик идеального образа субъекта финансовых отношений, детерминантой ответственного финансового поведения. Практическая и научная значимость изучения соответствующей категории столь высока, что предопределила высокий уровень междисциплинарного исследовательского интереса, не угасающего уже на протяжении двадцати лет [1]. Особый вклад в развитие концепции финансовой компетентности внесли зарубежные ученые: Lynne S. Webber, Robert A. Reeve, Mavis M. Kershaw, Judith L. Charlton, Mehrabi O., Omar R. и другие [2–4]. При этом стоит отметить, что если за рубежом большая часть разработок посвящена вопросам оценки финансовой компетентности [2], влияния когнитивных нарушений, гендерных, геронтологических и иных особенностей на возможность ее формирования [3, 5, 6], то в России – это в основном дискурс-анализ самого понятия [7–10], опирающийся на результаты исследований пионера отечественных научных разработок в данной области проф. О.Е. Кузиной [11–12]. При этом основная дискуссия в научном сообществе разворачивается вокруг того, как соотносятся между собой понятия «финансовая грамотность» и «финансовая компетентность»: как общее и частное, эквивалентные или самостоятельные единицы.

К сожалению, практически нет работ, в которых финансовая компетентность рассматривалась бы в континууме социального страхования, несмотря на то, что ее позиционирование на конкретную финансовую область считается допустимым [1]. Fürstenau B., Hommel M. справедливо замечают: «Компетентность требует грамотности» [1]. Последнее невозможно без образовательного процесса, однако и в данном ракурсе социальное страхование как объект обучения застрахованных лиц остается вне поля комплексных научных изысканий, хотя по мнению автора, имеет все основания быть перспективным практико-ориентированным направлением исследований, решающих целый ряд многоуровневых задач. Анализ последних публикаций показал, что вопросы обучения застрахованных основам обязательного социального страхования как видовой совокупности существующих направлений страховой защиты исследователями поднимаются также крайне редко и, как правило, носят фрагментарный характер постановки двух основных проблем: повышение уровня пенсионной культуры насе-

ления [13–15] и знаний требований охраны труда [16–18]. Последний аспект рассматриваем в контексте обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний постольку, поскольку «обучение вопросам охраны труда работников организаций» является «одним из действенных методов сокращения числа несчастных случаев и профессиональных заболеваний» [16], а недостатки в нем становятся одной из причин наступающих страховых событий [17, с. 344].

Таким образом, финансовая компетентность застрахованных в сфере обязательного социального страхования является практически неизученным объектом, исследование которого возможно через различные предметные области. При этом изначально процесс познания должен строиться на восприятии социального страхования как целостной системы, отдельные элементы которой подчинены общей цели компенсации или минимизации последствий изменения материального положения граждан при наступлении предусмотренных законом событий.

По мнению ученых, финансовая компетентность является «одним из факторов, определяющих как уровень благосостояния современного человека и гражданина, так и параметры экономической безопасности страны и ее регионов» [19]. Данная лексема все чаще встречается в научной литературе, но не всегда выступает в роли дефидента. Можно наблюдать, насколько легко оперируют авторы публикаций понятием «финансовая компетентность», подразумевая очевидность его содержания, не требующую каких-либо пояснений или используя в качестве синонима (эквивалента) термина «финансовая грамотность» [9, 19, 20]. Вместе с тем, существуют попытки дифференциации этих родственных понятий [7, 21], хотя и признается факт того, что «в целом различия между грамотностью и компетентностью остаются несколько размытыми» [1]. Наиболее тривиальный подход к соответствующему сопоставлению строится на том, что понятие грамотности применимо в контексте базового образования в той области финансов, которая может быть полезна обывателю в его повседневной жизни; компетентность же относится к более конкретным и сложным темам, предполагает реализацию комплексного подхода и направлена на обогащение индивидуума знаниями и навыками на продвинутом уровне [1].

Имеет место быть и мнение о том, что финансовая грамотность расширяется до границ финансовой компетентности в случае, когда «совокупность финансовых знаний, навыков, установок реализуется в конкретных поведенческих практиках» [22]. Между тем, способность обоснованно судить об определенной области деятельности и эффективно действовать в ней, применяя знания в конкретных ситуациях [10, 21–23] перестает быть основной отличительной характеристикой. Компетентность начинают связывать с развитием навыков, которыми должен обладать субъект в конкретной области (Oztemel E, Ozel S, 2018) [24], одновременно усложняя восприятие внутреннего содержания категории: теперь компетентность рассматривается «в континууме черт, лежащих в основе восприятия, интерпретации и навыков принятия решений, которые, в свою очередь, порождают наблюдаемое поведение в реальных ситуациях» (Blömeke S, Gustafsson JE, Shavelson RJ, 2015) [25].

