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

2022

№ 2

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

2022, Том. 84, № 2

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В 1938 ГОДУ
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД

Воронеж
2022

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

2022, Vol. 84, No. 2

SCIENTIFIC AND THEORETICAL JOURNAL

FOUNDED IN 1938
COMES 4 TIMES PER YEAR

Voronezh
2022

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, профессор кафедры 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, зав. кафедрой машин и аппаратов пищевых производств, 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, заведующий 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

МБАРГА МАНГА ДЖОЗЕФ АРСЕН магистр агрономии, научный сотрудник кафедры микробиологии и вирусологии, Российский университет дружбы народов (Москва, Россия) ORCID: 0000-0001-9626-9247

МИРОНЕСКУ МОНИКА доктор наук, доцент, факультет сельскохозяйственных наук, пищевой промышленности и охраны окружающей среды, Университет «Лучиан Блага» (Сибиу, Румыния) ORCID: 0000-0002-0515-475X

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, профессор кафедры сервиса и ресторанного бизнеса, декан факультета экономики и управления, Воронежский государственный 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 13.06.2022. Подписано в печать 24.06.2022
Выход в свет: 29.06.2022
Формат 70×100 1/8.
Усл. печ. л. 54 Тираж 1500 экз. Заказ.
Цена – свободная.

© ФГБОУ ВО «Воронеж. гос. ун-т инж. технол.», 2022

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, Professor of the Department of Machines and Apparatuses of Food Production, 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. Head of the Department of Machines and Apparatuses of Food Production, 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, 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

MBARGA MANGA JOSEPH ARSENE master of Science in Agronomy, Researcher in the Department of Microbiology and Virology, People's Friendship University of Russia (Mocow, Russia) ORCID: 0000-0001-9626-9247

MIRONESCU MONICA PhD, Associate Professor, Faculty of Agricultural Sciences, Food Industry and Environmental Protection, Lucian Blaga University of Sibiu (Sibiu, Romania) ORCID: 0000-0002-0515-475X

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., Professor 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 13.06.2022. Signed to print 24.06.2022
The publication:29.06.2022
Format 70×100 1/8.
Conditional Print l. 20 Circulation 1500 copies.
Price - Free.

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

CONTENTS

PROCESSES AND APPARATUSES OF FOOD ENGINEERING

Kosachev V.S., Ostrikov A.N., Yashonkov A.A. Mathematical modeling of snacks drying process from minced fish in a fluidized bed **17**

Alexeev G.V., Shanin V.A., Birchenko A.A., Kravtcova E.V., Goncharov M.V. Improving the performance of equipment for countercurrent extraction on the basis of process simulation **27**

Shishatskii Yu.I., Nickel S.A., Derkanosova A.A., Tolstov S.A., Panchenko S.L. Improving the efficiency of cooling towers in the water cycle **34**

Gulyaeva A.N, Baharev V.V. Analysis of inventions, products, technologies and equipment for the extrusion process of plant raw material **39**

FOOD BIOTECHNOLOGY

Fatkullin R.I., Kalinina I.V., Popova N.V., Naumenko N.V., Naumenko E.E. Development of a yogurt with antioxidant properties based on the use of encapsulated taxifolin **46**

Melnikova E.I. Stanislavskaia E.B., Shabalova E.D. Functional and technological properties of thermostable whey protein concentrate **52**

Gorlova A.I., Ilyina A.M. The physiological role of lactose in native and hydrolyzed milk: a review **57**

Vasyukova A.T., Krivoshonok K.V., Aleshkina S.V., Sharova T.N., Karpov V.I., Zangieva S.V. Functional fish products with jerusalem artichoke **62**

Vasyukova A.T., Kusova I.U., Edvars R.A., Lyubimova K.V., Grigoryan A.E., Vasilievich N.V. Functional and technological properties of meat semi-finished products with BAA **71**

Golubev A.A., Sereda A.S., Dunchenko N.I. Pollock liver oil extraction using a new enzyme obtained from the *Aspergillus oryzae* strain **78**

Vorobyov V.I., Chernega O.P., Berseneva A.R. The use of hydrobiont collagen in the production of products based on minced fish **84**

Smorodinskaya S.V., Gribkova V.A., Alekseev A.E., Glebova I.A. Lycopene extract as a functional nutrition component in yeast dough bakery **93**

Fedorova A.M., Drozdova M.Yu., Milentyeva I.S., Minina V.I. The effect of biologically active substances of thyme (*Thymus vulgaris L.*) on the growth of yeast cells **101**

Pitkin V.A., Sinko O.V., Khripko I.A. The role of nutrition in student life **110**

Dolmatova I.A., Gorelik O.V., Zaitseva T.N., Bessonova Ju.A., Ryabova V.F. Combined semi-finished poultry meat products formulation **115**

Pitkin V.A., Shabelny A.P. Nutritional features of weightlifters **122**

Kalinovskaya T.V., Omelchuk V.I., Gavrilov A.V. Study of the influence of technological factors on the change in the structural and mechanical properties of protracted aerated candy masses based on whey proteins **128**

Myasishcheva N.V. Formation of criteria for the selection of varieties of black currant by biochemical and technological potential for use in the production technology of jelly products **135**

Lytkina L.I., Shentsova E.S., Kurchaeva E.E., Torshina A.A. Preparation of stem vegetable raw materials in the production of briquetted feed mixtures **142**

Drannikov A.V., Shevtsov A.A., Dombrovskaya Ya.P., Derkanosova A.A., Kitaev D.S., Kleymenova N.L. Methods of obtaining hypericaceae herb extract for the food industry **147**

Zheltoukhova E.Yu., Tronza P.A., Terekhina A.V. Optimization of the technology of high-viscosity liquid media using waste products from the oil and fat industry **152**

Polonskiy V.I., Sumina A.V. Evaluation of barley accessions on the content of antioxidants in grain in the conditions of Eastern Siberia **162**

Shmal′ko N.A., Nikitin I.A., Velina D.A., Khayrullin M.F. Exponential smoothing of dynamic series liquefaction number of corn starch mixture **170**

Shmal'ko N.A., Nikitin I.A., Velina D.A., Khayrullin M.F. Analytical time series alignment liquefaction number of corn starch mixture **179**

Kuizheva S.K., Shalyakhov A.A., Siyukhov Kh.R., Tazova Z.T., Lunina L.V. Development of a composition of functional plant raw materials for the prevention of diseases associated with potassium deficiency **191**

Magomedov G.O., Plotnikova I.V., Litvinova A.A., Magomedov M.G., Plotnikov V.E. Technological aspects of the preparation of jelly marmalade of reduced sugar content and caloric content using a natural carbohydratecontaining product **200**

CHEMICAL TECHNOLOGY

Lebedeva A.V., Vu T.H.N., Olekhnovich R.O., Morozkina S.N., Uspenskaya M.V. Investigation of the fabrication of nanofibers from aqueous polyvinyl alcohol solutions by electrospinning **210**

Elrafie A.A. Allah, Yasir A. Mohamed, A. Elhameed. M.O. Kasif, Salah Aldeen A. M. Simulation of municipal solid waste gasification in fixed bed reactor **221**

Berengarten M.G., Kozin Yu.V. Experimental study of the flow structure in packed tray-type column extractors **228**

Agayev B.S., Abdullayeva M.Ya. Harmful effects of e-waste on human health **234**

Meshalkin V.P., Babakov E.A. Improvement of the adsorption-absorption vapor recovery unit for cleaning the gas-air mixture from volatile organic compounds and hydrogen sulfide when loading naphtha on marine tankers **243**

Studenikina L.N., Domoreva S.Yu., Golenskikh Yu.E., Matveeva A.V., Melnikov A.A. Increasing the strength and water resistance of materials based on poly-vinyl alcohol with boric acid **249**

Soloviev M.E., Vlasov V.V., Pushnitsa A.S., Karmanova O.V. Quantumchemical modeling of reactions initiating sulfuric vulcanization of isoprene rubber **256**

Kosenko E.A. Evaluation of fatigue strength of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) with various types of hybrid matrices **262**

Talalai V.V., Borisova N.V., Artemenko A.A., Vasiliev Y.E. Modification of mineral filler with organosilanes in a polymer composition for road marking **269**

Yartseva T.A., Karmanova O.V., Mikhaleva N.A., Tkachev A.V. The use of modified "neodymium" polybutadiene in the formulation of the outer lining of conveyor belts **276**

Kosenko E.A. Evaluation of the stiffness index of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) with a hybrid matrix **282**

ECONOMICS AND MANAGEMENT

Plotnikova R.N. Ecological and economic assessment of violations of regulatory requirements for the protection of water bodies **290**

Glagoleva L.E., Zatsepilina N.P., Kovaleva E.N., Zatsepilina L.S., Sandberg A.B., Sekhniev M.E. Economic prospects of PR communications in the field of tourism **298**

Nuzhdin R.V., Khorev A.I., Karpovich M.A., Lukina O.O., Melnichuk V.N. Evaluation of labor productivity by value added criterion **305**

Denisova Ya.V., Petrova A.S., Sopin V.F. Optimization of the production process through the introduction of lean production methods **315**

Orekhova N.V., Kudryavtseva N.N., Pakhomova Yu.V., Duvanova Yu.N. Analysis of the build-up of the military power of the state **324**

Armashova-Telnik G.S., Bobovich T.A. Analysis of the preferential effects of the use of asynchronous electric motors in the industrial sector **329**

Sibirskaya E.V., Oveshnikova L.V., Pasynkova O.M. Russia's digital economy: an analysis of the pandemic period of the national and regional economy **334**

Lukinova O.A., Popova S.V., MoiseevaV.M., Pluzhnikova N.V., Apalihina O.A. Formation of competitive advantages of the Russian and regions economy in industry **345**

Gorkovenko E.V., Platonova I.V., Rogova E.A. The state of regional economic security and the directions of its provision **357**

Armashova-Telnik T.S. Key issues of energy consumption in Russian industrial regions **368**

Slepokurova Ju.I., Zharkova I.M., Efremov D.P., Plotnikova I.V., Vasilenko I.N., Ivanchikov D.S. Assessment of economic feasibility and market prospects for the production of flour products with the addition of flax seeds and clarified tomato juice **374**

Eder A.V. Information technology in agriculture: import substitution, economic challenges and technological alternatives **387**

Kuznetsov I.E., Zakurdaeva E.I., Brazhnikov K.A., Matukhnova K.V., Stupnikova D.A. Assessment of the current state of the domestic feed market in the new economic reality **394**

Anisimov Yu.P., Kuksova I.V., Gubertov E.A., Zhilnikov A.Yu., Igolkin I.S. Optimization of investment resource flows for the development of innovative activities at the enterprise **400**

Podmolodina I.M., Kolesnikova E.Yu., Kolomytseva O.Yu. Assessment of the impact of investment attractiveness on the economic security of the region **407**

Shishkina N.V., Sabetova T.V. Saving Behavior as an Integral Element of the Individual's Economic Behavior **413**

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Косачев В.С., Остриков А.Н., Яшонков А.А. Математическое моделирование процесса сушки снеков из фарша бычка азовского в псевдоожиженном слое **17**

Алексеев Г.В., Шанин В.А., Бирченко А.А., Кравцова Е.В., Гончаров М.В. Совершенствование работы оборудования для противоточной экстракции на основе моделирования процесса **27**

Шишацкий Ю.И., Никель С.А., Дерканосова А.А., Толстов С.А., Панченко С.Л. Повышение эффективности работы градирен в водооборотном цикле **34**

Гуляева А.Н., Бахарев В.В. Анализ изобретений, продуктов, технологий и оборудования процесса экструзии растительного сырья **39**

ПИЩЕВАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

Фаткуллин Р.И., Калинина И.В., Попова Н.В., Науменко Н.В., Науменко Е.Е. Разработка йогурта с антиоксидантными свойствами на основе использования инкапсулированного таксифолина **46**

Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б., Шабалова Е.Д. Функционально-технологические свойства термостабильного концентрата сывороточных белков **52**

Горлова А.И, Ильина А.М. Физиологическая роль лактозы нативного и гидролизованного молока **57**

Васюкова А.Т., Кривошонок К.В., Алешкина С.В., Шарова Т.Н., Карпов В.И., Зангиева С.В. Функциональные рыбные изделия с топинамбуром **62**

Васюкова А.Т., Кусова И.У., Эдварс Р.А., Любимова К.В., Григорян А.Э., Василиевич Н.В. Функционально-технологические свойства мясных полуфабрикатов с БАД **71**

Голубев А.А., Середа А.С., Дунченко Н.И. Выделение жира из печени минтая с помощью нового ферментного препарата на основе штамма *Aspergillus oryzae* **78**

Воробьев В.И., Чернега О.П., Берсенева А.Р. Применение коллагена гидробионтов в производстве продукции на основе рыбного фарша **84**

Смородинская С.В., Грибкова В.А., Алексеев А.Е., Глебова И.А. Применение экстракта ликопина как компонента функционального питания в хлебобулочных изделиях из дрожжевого теста **93**

Федорова А.М, Дроздова М.Ю., Милентьева И.С., МининаВ.И. Влияние биологически активных веществ тимьяна обыкновенного (*Thymus vulgaris L.*) на рост дрожжевых клеток **101**

Питкин В.А., Синько О.В., Хрипко И.А. Роль правильного питания в жизни студента **110**

Долматова И.А., Горелик О.В., Зайцева Т.Н., Бессонова Ю.А., Рябова В.Ф. Разработка рецептуры комбинированных полуфабрикатов из мяса птицы **115**

Питкин В.А., Шабельный А.П. Особенности питания тяжелоатлетов **122**

Калиновская Т.В., Омельчук В.И, Гаврилов А.В. Исследование влияния технологических факторов на изменение структурно-механических свойств затяжных аэрированных конфетных масс на основе сывороточных белков **128**

Мясищева Н.В. Формирование критериев отбора сортов смородины черной по биохимическому и технологическому потенциалу для использования в технологии производства желейных продуктов **135**

Лыткина Л.И., Шенцова Е.С., Курчаева Е.Е., Торшина А.А. Подготовка стебельного растительного сырья при производстве брикетированных кормовых смесей **142**