Авторы тематических публикаций, изданных в России [8, 10, 21], независимо от ракурса проводимых исследований, в качестве основного постулата принимают факт того, «финансовая компетентность связана с практической деятельностью индивида» [11, с. 65], а само понятие трактуют как «осознанную способность управлять финансовыми ресурсами и использовать финансовые услуги так, чтобы наилучшим образом удовлетворять индивидуальные потребности в существующих социально-экономических условиях» [22, с. 156]. Насколько это возможно в рамках обязательного социального страхования для отдельно взятого гражданина, фактически выступающего лишь в качестве получателя страхового обеспечения и применимы ли в данном контексте такие составляющие финансовой компетентности, как навыки, поведенческие практики, принятие решений?

Прежде всего «необходимо отметить высокую роль социального страхования в современном обществе: на его долю в экономически развитых странах приходится 60–70% всех затрат, идущих на цели социальной защиты и примерно 15–25% ВВП» [26]. Реализация социальных гарантий, принимающих форму своевременно предоставляемого страхового обеспечения лицам, подлежащим обязательному социальному страхованию (далее по тексту – ОСС) – то, ради чего система ОСС была организована. Поскольку значимость социального обеспечения для населения предельно высока, то предоставление доступа к нему признается «обязанностью общества, решающего эту задачу через государственные учреждения» [27]. Однако, воспользоваться правом на получение страхового обеспечения, не допуская нарушения своих законных интересов со стороны иных субъектов ОСС – это в большинстве

своем зона ответственности застрахованного или иного лица, в отношении которого соответствующее право возникает (далее по тексту данная категория лиц будет подразумевается всякий раз, когда будет идти речь идет о застрахованных). В тривиальной интерпретации поведенческие практики застрахованного в области социального страхования следует строить на двух основных принципах:

— не упустить возможность воспользоваться существующими социальными гарантиями (особенно актуально для заявительных форм обеспечения);

— не допустить ситуации, детерминирующей отказ в предоставлении страхового обеспечения или снижение размера страховой выплаты, а также предъявление регрессных требований.

Стоит отметить, что в идеале, когда речь идет об управлении социальными рисками, практическая деятельность застрахованного, связанная с этим процессом, не должна ограничиваться рамками ОСС: обусловленные существованием объективных причин ограничения (селекция рисков, недостаточный уровень замещения трудового дохода, ограничения по срокам обеспечения страховыми выплатами, выход за пределы государственных гарантий в сфере медицинского обслуживания и т. д.) требуют поиска альтернативных способов их минимизации, в том числе выход на рынок финансовых услуг и принятия соответствующих финансовых решений с учетом паритета приобретаемых возможностей и собственных ожиданий. Фактически знание границ возможностей системы социального страхования опосредует личную финансовую активность индивида, направленную на обеспечение дополнительных доходов, резервирование, осуществление сбережений и т. п., принятие ответственности за личные финансовые решения и дополнительно возникающие при этом финансовые риски.

Поскольку основным (но не единственным) предметом финансовой компетентности застрахованного лица выступает страховое обеспечение и все, что связано с его назначением и получением, то в рамках данного исследования можно принять допущение того, что финансовую компетентность застрахованного, связанную с обязательным социальным страхованием, в первую очередь формируют знания таких его элементов, как:

— виды событий, с наступлением которых возникает право на обеспечение по обязательному социальному страхованию и способы минимизации социальных рисков, не относящихся к категории страховых;

— установленные законом случаи обеспечения пособиями, пенсиями и другими видами страховых выплат, условия и продолжительность их предоставления;

— актуальные размеры страхового обеспечения, устанавливаемого в фиксированной сумме, и методики исчисления размера расчетных страховых выплат;

— основания снижения размера страховых выплат (для целей превенции соответствующих ситуаций) и отказа от предоставления страхового обеспечения;

— порядок назначения и выплаты страхового обеспечения;

— альтернативные способы компенсации неблагоприятных последствий реализации социального страхового риска, способные восполнить замещаемый утраченный доход до удовлетворяющего застрахованное лицо уровня, в том числе программы добровольного личного страхования или негосударственного пенсионного обеспечения.

Заметим, что это достаточно серьезный объем информации, который тем не менее, с учетом низкой вероятности отдельных рисков, их временной пролонгации, при наличии мотивации и при условии помощи фасилитатора достаточно просто осваивается. Гораздо сложнее в системе социального страхования обеспечивается наработка навыков и поведенческие практики, поскольку существуют определенные особенности, способные оказать влияние на процесс формирования финансовой компетентности:

1. в большинстве случаев опыт формирования и развития поведенческих навыков доступен только для работающих граждан – основной субъектной категории застрахованных лиц;

2. в некоторых случаях поведенческий навык не может быть сформирован априори, поскольку социальный риск может не реализоваться или будет связан с наступлением страхового события лишь однажды в жизни (постоянная утрата трудоспособности, потеря кормильца, достижение пенсионного возраста, беременность и роды, рождение ребенка), поэтому в большей мере можно говорить лишь о личном опыте, способном быть полезным в качестве транслируемого на собственное (если оно является частным семейным) или иное домохозяйство;

3. расчетно-аналитические навыки могут быть сформированы независимо от первых двух обстоятельств и быть полезны не только в личных целях, но и в качестве оказания консультационных услуг, например, членам собственного домохозяйства или в рамках существующих социальных связей.