Дранников А.В., Шевцов А.А., Домбровская Я.П., Дерканосова А.А., Китаев Д.С., Клейменова Н.Л. Способы получения экстракта травы зверобоя для пищевой промышленности **147**

Желтоухова Е.Ю., Тронза П.А., Терёхина А.В. Оптимизация технологии высоковязких жидких сред с использования отходов масложировой промышленности **152**

Полонский В.И., Сумина А.В. Оценка образцов ячменя по содержанию антиоксидантов в зерне в условиях Восточной Сибири **162**

Шмалько Н.А., Никитин И.А., Велина Д.А., Хайруллин М.Ф. Экспоненциальное сглаживание динамического ряда числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси **170**

Шмалько Н.А., Никитин И.А., Велина Д.А., Хайруллин М.Ф. Аналитическое выравнивание временного ряда числа разжижения кукурузной крахмальной смеси **179**

Куижева С.К., Схаляхов А.А., Сиюхов Х.Р., Тазова З.Т., Лунина Л.В. Разработка композиции растительного сырья функционального назначения для профилактики заболеваний, связанных с дефицитом калия **191**

Магомедов Г.О., Плотникова И.В., Литвинова А.А., Магомедов М.Г., Плотников В.Е. Технологические аспекты приготовления желейного мармелада пониженной сахароемкости и калорийности с использованием натурального углеводосодержащего продукта **200**

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Лебедева А.В., Ву Т.Х.Н., Олехнович Р.О., Морозкина С.Н., Успенская М.В. Исследование получения нановолокон из водных растворов поливинилового спирта методом электроспиннинга **210**

Elrafie A.A. Allah, Yasir A. Mohamed, A. Elhameed. M.O. Kasif, Salah Aldeen A. M. Simulation of municipal solid waste gasification in fixed bed reactor **221**

Беренгартен М.Г., Козин Ю.В. Экспериментальное изучение структуры потоков в тарельчато-насадочных колонных экстракторах **228**

Агаев Б.С., Абдуллаева М.Я. Вредное воздействие электронных отходов на здоровье человека **234**

Мешалкин В.П., Бабаков Е.А. Совершенствование адсорбционноабсорбционной установки очистки газовоздушной смеси от легких органических соединений и сероводорода при погрузке нафты на морские танкеры **243**

Студеникина Л.Н., Доморева С.Ю., Голенских Ю.Е., Матвеева А.В., Мельников А.А. Повышение прочности и водостойкости материалов на основе поливинилового спирта с помощью борной кислоты **249**

Соловьев М.Е., Власов В.В., Пушница А.С., Карманова О.В. Квантово-химическое моделирование реакций инициирования серной вулканизации изопренового каучука **256**

Косенко Е.А. Оценка усталостной прочности углепластиков с различными типами гибридных матриц **262**

Талалай В.В., Борисова Н.В., Артеменко А.А., Васильев Ю.Э. Модификация минерального наполнителя органосиланами в полимерной композиции для дорожной разметки **269**

Ярцева Т.А., Карманова О.В., Михалева Н.А., Ткачев А.В. Использование модифицированного «неодимового» полибутадиена в рецептуре обкладки конвейерных лент **276**

Косенко Е.А. Оценка показателя жесткости углепластиков с гибридной матрицей **282**

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Плотникова Р.Н. Эколого-экономическая оценка нарушения нормативных требований по охране водных объектов **290**

Глаголева Л.А., Зацепилина Н.П., Ковалева Е.Н., Зацепилина Л.С., Сандберг А.Б., Сехниев М.Е. Экономические перспективы PRкоммуникаций в сфере туризма **298**

Нуждин Р.В., Хорев А.И., Карпович М.А., Лукина О.О., Мельничук В.Н. Оценка результативности труда по критерию добавленной стоимости **305**

Денисова Я.В., Петрова А.С., Сопин В.Ф. Оптимизация производственного процесса путем внедрения методов бережливого производства **315**

Орехова Н.В., Кудрявцева Н.Н., Пахомова Ю.В., Дуванова Ю.Н. Анализ наращивания военной мощи государства **324**

Армашова-Тельник Г.С., Бобович Т.А. Анализ преимущественных эффектов применения асинхронных электродвигателей в промышленном секторе **329**

Сибирская Е.В., Овешникова Л.В., Пасынкова О.М. Цифровая экономика России: анализ пандемийного периода национальной и региональной экономики **334**

Лукинова О.А., Попова С.В., Моисеева В.М., Плужникова Н.В., Апалихина О.А. Формирование конкурентных преимуществ экономики России и регионов в промышленности **345**

Горковенко Е.В., Платонова И.В., Рогова Е.А. Состояние экономической безопасности региона и направления ее обеспечения **357**

Армашова-Тельник Т.С. Ключевая проблематика энергопотребления российских промышленных регионов **368**

Слепокурова Ю.И., Жаркова И.М., Ефремов Д.П., Плотникова И.В., Василенко И.Н., Иванчиков Д.С. Оценка экономической целесообразности и рыночной перспективы производства мучных изделий с добавлением семян льна и осветленного томатного сока **374**

Эдер А.В. Информационные технологии в АПК: импортозамещение, экономические вызовы и технологические альтернативы **387**

Кузнецов И.Е., Закурдаева Е.И., Бражников К.А., Матухнова К.В., Ступникова Д.А. Оценка современного состояния отечественного рынка комбикормов в условиях новой экономической реальности **394**

Анисимов Ю.П., Куксова И.В., Губертов Е.А., Жильников А.Ю., Иголкин И.С. Оптимизация потоков инвестиционных ресурсов для развития инновационной деятельности на предприятии **400**

Подмолодина И.М., Колесникова Е.Ю., Коломыцева О.Ю. Оценка влияния инвестиционной привлекательности на экономическую безопасность региона **407**

Шишкина Н.В., Сабетова Т.В. Сберегательное поведение как интегральный элемент экономического поведения индивида **413**

Процессы и аппараты пищевых производств

Processes and devices for food production

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-17-26 Оригинальная статья/Research article

УДК 664.8/.9:636.085.55 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Математическое моделирование процесса сушки снеков из фарша бычка азовского в псевдоожиженном слое

Вячеслав С. Косачев [1] vs.kosachev@gmail.com 0000-0002-2582-8547
Александр Н. Остриков [2] ostrikov27@yandex.ru 0000-0002-2335-0017
Александр А. Яшонков [3] jashonkov@rambler.ru 0000-0002-1431-679X

1 Кубанский государственный технологический университет, ул. Красная, 135, г. Краснодар, 350072, Россия
2 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
3 Керченский государственный морской технологический университет, ул. Орджоникидзе, д. 82, г. Керчь, 298309, Республика Крым, Россия

Аннотация. Предложена математическая модель процесса сушки снеков из фарша бычка азовского в псевдоожиженном слое с распределенными параметрами процесса теплообмена между поверхностью анизотропного тела и окружающей средой. Рассмотрено решение задачи нестационарной теплопередачи путем теплопроводности с использованием метода Галёркина. Пробные и поверочные функции используемого метода, реализованные в среде инженерных расчетов PTC MathCAD линейно независимы, представляют собой первые элементы полной системы полиномиальных функций и удовлетворяют граничным и начальным условиям. Проведены теоретические и экспериментальные исследования, которые позволяют рассмотреть процесс сушки снеков из фарша бычка азовского в псевдоожиженном слое и научно обосновать варианты его совершенствования. По результатам экспериментальных исследований показана адекватность полученной математической модели. Доказано, что при равномерном начальном распределении температуры в процессе предварительного прогрева температурная неоднородность возрастает вплоть до момента фазового перехода на поверхности высушиваемого объекта. Установлена важность учета фазы предварительного прогрева влажного материала, так как на этой стадии формируется температурный профиль, отличающийся значительной неоднородностью. Это особо важно, так как температурная неоднородность непосредственно влияет на качество пищевого продукта. Подтверждена возможность учета анизотропии в процессах теплообмена при использовании объемной математической модели переноса с распределенными параметрами. Разработанная методика позволяет значительно увеличить точность решения анизотропной краевой задачи, путем замены операции интегрирования элементов матриц жесткости системой дифференциальных уравнений алгебраическими формулами.

Ключевые слова: сушка, снеки, рыбный фарш, математическое моделирование, метод Галёркина, псевдоожиженный слой

Mathematical modeling of snacks drying process from minced fish in a fluidized bed

Vyacheslav S. Kosachev [1] vs.kosachev@gmail.com 0000-0002-2582-8547
Alexander N. Ostrikov [2] ostrikov27@yandex.ru 0000-0002-2335-0017
Alexandr A. Yashonkov [3] jashonkov@rambler.ru 0000-0002-1431-679X

1 Kuban State Technological University, 350072, Krasnodar Krai, Krasnodar, Moskovskaya str., 2.
2 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
3 Kerch State Maritime Technological University, Ordzhonikidze str. 82, Kerch, 298309, Republic of Crimea, Russia

Abstract. A mathematical model of snacks drying process from minced fish in a fluidized bed with distributed parameters of the heat exchange process between the surface of an anisotropic body and the environment is proposed. The solution of the problem of non-stationary heat transfer by heat conduction using the Galerkin method is considered. The trial and verification functions of the method used, implemented in the PTC MathCAD engineering calculation environment, are linearly independent, represent the first elements of a complete system of polynomial functions and satisfy the boundary and initial conditions. Theoretical and experimental studies have been carried out, which allow considering the process of drying snacks from minced fish in a fluidized bed and scientifically substantiate options for its improvement. According to the results of experimental studies, the adequacy of the obtained mathematical model is shown. It is proved that with a uniform initial temperature distribution during preheating, the temperature inhomogeneity increases up to the moment of a phase transition on the surface of dried object. The importance of taking into account the preheating phase of wet material is established, since at this stage a temperature profile is formed, which is characterized by significant heterogeneity. This is especially important, since temperature heterogeneity directly affects the quality of the food product. The possibility of taking into account anisotropy in heat transfer processes using a three-dimensional mathematical model of transport with distributed parameters is confirmed. The developed technique allows significantly increasing the accuracy of an anisotropic boundary value problem solving by replacing the operation of integrating the stiffness matrix elements with a system of differential equations by algebraic formulas.

Keywords: drying, snacks, minced fish, mathematical modeling, Galerkin method, fluidized bed

Для цитирования

Косачев В.С., Остриков А.Н., Яшонков А.А. Математическое моделирование процесса сушки снеков из фарша бычка азовского в псевдоожиженном слое // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 17–26. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-17-26

For citation

Kosachev V.S., Ostrikov A.N., Yashonkov A.A. Mathematical modeling of snacks drying process from minced fish in a fluidized bed. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 17–26. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-17-2629

© 2022, Косачев В.С. и др. / Kosachev V.S. et al.

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

Введение

Для математического описания процесса сушки используют дифференциальные уравнения, которые с учетом принимаемых допущений не могут описать процесс с требуемой адекватностью [20]. Поэтому приходится прибегать к использованию моделей, описываемых дифференциальными уравнениями с разрывной правой частью [21].

Изучая влияние температуры на сушку кинетики средиземноморских мидий (*mytilus galloprovincilis*) в солнечной сушилке, работающей при принудительной конвекции, при трех температурах воздуха (50, 60 и 70 °С), была получена логарифмическая модель [19]:

$$MR = a \exp(-kt) + c, \quad (1)$$

где эмпирические коэффициенты рассчитывались по формулам:

$$a = 2.8293 - 0.06824 \cdot T + 6.54\ 10^{-4} \cdot T^2 \quad (2)$$

$$k = 0.047 - 0.00155 \cdot T + 1.5\ 10^{-5} \cdot T^2 \quad (3)$$

$$c = 2.6283 + 0.07502 \cdot T - 5.475\ 10^{-4} \cdot T^2 \quad (4)$$

Модель (1) показала высокую сходимость экспериментальных данных с коэффициентом корреляции (r) и самым низким значением пониженного хи-квадрата (χ^2), эффективное значение коэффициента диффузии $D_{эф}$ изменялось от $1.14\ 10^{-9}$ до $3.61\ 10^{-9}$ м^2/с.

В работе [22] рассмотрен процесс сушки вторичных продуктов разделки рыб, в которой используется метод, базирующийся на основе уравнений тепло- и влагопереноса А.В. Лыкова. Используя разработанную компьютерную программу на языке Object Pascal в интегрированной среде программирования Borland Delphi 7, был смоделирован процесс сушки продуктов из рыбы путем решения задачи тепло- и влагопереноса на кубической сетке с учетом комбинированной технологии нагрева (конвективный и СВЧ-нагрев). Задаваясь теплофизическими и геометрические параметрами структуры частей рыбы и СВЧ-источника, получены графики и картограммы пространственного распределения влажности и температуры.

Морепродукты, подвергаемые тепловой обработке (сушки, обжарки и варки) имеют высокую влажность [1]. При этом внутренняя и внешняя тепло- и массопередача описывается уравнениями с граничными условиями третьего рода. Математическое моделирование, в этом случае, связано с переходом к многомерной модели с распределенными параметрами [2]. При этом теплофизические коэффициенты изменяются скачкообразно на движущемся фронте поверхности испарения. Решение сопряженных краевых задач тепло- и массопередачи с движущейся границей особенно важно для моделирования таких интенсивных процессов [3], как обжарка, сушка, в которых внутренний процесс контролируется сопротивлениями перемещения массы и теплоты, а внешние сопротивления играют существенную роль при обмене массы и теплоты с окружающей паровоздушной средой. Успешное моделирование этого процесса позволяет предсказать не только скорость обезвоживания продукта, но и распределение температурного поля в материалах пищи, что особенно важно, так как непосредственно влияет на ее качество [4]. Температурное распределение является весьма существенным во многих процессах сушки, например, таких как, сушка замораживанием [5–7], паром [8] и воздухом [9]. При сушке воздухом температурным распределением в материале, обычно пренебрегают, так как критерий Био мал из-за низкого коэффициента теплопередачи в воздушной среде. При этом представленные в литературе для воздушной сушки температурные распределения в пределах материала предсказывают изменение в его влагосодержании эмпирическим способом [10–12]. Однако, как было показано для модели сушки распылением единичной капли [13], температурное распределение внутри материала не может игнорироваться даже в этом идеальном случае. Решение краевой задачи с подвижной границей фазового перехода, определяемого температурой кипения воды при жарке или сушке перегретым паром, температурой сублимации при сушке замораживанием и температурой мокрого термометра в процессе воздушной сушки или сушки распылением позволяет обобщить эти процессы.

Цель работы – провести математическое моделирование анизотропного процесса получения сушеных рыбных продуктов для усовершенствования способа сушки в сушилках псевдоожиженного слоя с учетом восстановления динамики температурных полей и полей влагосодержания на основе решения обратной задачи теплопроводности.

Материалы и методы

Объектом исследований является процесс сушки рыбного сырья на примере производства сушеных снеков из фарша бычка азовского (*Neogobius melanostomus*), представляющего собой сложный тепло массообменный процесс. Скорость его во многих случаях определяется скоростью внутри теплопереноса, определяющего условия испарения влаги в твердом теле. В случае высокоинтенсивных тепловых потоков, характерных для сушки рыбных продуктов в так называемом псевдоожиженном слое материала, когда под действием восходящего потока воздуха (сушильного агента) частицы слоя переходят во взвешенное состояние. Процесс в псевдоожиженном слое позволяет значительно увеличить поверхность контакта между частицами материала

и сушильным агентом, интенсифицировать испарение влаги из материала и сократить продолжительность сушки. Применение в сушилках псевдоожиженном слоя, позволяет улучшить перемешивание материала и тем самым в несколько раз повысить величину коэффициентов тепло- и массообмена. Решение классической задачи теплопроводности возможно с использованием критериев подобия, однако для анизотропных процессов их применение затруднительно. Для оценки параметров процессов тепло- и массообмена предлагается использование метода математического моделирования, позволяющего идентифицировать коэффициенты тепло- и массообмена, на основе решения обратной задачи нестационарного теплообмена при температурах выше 100ºС между поверхностью анизотропного тела и окружающей средой по закону Ньютона. Все процессы, связанные с переносом вещества, энергии и гидродинамические процессы описываются уравнениями Фика, Фурье и Ньютона [14]:

$$q_D = -D\frac{dc}{dx},$$
$$q_\lambda = -\lambda\frac{dT}{dx},$$
$$q_\eta = -\eta\frac{dV}{dx},$$

где D – коэффициент диффузии; c – концентрация; x – координата; λ – коэффициент теплопроводности; η – коэффициент вязкости; V – скорость движения потока.

Математическое моделирование нестационарного теплообмена для анизотропного тела в значительной степени затруднено из-за изменения теплофизических коэффициентов материала в процессе сушки. Предлагается для приближенного решения краевой задачи использовать метод Галёркина. Центральным элементом данного метода является весовая функция, выбираемая из семейства пробных поверочных и пробных функций из числа первых N функций некоторой полной системы, что является необходимым условием сходимости метода к точному решению при $N \to \infty$ (N – число слагаемых пробной функции).

В качестве исходного сырья для исследования процесса сушки рыбного сырья приняты кусочки из размороженного филе бычка азовского размером 10×7×5 мм, при равномерном начальном распределении температуры T_0 = const. В начальный момент времени продукт помещается в среду псевдоожиженного слоя с постоянной температурой $T_c > T_0$. Теплообмен между поверхностью кубика и окружающей средой происходит по закону Ньютона. Это отображает в первом приближении конвективный теплообмен, который позволяет обобщить описание процесса на краевые задачи первого рода, когда критерий Био стремится к бесконечности. Следовательно, процесс нагрева кусочков из размороженного филе бычка азовского может быть описан краевой задачей нагревания тела при граничных условиях как первого, так и третьего рода, при последующей идентификации модели по критерию Био в эксперименте. Отчасти это положение наглядно подтверждается наличием общих точек пересечения изотермических линий (рисунок 1) иллюстрирующих задачу теплопроводности:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \nabla^2(a \cdot T),$$
$$T(x, y, z, 0) = T_0, \qquad (5)$$
$$-(\nabla T)_п + H(T_c - T_п) = 0 \ (T_c > T_п),$$

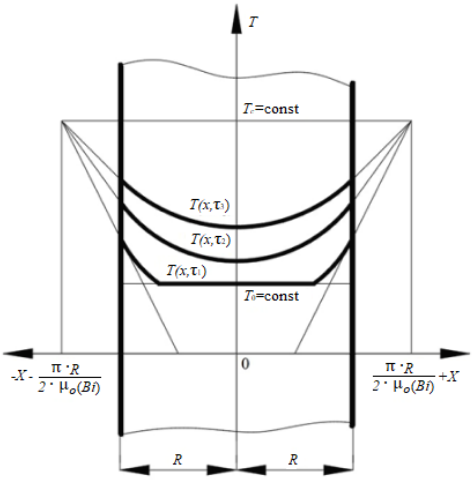


Рисунок 1. Распределение температуры в неограниченной пластине (симметричная задача)

Figure 1. Temperature distribution in an unbounded plate (symmetric problem)

В декартовой системе координат уравнение теплопроводности (5) может быть преобразовано к дифференциальному уравнению по главным осям теплопроводности анизотропных твердых тел

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a_x\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + a_y\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + a_z\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}, \qquad (6)$$

где a_x a_y, a_z – главные коэффициенты температуропроводности анизотропного тела.

В общем случае, количество теплоты dQ, отдаваемое потоком сушильного агента продукту определяют по закону теплоотдачи Ньютона [15]:

$$dQ = \alpha dF(t_1 - t_2)d\tau,$$

где α – коэффициент теплоотдачи; t_1, t_2 – температура сушильного агента и продукта соответственно.

В свою очередь, конвективный теплообмен описывается уравнением Фурье [15]:

$$\frac{dt}{d\tau} + \frac{dt}{dx}V_x + \frac{dt}{dy}V_y + \frac{dt}{dz}V_z = a\nabla^2 t, \qquad (7)$$

где V_x, V_y, V_z – скорости перемещения частицы в направлении осей соответственно x, y, z; $\nabla^2 t$ – оператор Лапласа.

Уравнение трехмерного нестационарного процесса теплопроводности Фурье (6), может быть аппроксимировано граничными условиями первого рода, при изменении характерного размера, которые предполагают приравнивание уравнения Фурье в пограничном слое внутри продукта к уравнению Ньютона в пограничном слое снаружи у поверхности продукта [15]. Рассмотрим постановку задачи (2), с учетом дальнейшей суперпозиции частных решений, в одномерном варианте неограниченной пластины, толщина которой равна *2·R*, м (рисунок 1). При начальном равномерном распределении температуры известно аналитическое решение [16] задачи (6) для одномерной задачи, проиллюстрированной на плоскости (неограниченная пластина), в зависимости от ориентации продольного сечения продукта, на основе суперпозиции этих решение можно получить модель анизотропного переноса тепла при обосновании процесса производства морепродуктов:

$$T(x,\tau,T_c,T_o,,Bi,R_x = T_o + (T_c - T_o) \times$$
$$\times \langle 1 - \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \frac{2 \cdot sin[\mu_n(Bi)]}{\mu_n(Bi) + sin[\mu_n(Bi)] \cdot cos[\mu_n(Bi)]} \cdot \right.$$
$$\left. cos\left[\mu_n(Bi) \cdot \frac{x}{R_x}\right] \cdot exp\left[-\mu_n(Bi)^2 \cdot \frac{a_x \cdot \tau}{R_x{}^2}\right] \right\} \rangle \qquad (8)$$

где $\mu_n(Bi)$ – корень характеристического уравнения аналитического решения (8); $ctg[\mu_n] = \mu_n/Bi$; Bi – критерий Био $Bi = \frac{\alpha \cdot R}{\lambda}$, характеризующий отношение интенсивности внешнего теплообмена к интенсивности внутреннего теплообмена; α – коэффициент теплообмена среды, Вт/(м^2·К); λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К).

На рисунке 1 представлена известная графическая интерпретация теплообмена граничной задачи третьего рода [17], используя которую предлагается заменить характерный размер ±R на $\pm \frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi)}$. Как видно из (3) температурные профили $T(x, \tau)$ для $\tau_1 < \tau_2 < \tau_3$ в неограниченной пластине имеют общие точки пересечения (рисунок 1) с координатами $\pm \frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi)}, T_c$. Этот факт позволяет рассматривать данную краевую задачу с граничными условиями третьего рода как краевую задачу с граничными условиями первого рода при замене области существования решения от – $R < x < R$ до области – $\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi)} < x < \frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi)}$. В этом случае возможно применение метода Галеркина для решения задачи нагревания анизотропного тела в условиях теплообмена по закону Ньютона. Приближенное решение ищется в области – $\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi)} < x < \frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi)}$, позволяющей удовлетворить однородным граничным условиям, что является обычно практикуемым приемом при реализации традиционного метода Галёркина. В этом случае для реализации метода Галёркина необходимо иметь численную оценку границы этой области от варьируемых параметров числа Био и полуширины объекта по главной оси теплопроводности (рисунок 2).

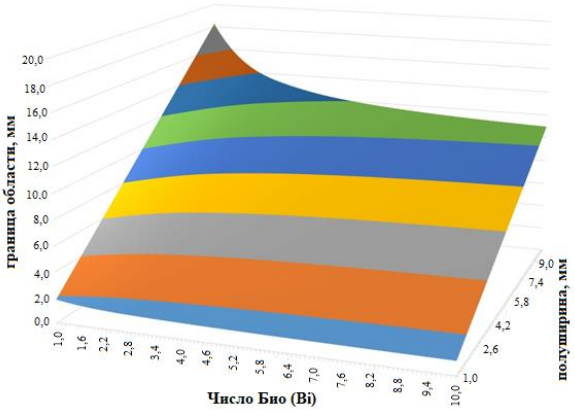


Рисунок 2. Двумерная сплайн интерполяция границы области существования решения от числа Био и полуширины объекта

Figure 2. Two-dimensional spline interpolation of the boundary of the domain of existence of the solution from the number of Bio and the half-width of the object

В этом методе предполагается, что неизвестная функция краевой задачи $T(x, y, z, \tau)$ уравнения теплообмена может быть представлена приближенным решением, образованным суммой элементов $\varphi(x, y, z, \tau, n)$ пробной функции, которые в данной работе представлены в следующем виде

$$\varphi(x,y,z,n) = b_n \cdot \left[1 - P\left(\frac{x}{\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}}\right)_{Q_{n,2}}\right] \cdot$$
$$\left[1 - P\left(\frac{y}{\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_y)}}\right)_{Q_{n,1}}\right] \cdot \left[1 - P\left(\frac{z}{\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_z)}}\right)_{Q_{n,0}}\right] \qquad (9)$$

где n – текущий номер элемента пробной функции, $n = 0, 1 \ldots, N$; N – общее число слагаемых пробной функции; $\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}, \frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_y)}, \frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_z)}$ – полугабариты длины ширины и высоты рабочей зоны теплового процесса, м; P – полиномиальная [функция, определяемая граничными условиями краевой задачи (1), первого рода на параллелепипеде области существования решения с габаритами $2\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)} \cdot 2\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_y)} \cdot 2\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_z)}$; Q – Булева матрица показателей степеней соответствующей полиномиальной функции (4); b_n – весовые коэффициенты пробной функции.

Решение подобного рода задач возможно путем математического моделирования с использованием PTC MathCAD [18]. В качестве примера рассмотрим реализацию метода Галёркина для одномерного варианта краевой задачи (1) в среде инженерных расчетов PTC MathCAD. Для определения весовых коэффициентов пробной функции b_n в начальный момент времени теплового процесса $\tau = 0$ используем матричное соотношение $B = M^{-1} \cdot V$, где элементы вектора V_I и матрицы $m_{i,j}$ определяются следующими выражениями:

$$v_i = \int_{-\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}}^{\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}} \left[1 - \left(\frac{x}{\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}}\right)^{2 \cdot i}\right] dx \qquad (10)$$

$$m_{i,j} = \int_{-\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}}^{\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}} \left[1 - \left(\frac{x}{\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}}\right)^{2 \cdot i}\right] \cdot \left[1 - \left(\frac{x}{\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}}\right)^{2 \cdot j}\right] dx \qquad (11)$$

Расчет элементов вектора (10) в среде инженерных расчетов PTC MathCAD для двухэлементной пробной функции может быть представлен в виде (здесь и далее расчетные формулы приведены в виде скрин-шотов решения поставленной задачи в среде PTC MathCAD):

$$\begin{aligned} &q \leftarrow \begin{pmatrix} 2 \\ 4 \end{pmatrix} \\ &\text{for } i \in 0..1 \\ &\quad x_i \leftarrow \int_{-\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}}^{\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}} \left[\left[1 - \left(\frac{x}{\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}}\right)^{q_{i,0}}\right]\right] dx \\ &x \end{aligned} \qquad \text{simplify} \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{3 \cdot \mu_o(Bi_x)} \\ \frac{4 \cdot \pi \cdot R}{5 \cdot \mu_o(Bi_x)} \end{pmatrix} \qquad (12)$$

Расчет элементов матрицы (12) в среде инженерных расчетов PTC MathCAD для двухэлементной пробной функции может быть представлен в виде:

$$\begin{aligned} &q \leftarrow \begin{pmatrix} 2 \\ 4 \end{pmatrix} \\ &\text{for } i \in 0..1 \\ &\quad \text{for } j \in 0..1 \\ &\quad\quad x_{i,j} \leftarrow \int_{-\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}}^{\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}} \left[\left[1 - \left(\frac{x}{\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}}\right)^{q_{i,0}}\right] \cdot \left[1 - \left(\frac{x}{\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}}\right)^{q_{j,0}}\right]\right] dx \\ &x \end{aligned} \qquad \text{simplify} \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{8 \cdot \pi \cdot R}{15 \cdot \mu_o(Bi_x)} & \frac{64 \cdot \pi \cdot R}{105 \cdot \mu_o(Bi_x)} \\ \frac{64 \cdot \pi \cdot R}{105 \cdot \mu_o(Bi_x)} & \frac{32 \cdot \pi \cdot R}{45 \cdot \mu_o(Bi_x)} \end{pmatrix} \qquad (13)$$

В этом случае весовые коэффициенты пробной функции b_n в начальный момент времени теплового процесса $\tau = 0$ определяются из (12) и (13) матричного соотношения B реализуемого следующим модулем

$$\begin{pmatrix} \frac{8 \cdot \pi \cdot R}{15 \cdot \mu_o(Bi_x)} & \frac{64 \cdot \pi \cdot R}{105 \cdot \mu_o(Bi_x)} \\ \frac{64 \cdot \pi \cdot R}{105 \cdot \mu_o(Bi_x)} & \frac{32 \cdot \pi \cdot R}{45 \cdot \mu_o(Bi_x)} \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{3 \cdot \mu_o(Bi_x)} \\ \frac{4 \cdot \pi \cdot R}{5 \cdot \mu_o(Bi_x)} \end{pmatrix} \text{simplify} \rightarrow \begin{pmatrix} -\frac{7}{4} \\ \frac{21}{8} \end{pmatrix} \qquad (14)$$

Из (14) следует независимость весовых коэффициентов пробной функции b_n от области $-\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi)} < x < \frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi)}$, позволяющей удовлетворить однородным граничным условиям.