Стоит отметить, что наиболее «благоприятной» областью социального страхования, в полной мере располагающей к формированию навыков, способствующих возможности наилучшим образом удовлетворять индивидуальные потребности застрахованного в получении страхового обеспечения в гарантированном государством размере, является часто реализуемое в конкретных поведенческих практиках обязательное социальное страхование по временной нетрудоспособности и в связи с материнством, особенно в части случаев, связанных с утратой трудоспособности вследствие заболевания или травмы или при необходимости ухода за больным членом семьи – эти события являются высоковероятностными, имеют наибольшую частоту реализации за период трудоспособности по сравнению с другими и дают возможность принятия решений, связанных с получением страхового обеспечения с учетом финансовых интересов домохозяйства, например:

– Выбор того, кто из застрахованных (отец или мать) будет осуществлять уход за больным ребенком (и, соответственно, получит право на получение страхового обеспечения) для сохранения финансового равновесия в бюджете домохозяйства (если цель – получить максимально возможный размер пособия по временной нетрудоспособности, то уход за ребенком будет осуществлять тот из родителей, кто имел наибольший размер расчетного среднего заработка или, а при прочих равных условиях, достаточный для получения максимального замещающего дохода страховой стаж; если цель – максимально сохранить доход домохозяйства, то уход за ребенком будет осуществлять тот из родителей, кто имеет на момент наступления страхового события и имел в двух предыдущих периодах наименьший доход; если цель – не допустить снижения годовой премии, предусмотренной коллективным договором ввиду допущенного периода нетрудоспособности, то уход будет осуществлять не имеющий данных ограничений) – принятие решения здесь определяют такие параметры, как размер среднего заработка каждого из застрахованных, рассчитанный за два календарных года, предшествующих году наступления временной нетрудоспособности; средний размер трудового дохода домохозяйства; страховой стаж каждого из родителей.

– Распределение периода ухода за больным ребенком или другим членом семьи между застрахованными с учетом установленной продолжительности выплаты пособия по временной нетрудоспособности с тем, чтобы не допустить периодов, не обеспечиваемых пособием, минимизируя размер утрачиваемого домохозяйством дохода (например, если продолжительность ухода за больным ребенком в возрасте от 7 до 15 лет будет превышать 15 календарных дней, прервать период нетрудоспособности родителя, осуществлявшего уход, и начиная с 16 дня передать его второму из родителей или при достижении порога замещаемого пособием совокупного количества дней в календарном году по всем случаям ухода за ребенком у одного из родителей последующих уход за эти ребенком осуществлять другому родителю) – принятие решений определяют продолжительность ухода за больным по одному страховому случаю и по совокупности событий за календарный год в сопоставлении с установленными законом ограничениями «страхового периода».

– Выбор застрахованным лицом среднего заработка, исходя из которого будет производиться расчет пособия в случае занятости на момент страхового события у нескольких страхователей – принятие решения определяет сопоставление размеров среднего заработка, полученного у каждого из страхователей в принимаемом к расчету периоде.

– Выбор периода, учитываемого при исчислении страхового стажа в случае совпадения по времени нескольких периодов.

– Выбор лица из числа членов домохозяйства, подлежащих страхованию, реализующего право на отпуск по уходу за ребенком до достижения им возраста трех лет и получение соответствующего пособия.

Представленные примеры обращают внимание на одно важное свойство – это связь интересов застрахованного лица с интересами домохозяйства, которые при наличии должной финансовой компетентности в области социального страхования могут быть учтены при реализации права выбора или распределении отдельных обязанностей внутри семьи при наступлении определенных страховых событий (обязанность по уходу за малолетним ребенком или больным членом семьи). Особенности управления риском неполучения дохода в рамках частного домохозяйства, синергичности эффектов, распределении зон финансовой ответственности за реализованный риск и его последствия между его субъектами представлены в рамках отдельной авторской публикации, которая может быть полезна и в контексте поднимаемой в настоящей статье темы [28].

Таким образом, финансовая компетентность застрахованного лица в области обязательного социального страхования выражается в способности использовать возможности системы ОСС по страховому обеспечению, предоставляемому в случае наступления страховых событий так, чтобы они максимально

полно удовлетворяли данным законом социальным гарантиям и интересам домохозяйства, дополнять их до желаемого уровня посредством использования иных способов управления социальными рисками.

Изложенный выше материал свидетельствует о том, что такие составляющие финансовой компетентности застрахованного лица, как навыки, поведенческие практики, принятие решений могут иметь место и в социальном страховании, несмотря на определенные объективные ограничения в их наработке и реализации. Поскольку основой финансовой компетентности в области социального страхования являются соответствующие финансовые знания, то вопросам их формирования должно уделяться первостепенное значение. Социальное страхование для застрахованного лица выступает континуумом сразу нескольких областей познания и дальнейшего практического приложения: социальные риски и выстраиваемая с их учетом финансовая безопасность; доходы и расходы; финансовое планирование и бюджетирование; защита прав и законных интересов как субъекта социального страхования. Знания о видах социального обеспечения, условиях назначения и продолжительности страховых выплат, навыки расчета их ожидаемых размеров могут способствовать как повышению качества личного финансового планирования и финансового контроля, так и рационализации подхода к формированию финансовых резервов на случай наступления непредвиденных обстоятельств с учетом понимания того, какие из рисков относятся к категории страховых, а какие останутся в зоне ответственности самого застрахованного лица; знание застрахованным своих прав в области социального обеспечения и способов их защиты – способствовать полной реализации гарантированных государством социальных гарантий и минимизации риска возникновения споров по вопросам ОСС [29]. Вместе с тем, в настоящее время освоение соответствующей области знаний фактически является проявлением собственной инициативы и самоответственности застрахованных лиц, несмотря на социальную значимость ОСС и предполагаемую заинтересованность как органов государственной власти, так и государственных внебюджетных фондов в повышении финансовой грамотности населения в данной сфере экономических отношений. В силу ограниченного контингента обучающихся вузов и сузов, осваивающих образовательные программы, содержащие соответствующие дисциплины, основная роль в подготовке населения к отношениям в области социального страхования смещается в область неформального и информального образования. Однако, и здесь имеет место быть ряд проблем, обуславливающих недостаточный уровень финансовой компетентности застрахованных:

– пассивность граждан в получении информального образования, его поведенческая и образовательная «близорукость»;

– недостаток доступных образовательных программ и образовательных материалов для самостоятельного освоения материала;

– восприятие застрахованными лицами системы социального страхования как области, исключающей возможность принятия решений и контроля за полнотой исполнения обязательств страховщика по страховому обеспечению;

– низкая информированность граждан о способах защиты прав (в том числе пенсионных) и законных интересов в области ОСС;

– отсутствие законодательно установленной обязанности страхователей по информированию застрахованных лиц об основаниях и условиях предоставления страхового обеспечения, продолжительности страховых выплат и порядке их расчета;

– фрагментарный характер просветительской работы фондов социального страхования, сводимой к «точечному» информированию населения и его ориентированию в очень узких направлениях ОСС, не обеспечивающей формирование комплексной системы знаний о возможностях системы обязательного социального страхования (стоит отметить, что наиболее заметную роль в финансовом просвещении населения играет Пенсионный фонд РФ – он задействует разнообразные коммуникационные каналы, ориентируясь на различные категории получателей государственных услуг и освещая наибольший спектр вопросов, относящихся к его компетенции);

– отсутствие должного внимания вопросам подготовки получателей страхового обеспечения на государственном уровне: так, в Стратегии повышения финансовой грамотности в Российской Федерации на 2017–2023 годы единственный затрагиваемый аспект, относящийся к вопросам ОСС – это повышение интереса к проблеме финансового обеспечения жизни в старости. Контент–анализ программ повышения финансовой грамотности населения, находящихся в свободном доступе, показал, что они содержат материал, раскрывающий особенности формирования пенсионных прав, создания резервов

для периода нетрудоспособности, то есть ориентирован на знакомство с основами обязательного пенсионного страхования и дополнительного пенсионного обеспечения, но обходят стороной вопросы предоставления социальных гарантий, реализуемых в рамках других видов ОСС. Между тем, без помощи поставщиков образовательных услуг и государственной поддержки в сопровождении сопутствующих процессов получение финансового образования может быть осложнено: система социального страхования представлена четырьмя направлениями страховой защиты, в нее включены три фонда, предоставляющих совершенно разные виды страхового обеспечения в разных формах с использованием разных финансовых механизмов; у застрахованных зачастую нет понимания того, как организована система ОСС, к кому – страхователю или страховщику – обращаться за разъяснениями и каким образом защищать нарушенные права. Безусловно, изучение данных вопросов в рамках реализации стратегии повышения финансовой грамотности могло бы иметь большую эффективность, массовый охват и гарантированный образовательный интерес в силу их жизненности, финансовой и социальной значимости, давало возможность включения в процесс обучения не только отдельных индивидов, но и целых домохозяйств [30].