В этом случае элементы матрицы переходного процесса D_x определяются следующим выражением:

$$d_{i,j} = \int_{-\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}}^{\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}} \left[1 - \left(\frac{x}{\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}}\right)^{2 \cdot i}\right] \cdot \frac{d^2}{dx^2}\left[1 - \left(\frac{x}{\frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \mu_o(Bi_x)}}\right)^{2 \cdot j}\right] dx, \qquad (15)$$

Расчет элементов D_x матрицы (15) в среде инженерных расчетов PTC MathCAD для двухэлементной пробной функции может быть представлен в виде:

$$\begin{vmatrix} q \leftarrow \begin{pmatrix} 2 \\ 4 \end{pmatrix} \\ \text{for } i \in 0..1 \\ \quad \text{for } j \in 0..1 \\ \quad\quad x_{i,j} \leftarrow \int_{-\frac{\pi\cdot R}{2\cdot\mu_o(Bi_x)}}^{\frac{\pi\cdot R}{2\cdot\mu_o(Bi_x)}} \left[\left[1-\left(\frac{x}{\frac{\pi\cdot R}{2\cdot\mu_o(Bi_x)}}\right)^{q_{i,0}}\right]\cdot\left[\frac{d^2}{dx^2}\left[1-\left(\frac{x}{\frac{\pi\cdot R}{2\cdot\mu_o(Bi_x)}}\right)^{q_{j,0}}\right]\right]\right] dx \\ x \end{vmatrix} \text{ simplify } \rightarrow \begin{pmatrix} -\frac{16\cdot\mu_o(Bi_x)}{3\cdot\pi\cdot R} & -\frac{32\cdot\mu_o(Bi_x)}{5\cdot\pi\cdot R} \\ -\frac{32\cdot\mu_o(Bi_x)}{5\cdot\pi\cdot R} & -\frac{64\cdot\mu_o(Bi_x)}{7\cdot\pi\cdot R} \end{pmatrix} \quad (16)$$

Используя элементы матрицы переходного процесса *D* определяемые соотношением (15) получаем систему обыкновенных дифференциальных уравнений, которая может быть решена численным методом, например, Эйлера реализуемым в виде матричной расчетной схемы

$$Y^{\langle t\rangle} = Y^{\langle t-1\rangle} + \left[a_x \cdot M^{-1} \cdot D_x \cdot Y^{\langle t-1\rangle}\right] \cdot \Delta\tau \qquad (17)$$

где $Y^{<t>}$ – столбец матрицы весовых коэффициентов временных проекций пробной функции на шаге численного интегрирования системы обыкновенных дифференциальных уравнений, полученных из одномерной краевой задачи.

Используя соотношения (12), (13) и (16) первый шаг численного интегрирования по схеме (17) может быть представлен модулем:

$$\begin{pmatrix} -\frac{7}{4} \\ \frac{21}{8} \end{pmatrix} + \left[a_x \cdot \begin{pmatrix} \frac{8\cdot\pi\cdot R}{15\cdot\mu_o(Bi_x)} & \frac{64\cdot\pi\cdot R}{105\cdot\mu_o(Bi_x)} \\ \frac{64\cdot\pi\cdot R}{105\cdot\mu_o(Bi_x)} & \frac{32\cdot\pi\cdot R}{45\cdot\mu_o(Bi_x)} \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} -\frac{16\cdot\mu_o(Bi_x)}{3\cdot\pi\cdot R} & -\frac{32\cdot\mu_o(Bi_x)}{5\cdot\pi\cdot R} \\ -\frac{32\cdot\mu_o(Bi_x)}{5\cdot\pi\cdot R} & -\frac{64\cdot\mu_o(Bi_x)}{7\cdot\pi\cdot R} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -\frac{7}{4} \\ \frac{21}{8} \end{pmatrix} \right] \cdot \Delta\tau \text{ simplify } \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{322\cdot a_x\cdot\Delta\tau\cdot\mu_o(Bi_x)^2}{\pi^2\cdot R^2} - \frac{7}{4} \\ \frac{21}{8} - \frac{294\cdot a_x\cdot\Delta\tau\cdot\mu_o(Bi_x)^2}{\pi^2\cdot R^2} \end{pmatrix} \quad (18)$$

Остальные временные проекции могут быть получены аналогично (18) из итерационной формулы (17). В теории сушки используется метод анализа тепломассообмена, основанный на 1 совместном рассмотрении конвективно-диффузионного переноса паров влаги и температуры в потоке теплоносителя. В предлагаемой модели учет изменения влажности продукта связывается с изменением температуры рыбного сырья приняты кубики из размороженного филе бычка азовского размером 7×7×7 мм, что требует перехода от одномерной модели к её объемной реализации, учитывающей возможность использования аналитических зависимостей расчета элементов матрицы и векторов используемого и описанного выше одномерного метода Галеркина в среде инженерных расчетов PTC MathCAD. В этом случае использована весовая функция из двух квадратичных функций $P_{2n}(x) := \begin{pmatrix} x^2 \\ x^4 \end{pmatrix}$ второго и четвертого порядка:

$$\phi(x, Bi_x, y, Bi_y, z, Bi_z, n) := \left(1 - P_{2n}\left(\frac{z}{L(Bi_z)}\right)_{Q_{n,0}}\right) \cdot \left(1 - P_{2n}\left(\frac{y}{L(Bi_y)}\right)_{Q_{n,1}}\right) \cdot \left(1 - P_{2n}\left(\frac{x}{L(Bi_x)}\right)_{Q_{n,2}}\right), \qquad (19)$$

где $L(Bi_x)$, $L(Bi_y)$, $L(Bi_z)$ – полу габариты области существования решения по трем главным осям теплопроводности, определяемые соотношением $\frac{\pi\cdot R}{2\cdot\mu_o(Bi)}$.

Булева матрица показателей степеней этих квадратичных функций (19) имеет следующий вид:

$$Q^T = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \qquad (20)$$

В этом случае весовые коэффициенты при квадратичных функциях, задаваемых Булевой матрицей (20) принимают следующие значения:

$$B^T = \left(-\frac{343}{64} \quad \frac{1029}{128} \quad \frac{1029}{128} \quad -\frac{3087}{256} \quad \frac{1029}{128} \quad -\frac{3087}{256} \quad -\frac{3087}{256} \quad \frac{9261}{512}\right) \qquad (21)$$

Матрицы переходного процесса, используемые для численного интегрирования краевой задачи (6) соответственно принимают следующий вид:

$$MD_x(Bi_x) := \frac{1}{2\cdot L(Bi_x)^2}\cdot\begin{pmatrix} 7 & 0 & 0 & 0 & 66 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7 & 0 & 0 & 0 & 66 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 & 66 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 & 66 \\ -\frac{21}{2} & 0 & 0 & 0 & -63 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{21}{2} & 0 & 0 & 0 & -63 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{21}{2} & 0 & 0 & 0 & -63 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{21}{2} & 0 & 0 & 0 & -63 \end{pmatrix} \quad (22)$$

$$MD_y(Bi_y) := \frac{1}{2\cdot L(Bi_y)^2}\cdot\begin{pmatrix} 7 & 0 & 66 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7 & 0 & 66 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{21}{2} & 0 & -63 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{21}{2} & 0 & -63 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 66 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 66 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{21}{2} & 0 & -63 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{21}{2} & 0 & -63 \end{pmatrix} \quad (23)$$

$$MD_z(Bi_z) := \frac{1}{2\cdot L(Bi_z)^2}\cdot\begin{pmatrix} 7 & 66 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{21}{2} & -63 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7 & 66 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{21}{2} & -63 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 66 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{21}{2} & -63 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 66 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{21}{2} & -63 \end{pmatrix} \quad (24)$$

где MD_x, MD_y, MD_z – матрицы переходного процесса по трем главным осям теплопроводности; Bi_x, Bi_y, Bi_z – числа Био по этим координатным осям.

Использование матрицы переходного процесса (16), (17) и (18) позволяет провести численное интегрирование весовых коэффициентов

$$Y^{\langle 0\rangle} := B \quad Y^{\langle t\rangle} := Y^{\langle t-1\rangle} + \left[a_x\cdot\left(MD_x\left(Bi_x\right)\cdot Y^{\langle t-1\rangle}\right) + a_y\cdot\left(MD_y\left(Bi_y\right)\cdot Y^{\langle t-1\rangle}\right) + a_z\cdot\left(MD_z\left(Bi_z\right)\cdot Y^{\langle t-1\rangle}\right)\right]\cdot\Delta\tau \quad (19)$$

Используемая итерационная схема численного интегрирования (19) позволяет получить решение задачи температурного поля (2) с приемлемой для инженерных расчетов точностью

$$\Psi\tau(x,y,z,t) := T_o + \left(T_c - T_o\right)\cdot\left[1 - \sum_{n=0}^{rows(Q)-1}\left[\left(Y^{\langle t\rangle}\right)_n\cdot\phi(x,Bi_x,y,Bi_y,z,Bi_z,n)\right]\right] \quad (25)$$

Используя выше изложенную расчетную схему краевой задачи (6) с граничными условиями третьего рода для моделирования предварительного прогрева влажного материала в процессе его тепловой обработки (20) до момента нагрева поверхности пластины выше температуры фазового перехода испарения влаги определили значения усредненной влажности в процессе испарительной сушки

$$W_{cp_\tau} = W_K + \frac{(W_H - W_K)\cdot\int_{-R}^{R}\int_{-R}^{R}\int_{-R}^{R}(\Phi(100^O C - \Psi\tau(x,y,z,\tau)))dx\,dy\,dz}{2\cdot R\cdot 2\cdot R\cdot 2\cdot R} \quad (26)$$

где $w_н$, $w_к$ – начальное и конечное влагосодержание материала в процессе испарительной сушки, Ф – функция Хевисайда.

Таким образом, использование интегрального показателя влагосодержания материала (21) позволяет идентифицировать параметры процесса испарительной сушки по изменению этого показателя во времени.

Результаты и обсуждение

В качестве исходного сырья для исследования процесса сушки рыбного сырья приняты кубики из размороженного филе бычка азовского размером 7×7×7 мм, характеризующегося следующими теплофизическими параметрами коэффициент теплопроводности a = 0,43 (Вт/(м·К), удельная теплоемкость c = 3670 (Дж/(кг·К) и плотность ρ = 930 кг/м^3. В результате идентификации математической модели с использованием экспериментальных данных были получены следующие зависимости изменения влагосодержания и температуры материала в процессе сушки (рисунок 3).

Использование расчетной схемы краевой задачи (6) с граничными условиями третьего рода для идентификации параметров модели процесса сушки основано на численном интегрировании с использованием матриц переходного процесса (16), (17) и (18), Учитывая полученные значения (22) коэффициентов температуропроводности с учетом геометрии объекта получаем возможность построить изменения влагосодержания в процессе испарительной сушки (рис. 3) от параметров идентификации модели – координатных чисел Био (Bi_x, Bi_y, Bi_z) и коэффициентов температуропроводности (a_x, a_y, a_z) входящих в пробную функцию температурного поля (20), формируемую векторами матрицы Y, определяемыми матрицами переходного процесса по трем главным осям теплопроводности (16), (17) и (18).

В качестве дополнительной зависимости, построенной по изменению влагосодержания продукта в процессе сушки средствами математического моделирования с использованием идентифицированных показателей (22) восстановлена зависимость изменения температуры материала от времени процесса (рисунок 3).