Таким образом, вопросы приобретения (актуализации) застрахованными лицами знаний и формирования поведенческих навыков в области социального страхования можно изучать:

— в контексте повышения финансовой грамотности населения и формирования должной финансовой культуры;

— как объект образовательного интереса через призму пожизненного обучения, получения неформального и информального образования;

— как элемент проявления социальной ответственности работодателей, являющихся страхователями по ОСС;

— с позиций оказания соответствующих образовательных услуг;

— как элемент процесса реализации ориентированных на застрахованных лиц соответствующих государственных услуг.

Обсуждение

Полученные результаты сопоставимы с результатами других исследований в части следующих аспектов:

— утверждения того, что «компетентность – есть результат образования» [1, 23], в связи с чем первостепенное значение в формировании финансовой компетентности застрахованных в области социального страхования играют вопросы организации образовательного процесса, качества предоставляемых образовательных услуг и повышения активности населения в получении информального образования;

— принятия того, что имеет место быть пассивность населения в самообразовании при одновременной «близорукости финансового поведения, выражающимся в нежелании учитывать долгосрочные проблемы при потере трудоспособности, влекущем за собой неспособность сформировать самостоятельно материальную защиту на период нетрудоспособности» [31, с. 495], что актуализирует задачу вмешательства государства и страховщиков в процесс повышения финансовой грамотности застрахованных лиц как основы дальнейшего формирования финансовой компетентности;

— утверждения того, работодатели-страхователи должны быть включены в процесс формирования финансовой грамотности застрахованных наравне со страховщиками, как наиболее компетентная, социально ответственная сторона страховых отношений, и при этом их участие должно выходить за пределы обучения основам охраны труда как превенции рисков несчастных случаев на производстве [16–18], поскольку имеют место быть и иные, не менее важные аспекты обязательного социального страхования;

— согласия с тем, что в настоящее время не существует общепринятых определений финансовой компетентности [1] и объективных единых стандартов ее оценки [3], что затрудняет получение объективных данных об уровне финансовой компетентности населения страны и требует проведения дальнейших научных изысканий в данной области.

Изложенное позволяет сделать вывод о достоверности полученных автором результатов, поскольку они основаны на базовых подходах к изучению вопросов подготовки населения к финансовым отношениям, возникающим в сфере социального страхования, а также о наличии научной новизны, заключающейся в определении особенностей формирования и проявления финансовой компетентности застрахованных в области социального страхования.

Заключение

Вопросам формирования финансовой компетентности застрахованных в области обязательного социального страхования в настоящее время уделяется крайне мало внимания, несмотря на их высокую социальную и финансовую значимость. Для данной категории субъектов ОСС интересно прежде всего возможностью получения страхового обеспечения на случай

реализации социальных страховых рисков, которая может в случае предварительной оценки его (не) достаточности выходить за пределы области социального страхования, но быть прямым или косвенным образом связано с ним. Низкий уровень финансовой компетентности застрахованных в вопросах ОСС может негативно влиять на личное благосостояние и финансовый потенциал домашнего хозяйства в целом. В связи с этим ОСС необходимо воспринимать в качестве самостоятельного, практически значимого объекта формирования образовательного интереса, а также рассматривать в контексте обязательной составляющей формирования финансовой культуры населения, как основы формирования финансовой компетентности. Поскольку отношения в области ОСС предполагают возможность наработки навыков и принятия решений, способных оказать влияние на уровень финансового обеспечения домохозяйства (с допущением объективных ограничений), понятие финансовой компетентности корректно применять и в контексте поведенческих практик в сфере социального страхования. При этом в большей мере оно находит свое проявление там, где имеют место быть отношения, связанные со страховым обеспечением, предоставляемым в рамках данных законом социальных гарантий.

Дальнейшие изыскания в данной области связываются нами с проведением оценки финансовой компетентности населения РФ в области социального страхования, исследованием причин невнимательного отношения к вопросам ее формирования со стороны всех субъектов ОСС и государства, выбором на основе полученных данных наиболее актуальных направлений исследований, направленных на коррекцию существующей ситуации и повышение уровня финансовой компетентности граждан, включая отмеченные ранее образовательные аспекты.

Литература

1 Fürstenau, B., Hommel, M. Developing financial competence about mortgage loans by informal learning using banks' online calculators // Empirical Res Voc Ed Train. 2019. V. 11. № 10. doi: 10.1186/s40461–019–0085-z

2 Webber L.S., Reeve R.A., Kershaw M.M., Charlton J.L. Assessing Financial Competence // Psychiatry, Psychology and Law. 2002. V. 9. № 2. P. 248–256. doi: 10.1375/pplt.2002.9.2.248

3 Kershaw M.M., Webber L.S. Dimensions of Financial Competence // Psychiatry, Psychology and Law. 2004. V. 11. № 2. P. 338–349. doi: 10.1375/pplt.2004.11.2.338

4 Mehrabi O., Omar R. Causes of Inattention on Financial Competency: A Qualitative Study // Financial Environment and Business Development. Springer, Cham, 2017. P. 473-487. doi: 10.1007/978–3–319–39919–5_35

5 Gupta, N.D. Are women falling behind in the new economy? Gender Gaps in new skills and competencies // Swedish Economic Policy Review. 2007. V. 14. P. 151–189.

6 Marson D.C. Loss of Financial Competency in Dementia: Conceptual and Empirical Approaches // Aging, Neuropsychology, and Cognition. 2001. V. 8. № 3. P. 164–181. doi: 10.1076/anec.8.3.164.827

7 Дмитриева Н.О. Дифференциация понятий финансовая грамотность и финансовая компетентность // Рыночная трансформация экономики России: проблемы, перспективы, пути развития. Междунар. науч.-практ. конф. 2018. С. 105–107.

8 Рубцова О.Л., Сычева И.А. Финансовая компетентность педагога как элемент формирования финансовой грамотности обучающегося // Проблемы современного педагогического образования. 2018. № 60–2. С. 304–307.

9 Волкодавова Е.В., Жабин А.П. Исследование динамики финансовой компетентности предпринимателей в условиях глобализации и цифровизации экономики // Проблемы развития предприятий: теория и практика. 2018. № 2. С. 235–242.

10 Силина С.Н., Ступин В.Ю. От финансовой грамотности к финансовой культуре // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Филология, педагогика, психология. 2017. № 4. С. 71–79.

11 Кузина О.Е. Финансовая компетентность россиян: результаты международного сравнительного исследования // Деньги и кредит. 2015. № 5. С. 64–68.

12 Кузина О.Е. Финансовая грамотность и финансовая компетентность: определение, методики измерения и результаты анализа в России // Вопросы экономики. 2015. № 8. С. 129–148.

13 Мелешенко Е.Г. Повышение уровня пенсионной грамотности граждан Российской Федерации // Фундаментальные и прикладные научные исследования: материалы Междунар. науч.-практ. конф. НИЦ «Поволжская научная корпорация». Ред. колл.: Р.Р. Галлямов, А.А. Бельцер, Ю.А. Кузнецова, О.А. Подкопаев. 2017. С. 101–102.

14 Балынин И.В. Повышение пенсионной грамотности россиян в условиях информационного взрыва // Россия в XXI веке: глобальные вызовы и перспективы развития Материалы VIII Междунар. форума. 2019. С. 144–149.

15 Домрачева Т.В. Информационно-разъяснительная работа по повышению пенсионной грамотности // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Социально-экономическая. 2017. № 5. С. 78–82.

16 Данилов С.Ю., Родимцев С.А. Обзор и классификация источников трудового права, в применении к вопросам обучения и проверки знаний требований охраны труда работников организаций // Вестник сельского развития и социальной политики. 2020. № 2 (26). С. 54–61.

17 Ходневич А.И., Асад Е.В., Потоцкий В.Н. Опыт обучения охране труда в европейских странах // Материалы докладов 49 международной научно-технической конференции преподавателей и студентов. В 2 томах. 2016. С. 344–346.

18 Абильтарова Э.Н., Абитова Ш.Ю. Своевременное обучение в области охраны труда – путь к безопасному труду // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2018. № 3 (61). С. 246–251.

19 Полянская Н.М. Финансовая компетентность российских граждан – фактор национальной экономической безопасности // Global and Regional Research. 2019. Т. 1. № 2. С. 124–130.

20 Юсуфбеков Ю.Р. Важность развития финансовой компетентности в среде таджикских трудовых мигрантов // Экономика Таджикистана. 2019. № 4. С. 232–240.

21 Шимширт Н.Д., Копилевич В.В. Теоретические основы и проблемы реализации программ повышения финансовой грамотности студентов в вузах современных условиях // Global and Regional Research. 2019. Т. 1. № 4. С. 186–194.

22 Белехова Г.В., Калачикова О.Н. «Век живи – век учись»: концептуальный дискурс о финансовой грамотности населения // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2018. Т. 11. № 6. С. 143–162. doi: 10.15838/esc.2018.6.60.9.

23 Рассказова Ж.В. К вопросу о соотношении понятий «компетенция» и «компетентность» // Молодой ученый. 2014. № 7 (66). С. 536–538. URL: https://moluch.ru/archive/66/11008.