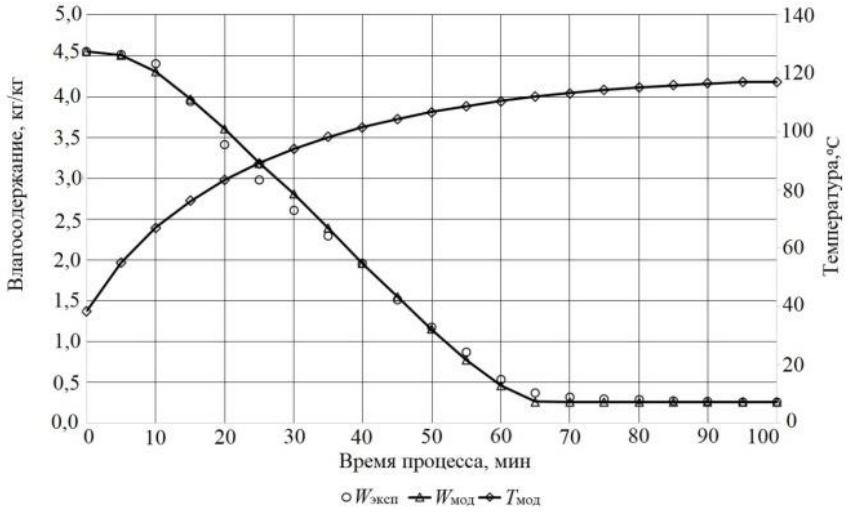


Рисунок 3. Идентификация модели по экспериментальным данным

Figure 3. Identification of the model based on experimental data

Результаты расчета по этим данным в среде инженерных расчетов PTC MathCAD коэффициента температуропроводности дают следующую усредненную оценку этих показателей:

$c_G := 3670 \cdot \frac{J}{kg \cdot K}$ удельная теплоемкость $\rho_G := 930 \cdot \frac{kg}{m^3}$ плотность $R_G := \frac{7}{2} \cdot mm$ полушарина пластины

$a_x := 1.272 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{m^2}{s}$ коэффициент температуропроводности $a_x = \frac{\lambda_x}{c_G \cdot \rho_G}$ solve, $\lambda_x \rightarrow \frac{0.0043414632 \cdot J}{K \cdot m \cdot s} = 4.341 \times 10^{-3} \cdot \frac{W}{m \cdot K}$ коэффициент теплопроводности

$Bi_x := 5.45$ Критерий Био $\frac{\alpha_x}{4.341 \times 10^{-3} \cdot \frac{W}{m \cdot K}} \cdot R_G = Bi_x$ solve, $\alpha_x \rightarrow \frac{0.006759557142857142857 \cdot W}{K \cdot m \cdot mm} = 6.76 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$ коэффициент теплообмена

$a_y := 1.552 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{m^2}{s}$ коэффициент температуропроводности $a_y = \frac{\lambda_y}{c_G \cdot \rho_G}$ solve, $\lambda_y \rightarrow \frac{0.0052971312 \cdot J}{K \cdot m \cdot s} = 5.297 \times 10^{-3} \cdot \frac{W}{m \cdot K}$ коэффициент теплопроводности (27)

$Bi_y := 3.15$ Критерий Био $\frac{\alpha_y}{5.297 \times 10^{-3} \cdot \frac{W}{m \cdot K}} \cdot R_G = Bi_y$ solve, $\alpha_y \rightarrow \frac{0.0047673 \cdot W}{K \cdot m \cdot mm} = 4.767 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$ коэффициент теплообмена

$a_z := 1.147 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{m^2}{s}$ коэффициент температуропроводности $a_z = \frac{\lambda_z}{c_G \cdot \rho_G}$ solve, $\lambda_z \rightarrow \frac{0.0039148257 \cdot J}{K \cdot m \cdot s} = 3.915 \times 10^{-3} \cdot \frac{W}{m \cdot K}$ коэффициент теплопроводности

$Bi_z := 8.22$ Критерий Био $\frac{\alpha_z}{3.915 \times 10^{-3} \cdot \frac{W}{m \cdot K}} \cdot R_G = Bi_z$ solve, $\alpha_z \rightarrow \frac{0.009194657142857142857 \cdot W}{K \cdot m \cdot mm} = 9.195 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$ коэффициент теплообмена

Заключение

Установлено (рисунок 3), что при равномерном начальном распределении температуры в процессе предварительного прогрева температурная неоднородность возрастает вплоть до момента фазового перехода (100 °С) на поверхности высушиваемого объекта. Таким образом, уже предварительное моделирование показало важность учета фазы предварительного прогрева влажного материала, так как на этой стадии формируется температурный профиль, отличающийся значительной неоднородностью, что особо важно, так как температурная неоднородность непосредственно влияет на качество пищевого продукта. Подтверждена возможность учета анизотропии в процессах теплообмена при использовании объемной математической модели переноса с распределенными параметрами.

Предложенная математическая модель процесса сушки снеков из фарша бычка азовского в псевдоожиженном слое позволяет по гравиметрическим данным динамики среднего влагосодержания восстанавливать динамику прогрева высокобелкового продукта. Это является основой для понимания процессов термообработки на основе существующих концепций денатурации белковой составляющей морепродуктов. Использование этих восстановленных данных температуры и влажности в дальнейшем позволит оптимизировать технологические режимы термообработки пищевого сырья.

Литература

1 Ustinova M.E., Yashonkov A.A. Experimental studies into the kinetics of the process of vacuum drying of carrot chips // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. V. 640.

2 Gukasyan A.V., Koshevoy E.P., Kosachev V.S. Two-dimensional mathematical model of oil-bearing materials in extrusion-type transportation over rectangular screw core // Journal of Physics: Conference Series. 2018. V. 1015.

3 Кошевой Е.П., Косачев В.С., Меретуков З.А. Теоретическое рассмотрение деформирования материала на выходе экструдера // Известия высших учебных заведений // Пищевая технология. 2004. № 5–6. С. 86–88.

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 Netto J.D.P.C., Oliveira Filho P.R.C.D., Lapa-Guimarães J., Viegas E.M.M. Physicochemical and sensory characteristics of snack made with minced Nile tilapia // Food Science and Technology. 2014. V. 34. P. 591-596. doi: 10.1590/1678-457x.6395

6 Wang Y., Zhang M., Mujumdar A.S., Mothibe K.J. Quality changes of dehydrated restructured fish product from silver carp (Hypophthalmichthys molitrix) as affected by drying methods // Food and bioprocess technology. 2013. V. 6. №. 7. P. 1664-1680. doi: 10.1007/s11947-012-0812-y

7 Dementieva N.V., Boitsova T.M., Bogdanov V.D. A study of combined minced meat from hydrobionts for snacks // Czech Journal of Food Sciences. 2021. V. 39. №. 2. P. 140-148. doi: 10.17221/264/2020-CJFS

8 Pokholchenko V., Smirnova A. Energy efficient systems and regimes at fish products drying processes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2019. V. 302. №. 1. P. 012027.

9 Nawaz A., Khalifa I., Walayat N., Lorenzo J.M. et al. Whole fish powder snacks: Evaluation of structural, textural, pasting, and water distribution properties // Sustainability. 2021. V. 13. №. 11. P. 6010. doi: 10.3390/su13116010

10 Nawaz A., Xiong Z., Li Q., Xiong H. et al. Evaluation of physicochemical, textural and sensory quality characteristics of red fish meat-based fried snacks // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2019. V. 99. №. 13. P. 5771-5777.

11 Ganesan P., Rathnakumar K., Nicy B.A., Vijayarahavan V. Improvement of nutritional value of extruded snack product by incorporation of blanched dried fish powder from sardine and Lizard fish and selection by organoleptic evaluation // Journal of Entomology and Zoology Studies. 2017. V. 5. №. 6. P. 2552-2554.

12 Yean Y.S., Pruthiarenun R., Doe P., Motohiro T. et al. Dried and smoked fish products // Fish Drying & Smoking. Routledge, 2017. P. 47-87.

13 Wang Y., Zhang M., Mujumdar A. S. Effect of cassava starch gel, fish gel and mixed gels and thermal treatment on structure development and various quality parameters in microwave vacuum-dried gel slices // Food Hydrocolloids. 2013. V. 33. №. 1. P. 26-37. doi: 10.1016/j.foodhyd.2013.02.005

14 Kamari S., Shabanpour B. Development and sensory evaluation of silver carp (Hypophthalmichthys molitrix) fish based snack food // World Journal of Fish and Marine. 2013. V. 5. №. 6. P. 670-673.

15 Ponwiboon N., Rojanakorn T. Desorption isotherms and drying characteristics of Nile tilapia fish sheet // International Food Research Journal. 2017. V. 24. №. 3. P. 1292.

16 Yashonkov A., Sukmnov V. Experimental determination of the rational parameters in the process of foaming and drying of raw fish // Food and Packaging. P. 55.

17 Shaviklo G.R., Thorkelsson G., Sveinsdottir K., Pourreza F. Studies on processing, consumer survey and storage stability of a ready-to-reconstitute fish cutlet mix // Journal of food science and technology. 2013. V. 50. №. 5. P. 900-908. doi: 10.1007/s13197-011-0417-x

18 Stepanov D.V., Gukasyan A.V., Kosachev V.S., Oleynikova R.E. Solution of the Burgers Shock wave equation in PTC MATHCAD // Procedia computer science International Conference on Computational Intelligence and Data Science, ICCIDS 2019. 2020. pp. 1088–1095.

19 Kouhila M., Moussaoui H., Lamsyehe H., Tagnamas Z. et al. Drying characteristics and kinetics solar drying of Mediterranean mussel (mytilus galloprovincilis) type under forced convection // Renewable Energy. 2020. V. 147. P. 833-844. doi: 10.1016/j.renene.2019.09.055

20 Ospanov A., Muslimov N., Timurbekova A., Mamayeva L. et al. The effect of various dosages of poly-cereal raw materials on the drying speed and quality of cooked pasta during storage // Current Research in Nutrition and Food Science. 2020. V. 18(2). P. 462–470. doi: 10.12944/CRNFSJ.8.2.11

21 Зуев А.В. О периодических решениях обыкновенных дифференциальных уравнений с разрывной правой частью // Математические заметки. 2006. Т. 79. № 4. С. 560–570.

22 Дворянинова О.П., Соколов А.В. Моделирование процесса сушки вторичных продуктов разделки рыб и описание в модели основных процессов тепло- и влагопереноса // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 125–129. doi: 10.20914/2310-1202-2018-2-125-129

References

1 Ustinova M.E., Yashonkov A.A. Experimental studies into the kinetics of the process of vacuum drying of carrot chips. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. vol. 640.

2 Gukasyan A.V., Koshevoy E.P., Kosachev V.S. Two-dimensional mathematical model of oil-bearing materials in extrusion-type transportation over rectangular screw core. Journal of Physics: Conference Series. 2018. vol. 1015.

3 Koshevoy E.P., Kosachev B.C., Meretukov Z.A. Theoretical consideration of the deformation of the material at the exit of the extruder. News of higher educational institutions. Food technology. 2004. No. 5–6. pp. 86–88. (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 Netto J.D.P.C., Oliveira Filho P.R.C.D., Lapa-Guimarães J., Viegas E.M.M. Physicochemical and sensory characteristics of snack made with minced Nile tilapia. Food Science and Technology. 2014. vol. 34. pp. 591-596. doi: 10.1590/1678-457x.6395

6 Wang Y., Zhang M., Mujumdar A.S., Mothibe K.J. Quality changes of dehydrated restructured fish product from silver carp (Hypophthalmichthys molitrix) as affected by drying methods. Food and bioprocess technology. 2013. vol. 6. no. 7. pp. 1664-1680. doi: 10.1007/s11947-012-0812-y

7 Dementieva N.V., Boitsova T.M., Bogdanov V.D. A study of combined minced meat from hydrobionts for snacks. Czech Journal of Food Sciences. 2021. vol. 39. no. 2. pp. 140-148. doi: 10.17221/264/2020-CJFS

8 Pokholchenko V., Smirnova A. Energy efficient systems and regimes at fish products drying processes. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2019. vol. 302. no. 1. pp. 012027.

9 Nawaz A., Khalifa I., Walayat N., Lorenzo J.M. et al. Whole fish powder snacks: Evaluation of structural, textural, pasting, and water distribution properties. Sustainability. 2021. vol. 13. no. 11. pp. 6010. doi: 10.3390/su13116010

10 Nawaz A., Xiong Z., Li Q., Xiong H. et al. Evaluation of physicochemical, textural and sensory quality characteristics of red fish meat-based fried snacks. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2019. vol. 99. no. 13. pp. 5771-5777.

11 Ganesan P., Rathnakumar K., Nicy B.A., Vijayarahavan V. Improvement of nutritional value of extruded snack product by incorporation of blanched dried fish powder from sardine and Lizard fish and selection by organoleptic evaluation. Journal of Entomology and Zoology Studies. 2017. vol. 5. no. 6. pp. 2552-2554.

12 Yean Y.S., Pruthiarenun R., Doe P., Motohiro T. et al. Dried and smoked fish products. Fish Drying & Smoking. Routledge, 2017. pp. 47-87.

13 Wang Y., Zhang M., Mujumdar A. S. Effect of cassava starch gel, fish gel and mixed gels and thermal treatment on structure development and various quality parameters in microwave vacuum-dried gel slices. Food Hydrocolloids. 2013. vol. 33. no. 1. pp. 26-37. doi: 10.1016/j.foodhyd.2013.02.005

14 Kamari S., Shabanpour B. Development and sensory evaluation of silver carp (Hypophthalmichthys molitrix) fish based snack food. World Journal of Fish and Marine. 2013. vol. 5. no. 6. pp. 670-673.

15 Ponwiboon N., Rojanakorn T. Desorption isotherms and drying characteristics of Nile tilapia fish sheet. International Food Research Journal. 2017. vol. 24. no. 3. pp. 1292.

16 Yashonkov A., Sukmnov V. Experimental determination of the rational parameters in the process of foaming and drying of raw fish. Food and Packaging. pp. 55.

17 Shaviklo G.R., Thorkelsson G., Sveinsdottir K., Pourreza F. Studies on processing, consumer survey and storage stability of a ready-to-reconstitute fish cutlet mix. Journal of food science and technology. 2013. vol. 50. no. 5. pp. 900-908. doi: 10.1007/s13197-011-0417-x

18 Stepanov D.V., Gukasyan A.V., Kosachev V.S., Oleynikova R.E. Solution of the Burgers Shock wave equation in PTC MATHCAD. Procedia computer science International Conference on Computational Intelligence and Data Science, ICCIDS 2019. 2020. pp. 1088–1095.

19 Kouhila M., Moussaoui H., Lamsyehe H., Tagnamas Z. et al. Drying characteristics and kinetics solar drying of Mediterranean mussel (mytilus galloprovincilis) type under forced convection. Renewable Energy. 2020. vol. 147. pp. 833-844. doi: 10.1016/j.renene.2019.09.055

20 Ospanov A., Muslimov N., Timurbekova A., Mamayeva L. et al. The effect of various dosages of poly-cereal raw materials on the drying speed and quality of cooked pasta during storage. Current Research in Nutrition and Food Science. 2020. vol. 18(2). pp. 462–470. doi: 10.12944/CRNFSJ.8.2.11

21 Zuev A.V. On periodic solutions of ordinary differential equations with a discontinuous right-hand side. Mathematical notes. 2006. vol. 79. no. 4. pp. 560–570. (in Russian).