24 Oztemel E., Ozel S. Financial Competency Assessment Model // J Bus Fin Aff. 2018. V. 7. P. 317. doi: 10.4172/2167–0234.1000317

25 Blömeke S., Gustafsson J.E., Shavelson R.J. Beyond dichotomies: competence viewed as a continuum // Zeitschrift für Psychologie. 2015. V. 223. № 3–13. doi: 10.1027/2151–2604/a000194

26 Русакова О.И. Состояние и проблемы обязательного медицинского страхования в Российской Федерации // Baikal Research Journal. 2017. Т. 8, № 1. doi: 10.17150/2411–6262.2017.8(1).3

27 Агеева Е.В. Подходы к роли социальной защиты населения в жизни общества и современные вызовы, стоящие перед ней // Baikal Research Journal. 2017. Т. 8, № 2. doi: 10.17150/2411–6262.2017.8(2).33

28 Степанова М.Н. Риск неполучения дохода как объект управления частного домохозяйства // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2021. Т.10. № 1 (34). С. 309–312.

29 Степанова М.Н. Особенности возникновения и рассмотрения споров по вопросам обязательного социального страхования // Бизнес. Образование. Право. 2018. № 4 (45). С. 191–198.

30 Кислицына Л.В., Унтанов А.Б. Теоретические аспекты финансов домашних хозяйств // Известия Иркутской государственной экономической академии (Байкальский государственный университет экономики и права). 2015. Т. 6, № 2. URL: http://eizvestia.isea.ru/reader/article.aspx? id=20019 doi: 10.17150/2072–0904.2015.6(2).7

31 Агеева Е.В. Изменение роли пенсионных накоплений в системе обязательного пенсионного страхования // Известия Иркутской государственной экономической академии (Байкальский государственный университет экономики и права). 2015. Т. 25, № 3. С. 495–502.

References

1 Fürstenau B., Hommel M. Developing financial competence about mortgage loans by informal learning using banks' online calculators. Empirical Res Voc Ed Train. 2019. vol. 11. no. 10. doi: 10.1186/s40461–019–0085-z

2 Webber L.S., Reeve R.A., Kershaw M.M., Charlton J.L. Assessing Financial Competence. Psychiatry, Psychology and Law. 2002. vol. 9. no 2. pp. 248–256. doi: 10.1375/pplt.2002.9.2.248

3 Kershaw M.M., Webber L.S. Dimensions of Financial Competence. Psychiatry, Psychology and Law. 2004. vol. 11. no. 2. pp. 338–349. doi: 10.1375/pplt.2004.11.2.338

4 Mehrabi O., Omar R. Causes of Inattention on Financial Competency: A Qualitative Study. Financial Environment and Business Development. Springer, Cham, 2017. pp. 473-487. doi: 10.1007/978–3–319–39919–5_35

5 Gupta N.D. Are women falling behind in the new economy? Gender Gaps in new skills and competencies. Swedish Economic Policy Review. 2007. vol. 14. pp. 151–189.

6 Marson D.C. Loss of Financial Competency in Dementia: Conceptual and Empirical Approaches. Aging, Neuropsychology, and Cognition. 2001. vol. 8. no. 3. pp. 164–181. doi: 10.1076/anec.8.3.164.827

7 Dmitrieva N.O. Differentiation of the concepts of financial literacy and financial competence. Market transformation of the Russian economy: problems, prospects, ways of development. International Scientific and Practical Conference. 2018. pp. 105–107. (in Russian).

8 Rubtsova O.L., Sycheva I.A. Financial competence of a teacher as an element of the formation of financial literacy of a student. Problems of modern pedagogical education. 2018. no. 60–2. pp. 304–307. (in Russian).

9 Volkodavova E.V., Zhabin A.P. Investigation of the dynamics of financial competence of entrepreneurs in the context of globalization and digitalization of the economy. Problems of enterprise development: theory and practice. 2018. no. 2. pp. 235–242. (in Russian).

10 Silina S.N., Stupin V.Yu. From financial literacy to financial culture. Bulletin of the Baltic Federal University named after I. Kant. Ser.: Philology, pedagogy, psychology. 2017. no. 4. pp. 71–79. (in Russian).

11 Kuzina O.E. Financial competence of Russians: results of an international comparative study. Money and credit. 2015. no. 5. pp. 64–68. (in Russian).

12 Kuzina O.E. Financial literacy and financial competence: definition, measurement methods and analysis results in Russia. Economic issues. 2015. no. 8. pp. 129–148. (in Russian).

13 Meleshenko E.G. Raising the level of pension literacy of citizens of the Russian Federation. Fundamental and applied scientific research: materials of the International Scientific and Practical Conference. SIC "Volga Scientific Corporation". Ed. coll.: R.R. Gallyamov, A.A. Beltzer, Yu. A. Kuznetsova, O.A. Podkopaev. 2017. pp. 101–102. (in Russian).

14 Balynin I.V. Improving the pension literacy of Russians in the context of an information explosion // Russia in the XXI century: global challenges and development prospects. Proceedings of the VIII International Conference. the forum. 2019. pp. 144–149. (in Russian).