22 Dvoryaninova O.P., Sokolov A.V. Simulation of the drying process of secondary products of fish cutting and description in the model of the main processes of heat and moisture transfer. Proceedings of VSUET. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 125–129. doi: 10.20914/2310-1202-2018-2-125-129 (in Russian).

Сведения об авторах

Вячеслав С. Косачев д.т.н., профессор, профессор кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, Кубанский государственный технологический университет, ул. Красная, 135, 2-й этаж, ауд. 253, г. Краснодар, 350072, Россия, vs.kosachev@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-2582-8547

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@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-2335-0017

Александр А. Яшонков к.т.н., доцент, заведующий кафедрой машин и аппаратов пищевых производств, Керченский государственный морской технологический университет, ул. Орджоникидзе, д. 123, г. Керчь, 298309, Республика Крым, Россия, jashonkov@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0002-1431-679X

Вклад авторов

Вячеслав С. Косачев консультация в ходе исследования
Александр Н. Остриков выполнил расчёты
Александр А. Яшонков участие в разработке конструкторской документации, консультация в ходе исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Vyacheslav S. Kosachev Dr. Sci. (Engin.), professor, technological equipment and life-support systems department, Kuban State Technological University, 350072, Krasnodar Krai, Krasnodar, Moskovskaya str., 2,, vs.kosachev@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-2582-8547

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

Alexandr A. Yashonkov Cand. Sci. (Engin.), machines and apparatuses of food production, department, Kerch State Maritime Technological University, 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str. 82, jashonkov@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0002-1431-679X

Contribution

Vyacheslav S. Kosachev consultation during the study
Alexander N. Ostrikov completed the calculations
Alexandr A. Yashonkov participation in the development of design documentation, consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 10/04/2022	**После редакции** 12/05/2022	**Принята в печать** 31/05/2022
Received 10/04/2022	**Accepted in revised** 12/05/2022	Accepted 31/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-27-33 Оригинальная статья/Research article
УДК 66.061.3 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Совершенствование работы оборудования для противоточной экстракции на основе моделирования процесса

Геннадий В. Алексеев [1] gva2003@mail.ru 0000-0002-2867-108X
Вячеслав А. Шанин [2] shanin.vyacheslav@mail.ru 0000-0002-1257-2319
Артём А. Бирченко [2] topgear67@mail.ru 0000-0002-0124-8054
Евгения В. Кравцова [2] evkravtcova@itmo.ru 0000-0003-1393-3347
Максим В. Гончаров [3] goncharovmaxv@ya.ru 0000-0003-0859-167X

1 Государственный институт экономики, финансов, права и технологий, Рощинская ул., 5, Гатчина, Ленинградская обл., 188300, Россия
2 Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверкский пр., 49, Санкт-Петербург, 197101
3 Филиал «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, Энергетический проезд, 1, г. Смоленск, 214013, Россия

Аннотация. В статье рассматривается возможность и эффективность применения дискретной диффузии при экстрагировании материалов с внутренней анизотропной структурой по сравнению с непрерывным процессом диффузии. С этой целью выполнены теоретические расчеты и проведены экспериментальные исследования противоточной экстракции пектина из топинамбура. Для проведения моделирования были определены уравнение для расчета коэффициента внутренней диффузии и уравнение изотермы адсорбции при противоточной экстракции. Оценка эффективности применения противоточного экстрагирования для получения пектина из топинамбура проводилась рассмотрением влияния эффекта дискретной диффузии на скорость протекания процесса. Полученные уравнения дали возможность провести аналитическую оценку эффективности дискретной диффузии из двухзонных частиц шарообразной формы в сравнении с непрерывной диффузией при многоступенчатом экстрагировании растительного материала. Имея аналитические данные о распределении концентраций экстрагируемого вещества во внутренней и внешней зонах частицы на разных ступенях экстракции, можно высчитать коэффициенты диффузии материалов в различных зонах и теоретически определить степень деструкции клеточных стенок и структуры на разных стадиях экстракции. Разработанная методика, благодаря аналитическому описанию процесса, позволяет подобрать оптимальные условия для экстракции различных материалов из растительного и животного сырья.

Ключевые слова: экстракция, противоточное экстрагирование, коэффициент диффузии, распределение концентрации, анизотропная структура.

Improving the performance of equipment for countercurrent extraction on the basis of process simulation

Gennady V. Alekseev [1] gva2003@mail.ru 0000-0002-2867-108X
Vyacheslav A. Shanin [2] shanin.vyacheslav@mail.ru 0000-0002-1257-2319
Artyom A. Birchenko [2] topgear67@mail.ru 0000-0002-0124-8054
Evgenia V. Kravtcova [2] evkravtcova@itmo.ru 0000-0003-1393-3347
Maxim V. Goncharov [3] goncharovmaxv@ya.ru 0000-0003-0859-167X

1 State Institute of Economics, Finance, Law and Technology, Roshchinskaya st., 5, Gatchina, Leningrad region, 188300, Russia
2 ITMO University, Kronverksky pr., 49, St. Petersburg, 197101, Russia
3 Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute in Smolensk, Energy proezd, 1, Smolensk, 214013, Russia

Abstract. The article discusses the possibility and efficiency of using discrete diffusion in the extraction of materials with an internal anisotropic structure in comparison with a continuous diffusion process. For this purpose, theoretical calculations were made and experimental studies of countercurrent extraction of pectin from Jerusalem artichoke were carried out. To carry out the simulation, an equation for calculating the coefficient of internal diffusion and an equation for the adsorption isotherm during countercurrent extraction were determined. Evaluation of the efficiency of using countercurrent extraction to obtain pectin from Jerusalem artichoke was carried out by considering the influence of the effect of discrete diffusion on the rate of the process. The resulting equations made it possible to analytically evaluate the efficiency of discrete diffusion from two-zone spherical particles in comparison with continuous diffusion in multistage extraction of plant material. Having analytical data on the distribution of extractable substance concentrations in the inner and outer zones of the particle at different stages of extraction, it is possible to calculate the diffusion coefficients of materials in different zones and theoretically determine the degree of destruction of cell walls and structures at different stages of extraction. The developed technique, thanks to the analytical description of the process, allows you to select the optimal conditions for the extraction of various materials from plant and animal raw materials.

Keywords: extraction, countercurrent extraction, diffusion coefficient, concentration distribution, anisotropic structure.

Для цитирования
Алексеев Г.В., Шанин В.А., Бирченко А.А., Кравцова Е.В., Гончаров М.В. Совершенствование работы оборудования для противоточной экстракции на основе моделирования процесса // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 27–33. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-27-33

For citation
Alexeev G.V., Shanin V.A., Birchenko A.A., Kravtcova E.V., Goncharov M.V. Improving the performance of equipment for countercurrent extraction on the basis of process simulation. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 27–33. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-27-33

© 2022, Алексеев Г.В. и др. / Alexeev G.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Современные тенденции рационального природопользования предполагают все более широкое применение технологий глубокой переработки пищевого сырья. Одним из направлений реализации таких тенденций является переработка вторичных пищевых ресурсов как дополнительного источника ценных пищевых веществ [1–3]. Непременным этапом такой переработки является экстракция предварительно измельченных и гидратированных вторичных пищевых ресурсов [4,5]. Экстракционный способ извлечения полезных ингредиентов из вторичного сырья широко спространен во многих сферах пищевой промышленности и его совершенствование определяет эффективность работы отрасли [6–8].

Как правило, цель экстракции – извлечение ценных пищевых компонентов из растительного или животного сырья. Так, например, благодаря процессу экстракции, из топинамбура извлекается пектин – вещество, имеющее высокую пищевую ценность. Поскольку. в основе процесса экстракции лежат явления тепло- и массообмена, для прогнозирования результатов работы технологического оборудования необходимо знать влияние различных параметров системы (температура, давление, гидромодуль, степень измельчения сырья) на протекание этих процессов [9, 10–20].

Цель работы состоит в оптимизации процесса экстракции ценных пищевых веществ из растительного сырья путем разработки математической модели процесса экстрагирования на примере извлечения пектина или инулина из такого растительного сырья как, топинамбур, при многоступенчатом противоточном циклическом процессе экстракции. Для этого необходимо учесть эффект обратного перемешивания растворителя, время стока растворителя из твердой фазы в зоне отсутствия орошения, влияние времени выдержки материала на эффективность последующей ступени орошения, и усовершенствовать действующие экстракторы, предназначенных для этих целей.

Материалы и методы

Концентрация наружного раствора от времени в промышленных аппаратах экстракторах типа ДС 70 и НД 1250 напрямую зависит от математической задачи, а так же ее модели дискретной диффузии. Нужно отметить, что решения задач экстрагирования выполнены при допущении, что внутренняя структура частиц изотропна, но это условие не является постоянным. Было замечено, что масличность различных слоев материала в ходе его прессования различна. Одной из причин этого является определенная ориентация и более плотная упаковка белковых молекул в слоях, примыкающих к валу шнекового пресса, что, естественно, свидетельствует и о различиях во внутренней структуре различных слоев. При ступенчатом сбросе давления при экстрагировании сжиженными газами происходит разрушение клеточной структуры наружных слоев частиц, так что внутренняя их структура заведомо анизотропна.

Для получения математической модели дискретной диффузии при многоступенчатом экстрагировании растительного материала с различной степенью вскрытия клеточной структуры из частиц шарообразной формы (соответствует подготовке материала к экстрагированию в виде крупки), состоящей из двух зон с различными коэффициентами диффузии D_1 и поверхностного слоя, состоящего из разрушенных клеток с соответственно большим коэффициентом диффузии D_2. Из этой двухзонной частицы вещество отводится многократно (многоступенчатое экстрагирование).

Математически задача формулируется следующим образом: требуется решить уравнение нестанционарной диффузии

$$\frac{\partial C_{ij}^{(k)}}{\partial \tau} = D_k \left(\frac{\partial^2 C_{ij}^{(k)}}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C_{ij}^{(k)}}{\partial r} \right) \quad (\tau > 0, R_{k-1} < r_k, R_0 = 0) \tag{1}$$

При следующих краевых условиях:

$$C_{ij}^{(k)}(r, \tau_0) = f(r); \quad \text{при } \tau = 0 \; f(r) = \mathrm{C}_0 = const \tag{2}$$

$$C_{ij}^{(1)}(R_1, \tau) = C_{ij}^{(2)}(R_1, \tau) \tag{3}$$

$$-D_1 \frac{C_{ij}^{(1)}(R_1, \tau)}{\partial r} = -D_2 \frac{C_{ij}^{(2)}(R_1, \tau)}{\partial r} \tag{4}$$

$$\frac{\partial C_{ij}^{(1)}(0, \tau)}{\partial r} = 0; C_{ij}^{(1)}(0, \tau) < \infty \tag{5}$$

$$C_{ij}^{(2)}(R_2, \tau) = C_n = const \tag{6}$$

$$\frac{C_{ij}^{(2)}(R_2, \tau)}{\partial r} = 0; C_0 > C_n \tag{7}$$

Условие (2) – начальное, определяющее распределение концентрации извлекаемого вещества в начальный момент соответствующего периода.

Уравнения (3)–(4) являются математическим выражением граничного условия четвертого рода, определяющего равенства концентраций и потоков массы вещества при хорошем массообменном контакте между ядром и поверхностным слоем.

Выражения (5) – условия симметрии и физической ограниченности распределения извлекаемого вещества.

Условия (6) и (7) являются математическим выражением взаимодействия частиц (семени) с окружающей средой в первом и втором периодах процесса. Не уменьшает общности постановки задачи взятое $C_п = 0$. Таким образом, приведенная формулировка данной комплексной задачи содержит ряд отдельных задач, решения которых порознь известны. В данном случае задача существенно сложнее: рассматривается диффузия вещества в двухслойной частице с попеременным непрерывным и дискретным отводом вещества.

В результате применения методов математической физики получено решение краевой задачи (1)–(7), которое для регулярной стадии процесса и для усредненных значений концентрации можно записать в следующем виде:

$$C_0 - \bar{C}_{ij}^{(k)} = 1 + (-1)^j M_{ij}^{(k)}, \qquad (8)$$

где

$$M_{ij}^1 = 3k_D^m k_R^n \gamma_{11}^s \gamma' (\sin\rho_{11})^{2-j} \times$$

$$\times \left(\sin\gamma_{1j} - \gamma_{1j}\cos\gamma_{1j}\right) \frac{1-\gamma^2}{\psi_2(k_R)} \times$$

$$\times \left[\frac{2\psi_2(k_R)\sin\gamma_{11}}{(1-\gamma^2)\varphi_{11}}\right]^i \times \left[\frac{2\sin\gamma_{11}\sin\gamma_{12}}{(1-\gamma^2)\varphi_{11}}\right]^n \times$$

$$\times exp\left[-\left(\gamma_{1j}^2 F_0 + \sum_{i=1}^{J}\sum_{j=1}^{2}\gamma_{1j}^2 F_{0_{ij}} - \gamma_{1j}^2 F_{0_{ij}}\right)\right]$$

$$M_{ij}^2 = \begin{cases} \dfrac{\sin\gamma_{11}\left(\sin\rho_{11} + \sqrt{k_D}\gamma_{11}\cos\rho_{11} - \sqrt{k_D}\gamma_{11}k_R\right)}{\sqrt{k_D}\left(1-k_R^3\right)\gamma_{11}\sin\rho_{11}(\sin\gamma_{11} - \gamma_{11}\cos\gamma_{11})} \\ \dfrac{\sqrt{k_D}}{1-k_R^3} M_{ij}^{(1)} \text{ для остальных } i \text{ и } j \end{cases}.$$

$$M_{11}^{(1)} \text{ при } i = j = 1$$

$$s = j - 3 + (k-1)(2-j);$$

$$m = \frac{1}{2}\left[i + (-1)^j - (k-1)\right];$$

$$i = \begin{cases} i + (-1)^j \text{ при } i = 1; n = i + j - 2; \\ i + (-1)^j + 2 \text{ при } i > 1; \gamma = \dfrac{\gamma_{11}}{\gamma_{12}} \end{cases}.$$

Здесь γ_{11} – первый положительный корень характеристического уравнения

$$\sqrt{k_D}\gamma\,\mathrm{ctg}\rho + 1 + k_D(\gamma\,\mathrm{ctg}\gamma - 1) = 0 \qquad (9)$$

γ_{12} – положительный корень характеристического уравнения

$$k_D(\gamma\,\mathrm{ctg}\rho - 1)\left(\sqrt{k_D}k_R\,\mathrm{ctg}\rho - 1\right) + \rho\,\mathrm{ctg}\rho - \\ -\left(k_D k_R\gamma^2 + 1\right) = 0 \qquad (10)$$

$$\varphi_{11} = \sqrt{k_D}\gamma_{11}\sin^2\rho_{11} + \rho_{11}sin^2\gamma_{11} + \\ + \frac{1-k_D}{\sqrt{k_D}\gamma_{11}} - \sin^2\gamma_{11}\sin^2\rho_{11};$$

$$\varphi_{12} = k_D\{(\sin\rho_{12} + \sqrt{k_D}k_D\gamma_{12}\cos\rho_{12}) \times \\ \times(\gamma_{12} - \sin\gamma_{12}\cos\gamma_{12}) + \\ + k_D\sin\gamma_{12}(\gamma_{12}\cos\gamma_{12} - \sin\gamma_{12}) \times \\ \times(\cos\rho_{12} - \rho_{12}k_R\sin\rho_{12}) - \\ - \gamma_{12}\ \sin^2\gamma_{12}\left[k_R\rho_{12}\cos\rho_{12} + \left(k_R^2 + 1\right)\sin\rho_{12}\right]\}$$

$$\psi_2(k_R) = \sqrt{k_D}\gamma_{12}\sin\gamma_{12}\cos(\sqrt{k_D}\gamma_{12}(k_R - 1)) + \\ + \left[(1-k_D)\sin\gamma_{12} + k_D\gamma_{12}\cos\gamma_{12}\right] \times \\ \times\sin(\sqrt{k_D}\gamma_{12}(k_R - 1));$$

i – номер ступени $(i = 1, 2, 3, \ldots J)$; j – номер периода на ступени $(j = 1, 2)$; k – номер зоны частицы ($k = 1$ – ядро, $k = 2$ – поверхностный слой); c – концентрация диффундирующих веществ; $k_D = D_1/D_2$; $k_R = R_1/R_2$; $\rho = \sqrt{k_D}(k_R - 1)\gamma$; $\sqrt{k_D}(k_R - 1)$ – иррациональное число; $F_0 = D_1\tau/R_1^2$; $F_0 = D_1\tau_{1j}/R_1^2$ – числа Фурье.

Таким образом, определено распределение концентраций в каждой из зон на любой ступени и любом периоде на ступени. Пользуясь полученными результатами, можно оценить коэффициенты диффузии реальных материалов по зонам, и, применяя интервальный метод расчета, оценить степень вскрытия клеточной структуры на каждой ступени. Наличие адекватного аналитического описания ступенчатого процесса экстрагирования позволяет осуществить и оптимизацию процесса.

Полученная модель дала возможность разработать аналитическую оценку эффективности дискретной диффузии из двухзонных частиц шарообразной формы в сравнении с непрерывной диффузией при многоступенчатом экстрагировании растительного материала в виде неравенства:

$$0 < A \le 1, \qquad (11)$$

$$A = -\frac{1}{2}k_D^{\frac{i+1}{2}}\gamma_{11}\gamma^3\frac{\varphi(1-\gamma^2)\sin\gamma_{12} - \gamma_{12}\cos\gamma_{12}}{\psi_2(k_R)\sin\gamma_{11} - \gamma_{11}\cos\gamma_{11}} \times$$

$$\times\left(\frac{2\sin\gamma_{11}}{(1-\gamma^2)}\right)^2\left[-\frac{k_R\gamma\psi_2(k_R)\sin\gamma_{12}}{\varphi_{11}\varphi_{12}}\right] \times$$

$$\times\exp\left[-\sum_{i=1}^{J}\sum_{j=1}^{2}\gamma_1^2 Fo_{ij} - \gamma_{11}^2 iF_O^*\right]$$

$F_O^* = \dfrac{D_1 t}{R_1^2}$, $t = t_{диф} = t_{изол}$, $t_{диф}$ – время собственно диффузии (отвода вещества) на ступени; $t_{изол}$ – время отсутствия потока вещества через внешнюю поверхность частицы.

Данный подход может быть использован и при делении частицы на произвольное число зон с различной внутренней структурой.

Экстрагирование и адсорбцию в системе твердое тело-жидкость, широко используемые в пищевой промышленности, можно рассматривать с единой позиции массообмена как процессы с противоположными направлениями потоков массы.

Вещество в твердой фазе, подвергаемое экстрагированию, в общем случае состоит из двух частей: удерживаемой сорбционными силами и распределенной, обычно равномерно, в поровом пространстве тела. При сорбции в твердой фазе вещество накапливается за счет собственно сорбции и за счет его диффузии в поровом пространстве. Сказанное предопределяет следующую постановку вопроса: необходимо исследовать диффузионно-сорбционную задачу с внутренним источником массы, зависящим от времени и положительным в случаях адсорбции и экстрагирования.

В общем виде поставленная задача для частиц шарообразной формы может быть записана следующим образом:

$$\frac{\partial C_1}{\partial \tau} = D\left(\frac{\partial^2 C_1}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial C_1}{\partial r}\right) + a_0(\tau); \quad (12)$$

$$\tau > 0; 0 < r < R$$
$$C_2(R,\tau) = \Delta(\tau, Y); \quad (13)$$

$$C_1(r,0) = C_{106} > C_{20} \quad (14)$$

$$C_1(r,0) = C_{106} < C_{20}; \quad (15)$$

$$C_1(r,0) = 0; \quad (16)$$

$$C_1(0,\tau) \neq \infty; \quad (17)$$

$$\frac{\partial C_1(0,\tau)}{\partial r} = 0; \quad (18)$$

где C_1, C_{106} – текущее и начальное значение концентрации раствора внутри частиц; C_2, C_{20} – текущее и начальное значение концентрации раствора снаружи частиц; τ – время; r – текущее значение радиуса; R - радиус шара; a_c - скорость адсорбции (десорбции); Y – координата, нормальная к поверхности шара.

Формула (14) соответствует экстрагированию, формулы (15) и (16) адсорбции.

Отметим, что в написанную систему изотерма адсорбции не входит, поскольку она характеризует равновесное состояние, т. е. должна быть получена из решения поставленной задачи как предельное состояние системы.

Условия (14) – (16) соответствуют направлениям потоков массы при экстрагировании и адсорбции, (17) и (18) – общеизвестны. Функция $a_c(\tau)$ отражает изменение скорости адсорбции (десорбции) во времени и, естественно, определяется природой адсорбционных сил, величиной удельной поверхности адсорбента, свойствами адсорбируемого вещества, его концентрацией и другими характеристиками сорбционных свойств системы твердое тело-жидкость.

Если для адсорбции газов (паров) собственно сорбция протекает, очень быстро ($10^{-8} - 10^{-9}$ с), то адсорбция из растворов длится несколько десятков минут, что по порядку величин равно продолжительности реальных диффузионных процессов. Что касается десорбции при экстрагировании, то при некоторых случаях собственно десорбция протекает длительнее процесса экстрагирования. Таким образом, для системы твердое тело-жидкость $0 \le a_c(\tau) \le a_{нс}$, где $0 \le a_{нс} < \infty$ ($a_{нс}$ – начальная скорость адсорбции), и поэтому необходимо определять вид этой функции. Выбор здесь ограничен: из функций, при использовании которых возможно решение системы (12)–(18), приведенному условию удовлетворяют лишь функция косинуса, экспонента и функция Гаусса; две последние требуют экспериментального определения входящих в них коэффициентов, но по виду графиков мало отличаются от функции косинуса. С учетом сказанного будем иметь:

$$a_c(\tau) = a_{нс}\cos\frac{\pi\tau}{2\tau_{кс}}, \quad (19)$$

где $\tau_{кс}$ – конечное время собственно сорбции.

В качестве краевого условия (13) для противопотока, что практически наиболее важно, предлагается принять:

$$C_2(R,\tau) = C_{20} + (C_{2k} \cdots C_{20})\sin\frac{\pi\tau}{2\tau_к} \pm \pm\delta\frac{dC_2(Y,\tau)}{dY} \quad (20)$$

где C_{2k} – конечная концентрация наружного раствора; $\tau_к$ – конечное время процесса в целом; δ – толщина пограничного слоя; знак “плюс” относится к экстрагированию, “минус” к адсорбции.

Результаты и обсуждение

Данная функция (20) при $C_{2k}=0$ и $\delta=0$ исследована при изучении только одного процесса противоточного экстрагирования, она адекватна изменению концентрации наружного раствора C_2 в зависимости от времени τ в промышленных экстракторах (рисунок 1) и по сравнению с другими функциями обладает тем же преимуществом, что и функция (19).

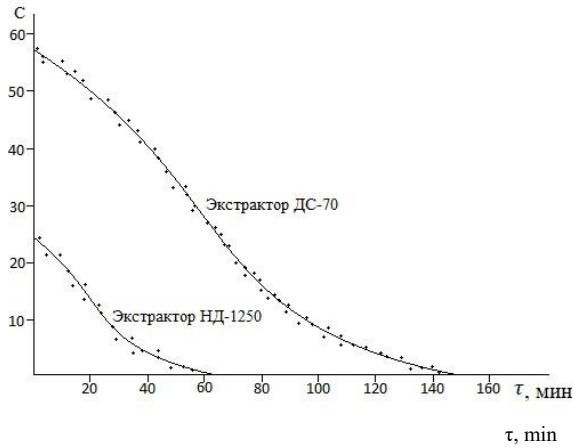


Рисунок 1. Зависимость концентрации наружного раствора (мисцеллы) от времени в промышленных аппаратах

Figure 1. The dependence of the concentration of the external solution (miscella) on time in industrial devices

Третий член функции (20) отражает существование пограничного слоя на поверхности сорбента. Введение третьего члена в условие (20) позволяет обосновать его корректность, например, для адсорбции при $\tau\to 0$, $C(R,0)\to 0$, что соответствует условию (16), в то время как если бы в условии (20) не было третьего члена, то было бы $C_2(R,0)\to C_{20}$. Последнее может быть объяснено, в частности, тем, что при определенных гидродинамических условиях $\delta\to 0$. Наконец, третий член позволяет привести в соответствие с экспериментом условие (20) путем правильного выбора функции $C_2(Y,\tau)=\Delta(Y)$. При $\tau\to\infty$ $C_2(R,\infty)\to C_{2k}\to C_{20}$, так как в этом случае концентрация по толщине пограничного слоя выравнивается, т. е $dC_2(Y,\tau)/dY=0$.

Поскольку задачи можно было бы усложнить путем введения граничных условий третьего рода, но это привело бы к дополнительному учету лишь конвективного массообмена, что общеизвестно и для современных интенсифицированных процессов экстрагирования и адсорбции малозначимо.

Заключение

Полученные результаты позволяют с высокой степенью достоверности прогнозировать концентрацию наружного раствора в зависимости от времени процесса экстрагирования. Это подтверждается измерениями концентрации экстрагируемого вещества в течение эксперимента и близостью их значений к расчетным. Таким образом, можно считать, что полученное уравнение (20) позволяет провести анализ влияния степени пропитки мисцеллы, взятой с промежуточной ступени противоточного многоступенчатого экстрактора, на эффективность процесса. Благодаря аналитическим расчетам с использованием полученной математической зависимости можно оптимизировать работу оборудования путем внесения изменений в его конструкцию, обеспечивающих влияние рассчитанных технологических параметров на ход процесса

Литература

1 Фабрицкая А.А., Котляревская Н.И., Викторова Е.П. Современные исследования в области интенсификации процесса экстракции биологически активных веществ из растительного сырья с применением ферментов // Новые технологии. 2021. Т. 17. № 2. С. 56–66.

2 Алексеев Г.В., Каршева К., Резниченко Р., Шанин В.А. Совершенствование процесса выделения кератина путем гидролиза сырья в ультразвуковом поле // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 182–187.

3 Кустова И.А., Макарова Н.В., Гудкова А.М. Получение экстракта из вторичного виноградного сырья // Химия растительного сырья. 2017. № 3. С. 175–184.

4 Dalbhagat C.G., Mishra H.N. Effects of extraction process conditions on system parameters; physicochemical properties and cooking characteristics of extruded fortified rice kernels // Journal of Cereal Science. 2019. V. 89. doi: 10.1016/j.jcs.2019.05.016.

5 Александровский С.А. Особенности экспериментальных исследований процесса твердофазной экстракции из растительного сырья // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. №. 2. С. 134–137.

6 Алексеев Г.В., Леу А.Г., Шанин В.А. Возможности прочностных оценок конструкционных элементов ультразвуковых экстракторов // Вестник ВСГУТУ 2021. № 3(82). С. 26–33.

7 Мартовщук В.И., Лобанов А.А., Мартовщук Е.В. Механохимический метод активации технологического процесса рафинации растительных масел // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2020. № 2–3 (374–375). С. 23–26.

8 Sabater C., Sabater V., Olano A. et al. Ultrasound-assisted extraction of pectin from artichoke by-products. An artificial neural network approach to pectin characterization // Food Hydrocolloids. 2020. V. 98. P. 105238.

9 Тепляков Ю.А., Рудобашта С.П., Нечаев В.М., Климов А.М. Кинетический расчет процесса экстрагирования для непористых гранулированных материалов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2009. Т. 15. № 2. С. 330–336.

10 Кузнецова Е.В., Макаров С.Ю. Оптимизация условий экстрагирования растительного сырья в технологии ликероводочных изделий // Евразийский Союз Ученых. 2019. № 3–5 (60). С. 44–48.