15 Domracheva T.V. Information and explanatory work on improving pension literacy. Trudy Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Series: Socio-economic. 2017. no. 5. pp. 78–82. (in Russian).

16 Danilov S.Y., Rodimtsev S.A. Overview and classification of sources of labor law, as applied to the training and testing of knowledge of occupational safety and health requirements of the employees of the organizations. Journal of rural development and social policy. 2020. no. 2 (26). pp. 54–61. (in Russian).

17 Khodnevich A.I., Asad E.V., Pototsky V.N. Experience of training in labor protection in European countries. Materials of reports of the 49th International scientific and technical conference of teachers and students. In 2 volumes. 2016. pp. 344–346. (in Russian).

18 Abiltarova E.N., Abitova Sh. Yu. Timely training in the field of labor protection – a path to safe labor. Scientific notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University. 2018. no. 3 (61). pp. 246–251. (in Russian).

19 Polyanskaya N.M. Financial competence of Russian citizens – a factor of national economic security. Global and Regional Research. 2019. vol. 1. no. 2. pp. 124–130. (in Russian).

20 Yusufbekov Yu.R. The importance of developing financial competence among Tajik labor migrants. Economy of Tajikistan. 2019. no. 4. pp. 232–240. (in Russian).

21 Shimshirt N.D., Kopilevich V.V. Theoretical foundations and problems of implementing programs to improve financial literacy of students in modern universities. Global and Regional Research. 2019. vol. 1. no. 4. pp. 186–194. (in Russian).

22 Belekhova G.V., Kalachikova O.N. "Vek zhivi-vek uchis": conceptual discourse on financial literacy of the population. Economic and social changes: facts, trends, forecast. 2018. vol. 11. no. 6. pp. 143–162. doi: 10.15838/esc. 2018. 6. 60. 9. (in Russian).

23 Rasskazova Zh. V. On the question of the correlation of the concepts of "competence" and "competence". 2014. no. 7 (66). pp. 536–538. Available at: https://moluch.ru/archive/66/11008 (in Russian).

24 Oztemel E., Ozel S. Financial Competency Assessment Model. J Bus Fin Aff. 2018. vol. 7. pp. 317. doi: 10.4172/2167–0234.1000317

25 Blömeke S., Gustafsson J.E., Shavelson R.J. Beyond dichotomies: competence viewed as a continuum. Zeitschrift für Psychologie. 2015. vol. 223. no. 3–13. doi: 10.1027/2151–2604/a000194

26 Rusakova O.I. The state and problems of compulsory medical insurance in the Russian Federation. Baikal Research Journal. 2017. vol. 8. no. 1. doi: 10.17150/2411–6262.2017.8(1).3 (in Russian).

27 Ageeva E.V. approaches to the role of social protection in society and the contemporary challenges facing it. Baikal Research Journal. 2017. vol. 8. no. 2. doi: 10.17150/2411–6262.2017.8(2).33 (in Russian).

28 Stepanova M.N. The risk of loss of income as a control object of private household. Azimuth of scientific research: Economics and management. 2021. vol. 10. no. 1 (34). pp. 309–312. (in Russian).

29 Stepanova M.N. Features of the emergence and consideration of disputes on issues of mandatory social insurance. Business. Education. Right. 2018. no. 4 (45). pp. 191–198. (in Russian).

30 Kislitsyna L.V., Untanov A.B. Theoretical aspects of household finance. Izvestiya Irkutsk State Economic Academy (Baikal State University of Economics and Law). 2015. vol. 6. no. 2. Available at: http://eizvestia.isea.ru/ reader/article.aspx? id=20019. doi: 10.17150/2072–0904.2015.6(2).7. (in Russian).

31 Ageeva E.V. Changing the role of pension savings in the system of mandatory pension insurance. Proceedings of the Irkutsk State Economic Academy (Baikal State University of Economics and Law). 2015. vol. 25. no. 3. pp. 495–502. (in Russian).

Сведения об авторах

Марина Н. Степанова к.э.н., доцент, кафедра финансов и финансовых институтов, Байкальский государственный университет, ул. Ленина, 11, г. Иркутск, 664003, Россия, emarina77@list.ru
https://orcid.org/0000-0001-9776-1129

Information about authors

Marina N. Stepanova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, finance and financial institutions department, Baikal State University, Lenin st., 11 Irkutsk, 664003, Russia, emarina77@list.ru
https://orcid.org/0000-0001-9776-1129

Вклад авторов

Марина Н. Степанова написала рукопись, корректировала еѐ до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Marina N. Stepanova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Поступила 28/01/2021 **После редакции** 17/02/2021 **Принята в печать** 03/03/2021

Received 28/01/2021 **Accepted in revised** 17/02/2021 **Accepted** 03/03/2021