11 Sindermann E.C., Holbach A., de Haan A., Kockmann N. Single stage and countercurrent extraction of 5-hydroxymethylfurfural from aqueous phase systems // Chemical Engineering Journal. 2016. V. 283. P. 251-259. doi: 10.1016/j.cej.2015.07.029

12 Hewitson P., Sutherland I., Kostanyan A.E., Voshkin A.A. et al. Intermittent counter-current extraction—Equilibrium cell model, scaling and an improved bobbin design // Journal of Chromatography A. 2013. V. 1303. P. 18-27. doi: 10.1016/j.chroma.2013.06.023

13 Jaritsch D., Holbach A., Kockmann N. Counter-current extraction in microchannel flow: current status and perspectives // Journal of Fluids Engineering. 2014. V. 136. №. 9. doi: 10.1115/1.4026608

14 Zhang Q., Bian Y., Shi Y., Zheng S. et al. An economical and efficient technology for the extraction of resveratrol from peanut (Arachis hypogaea) sprouts by multi-stage countercurrent extraction // Food chemistry. 2015. V. 179. P. 15-25. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.01.113

15 Yang X.F., Ren P., Yang Q., Geng J.S. et al. Strong periodic tendency of trivalent lanthanides coordinated with a phenanthroline-based ligand: cascade countercurrent extraction, spectroscopy, and crystallography // Inorganic Chemistry. 2021. V. 60. №. 13. P. 9745-9756. doi: 10.1021/acs.inorgchem.1c01035

16 Haghighi H.K., Moradkhani D., Salarirad M.M. Separation of zinc from manganese, magnesium, calcium and cadmium using batch countercurrent extraction simulation followed by scrubbing and stripping // Hydrometallurgy. 2015. V. 154. P. 9-16. doi: 10.1016/j.hydromet.2015.03.007

17 Holtman K.M., Offeman R.D., Franqui-Villanueva D., Bayati A.K. et al. Countercurrent extraction of soluble sugars from almond hulls and assessment of the bioenergy potential // Journal of agricultural and food chemistry. 2015. V. 63. №. 9. P. 2490-2498. doi: 10.1021/jf5048332

18 Hartland S. Counter-current Extraction: An Introduction to the Design and Operation of Counter-current Extractors. Elsevier, 2017.

19 Xiang W., Liang S., Zhou Z., Qin W. et al. Lithium recovery from salt lake brine by counter-current extraction using tributyl phosphate/FeCl3 in methyl isobutyl ketone // Hydrometallurgy. 2017. V. 171. P. 27-32. doi: 10.1016/j.hydromet.2017.04.007

20 Injarean U., Pichestapong P., Kewsuwan P., Laohaphornchaiphan J. Batch simulation of multistage countercurrent extraction of uranium in yellow cake from monazite processing with 5% TBP/kerosene // Energy Procedia. 2014. V. 56. P. 129-134. doi: 10.1016/j.egypro.2014.07.140

References

1 Fabritskaya A.A., Kotlyarevskaya N.I., Viktorova E.P. Modern research in the field of intensification of the processes of extraction of biologically active substances from plant materials using enzymes. New technologies. 2021. vol. 17. no. 2. pp. 56–66. (in Russian).

2 Alekseev G.V., Karsheva K., Reznichenko R., Shanin V.A. Development of the process of keratin isolation by hydrolysis of raw materials in an ultrasonic field. Polzunovskiy Vestnik. 2021. no. 2. pp. 182–187. (in Russian).

3 Kustova I.A., Makarova N.V., Gudkova A.M. Obtaining an extract from secondary grape raw materials. Chemistry of plant raw materials. 2017. no. 3. pp. 175–184. (in Russian).

4 Dalbhagat K.G., Mishra H.N. Influence of extraction process conditions on system parameters; physical and chemical properties and culinary characteristics of extruded enriched rice grains. Journal of Cereal Science. 2019. no. 89. doi: 10.1016/j.jcs.2019.05.016

5 Aleksandrovsky S.A. Features of experimental studies of the process of solid-phase extraction of vegetable raw materials. Bulletin of the Kazan Technological University. 2016. vol. 19. no. 2. pp. 134–137. (in Russian).

6 Alekseev G.V., Leu A.G., Shanin V.A. Possibilities of strength assessments of structural elements of ultrasonic extractors. ESGUTU 2021. no. 3(82). pp. 26–33. (in Russian).

7 Martovshchuk V.I., Lobanov A.A., Martovshchuk E.V. Mechanochemical method of activation of the technological process of refining vegetable oils. Izvestiya of higher educational institutions. Food technology. 2020. no. 2–3 (374–375). pp. 23–26. (in Russian).

8 Sabater K., Sabater V., Olano A. et al. Extraction of pectin from artichoke by-products using ultrasound. An artificial neural network approach to characterizing pectin. Food Hydrocolloids. 2020. vol. 98. pp. 105238.

9 Teplyakov Yu.A., Rudobashta S.P., Nechaev V.M., Klimov A.M. Kinetic calculation of the process of extraction of non-porous granular materials. Bulletin of the Tambov State Technical University. 2009. vol. 15. no. 2. pp. 330–336. (in Russian).

10 Kuznetsova E.V., Makarov S.Yu. Optimization of conditions for extracting plant products in the technology of alcoholic beverages. Eurasian Union of Scientists. 2019. no. 3–5 (60). pp. 44–48. (in Russian).

11 Sindermann E.C., Holbach A., de Haan A., Kockmann N. Single stage and countercurrent extraction of 5-hydroxymethylfurfural from aqueous phase systems. Chemical Engineering Journal. 2016. vol. 283. pp. 251-259. doi: 10.1016/j.cej.2015.07.029

12 Hewitson P., Sutherland I., Kostanyan A.E., Voshkin A.A. et al. Intermittent counter-current extraction—Equilibrium cell model, scaling and an improved bobbin design. Journal of Chromatography A. 2013. vol. 1303. pp. 18-27. doi: 10.1016/j.chroma.2013.06.023

13 Jaritsch D., Holbach A., Kockmann N. Counter-current extraction in microchannel flow: current status and perspectives. Journal of Fluids Engineering. 2014. vol. 136. no. 9. doi: 10.1115/1.4026608

14 Zhang Q., Bian Y., Shi Y., Zheng S. et al. An economical and efficient technology for the extraction of resveratrol from peanut (Arachis hypogaea) sprouts by multi-stage countercurrent extraction. Food chemistry. 2015. vol. 179. pp. 15-25. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.01.113

15 Yang X.F., Ren P., Yang Q., Geng J.S. et al. Strong periodic tendency of trivalent lanthanides coordinated with a phenanthroline-based ligand: cascade countercurrent extraction, spectroscopy, and crystallography. Inorganic Chemistry. 2021. vol. 60. no. 13. pp. 9745-9756. doi: 10.1021/acs.inorgchem.1c01035

16 Haghighi H.K., Moradkhani D., Salarirad M.M. Separation of zinc from manganese, magnesium, calcium and cadmium using batch countercurrent extraction simulation followed by scrubbing and stripping. Hydrometallurgy. 2015. vol. 154. pp. 9-16. doi: 10.1016/j.hydromet.2015.03.007

17 Holtman K.M., Offeman R.D., Franqui-Villanueva D., Bayati A.K. et al. Countercurrent extraction of soluble sugars from almond hulls and assessment of the bioenergy potential. Journal of agricultural and food chemistry. 2015. vol. 63. no. 9. pp. 2490-2498. doi: 10.1021/jf5048332

18 Hartland S. Counter-current Extraction: An Introduction to the Design and Operation of Counter-current Extractors. Elsevier, 2017.

19 Xiang W., Liang S., Zhou Z., Qin W. et al. Lithium recovery from salt lake brine by counter-current extraction using tributyl phosphate/FeCl3 in methyl isobutyl ketone. Hydrometallurgy. 2017. vol. 171. pp. 27-32. doi: 10.1016/j.hydromet.2017.04.007

20 Injarean U., Pichestapong P., Kewsuwan P., Laohaphornchaiphan J. Batch simulation of multistage countercurrent extraction of uranium in yellow cake from monazite processing with 5% TBP/kerosene. Energy Procedia. 2014. vol. 56. pp. 129-134. doi: 10.1016/j.egypro.2014.07.140

Сведения об авторах

Геннадий В. Алексеев д.т.н., профессор, кафедра высшей математики, Государственный институт экономики, финансов, права и технологий, Рощинская ул., 5, Гатчина, Ленинградская обл., 188300, Россия, gva2003@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-2867-108X

Вячеслав А. Шанин аспирант, факультет биотехнологий, Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверкский пр., 49, Санкт-Петербург, 197101, Россия, shanin.vyacheslav@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1257-2319

Артём А. Бирченко аспирант, факультет биотехнологий, Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверкский пр., 49, Санкт-Петербург, 197101, Россия, topgear67@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0124-8054

Евгения В. Кравцова к.т.н., факультет биотехнологий, Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверкский пр., 49, Санкт-Петербург, 197101, Россия, evkravtcova@itmo.ru
https://orcid.org/0000-0003-1393-3347

Максим В. Гончаров к.т.н., кафедра технологический машин и оборудования, Филиал «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, Энергетический проезд, дом 1, г. Смоленск, 214013, Россия, goncharovmaxv@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-0859-167X

Information about authors

Gennady V. Alekseev Dr. Sci (Engin.)., professor, higher mathematics department, State Institute of Economics, Finance, Law and Technology, Roshchinskaya st., 5, Gatchina, Leningrad region, 188300, Russia, gva2003@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-2867-108X

Vyacheslav A. Shanin graduate student, biotechnology faculty, ITMO University, Kronverksky pr., 49, St. Petersburg, 197101, Russia, shanin.vyacheslav@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1257-2319

Artyom A. Birchenko graduate student, biotechnology faculty, ITMO University, Kronverksky pr., 49, St. Petersburg, 197101, Russia, topgear67@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0124-8054

Evgenia V. Kravtcova Cand. Sci. (Engin.), biotechnology faculty, ITMO University, Kronverksky pr., 49, St. Petersburg, 197101, Russia, evkravtcova@itmo.ru
https://orcid.org/0000-0003-1393-3347

Maxim V. Goncharov Cand. Sci. (Engin.), technological machines and equipment department, Branch of the National Research University MPEI in Smolensk, Energy proezd, house 1, Smolensk, 214013, Russia, goncharovmaxv@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-0859-167X

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 04/04/2022	**После редакции** 28/04/2022	**Принята в печать** 23/05/2022

Received 04/04/2022	**Accepted in revised** 28/04/2022	**Accepted** 23/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-34-38 Оригинальная статья/Research article
УДК 66.045.53 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Повышение эффективности работы градирен в водооборотном цикле

Юлиан И. Шишацкий [1] e-mail@m.ru
Сергей А. Никель [1] sergei.nickel@yandex.ru
Анна А. Деркаосова [1] aa-derk@yandex.ru 0000-0002-9726-9262
Сергей А. Толстов [2] se-rezha.tolstoff@ya.ru
Сергей Л. Панченко [2] psl84@mail.ru

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

Аннотация. Градирни являются основным оборудованием водооборотного цикла. Охлаждение производится оборотной водой теплообменных устройств. Нагретую воду охлаждают в градирнях путем смешения с потоком воздуха и снова направляют на использование в качестве охлаждающего агента. Охлаждение осуществляется в результате теплообмена. Движущая сила, необходимая для преодоления силы трения потоков, которая мешает течению воздуха, обеспечивается нагнетательными или вытяжными вентиляторами. Общую движущую силу можно выразить суммой отдельных движущих сил в потоках воздуха и воды. Работа при воздушном перемешивании жидкой фазы производится за счет энергии сжатого воздуха и может быть рассчитана, как работа изотермического сжатия по приведенным в работе уравнениям. Известны градирни различных типов. Вентиляторные градирни являются наиболее совершенным типом охладителей воды, поскольку обеспечивают практически устойчивое охлаждение воды путем изменения частоты вращения вентиляторов или их периодического отключения, в них допускается более высокие тепловые нагрузки и глубокое охлаждение воды, то есть большее приближение температуры охлажденной воды к теоретическому пределу охлаждения за счет повышенного относительного расхода воздуха, проходящему через градирню. Приведены основные характеристики градирен по площади орошения, гидравлической нагрузке и др. Представлена схема вентиляторной градирни, перечислены ее главные достоинства, такие как охлаждающая способность, интенсификация переноса массы (воды) в другую (воздуха), то есть типичный процесс сопряженного тепломассопереноса. Рассмотрены основные элементы градирни. Ороситель, как главный элемент градирни необходим для увеличения поверхности контакта между водой и воздухом, ускорения процесса охлаждения. Показаны пути увеличения эффективности их эксплуатации. Водоуловители максимально снижают капельный унос – до 100 %. Водораспределительные системы должны равномерно распределять охлаждаемую воду по площади поверхности оросителя. Представлены расхода энергии, поступающей через форсунки. Освещена роль входных окон, как элементов градирни, основные направления по дальнейшему повышению эффективности работы современных градирен.

Ключевые слова: градирни, водооборотный цикл, эффективность, повышение эффективности, смесительные теплообменники.

Improving the efficiency of cooling towers in the water cycle

Yulian I. Shishatskii [1] e-mail@m.ru
Sergei A. Nickel [1] sergei.nickel@yandex.ru
Anna A. Derkanosova [1] aa-derk@yandex.ru 0000-0002-9726-9262
Sergey A. Tolstov [2] se-rezha.tolstoff@ya.ru
Sergey L. Panchenko [2] psl84@mail.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. Cooling towers are the main equipment of the water cycle. Cooling is carried out by the circulating water of heat exchange devices. The heated water is cooled in cooling towers by mixing with the air flow and again directed to use as a cooling agent. Cooling is carried out as a result of heat exchange. The driving force necessary to overcome the friction force of the flows, which interferes with the flow of air, is provided by injection or exhaust fans. The total driving force can be expressed as the sum of the individual driving forces in the air and water flows. The work with air mixing of the liquid phase is carried out due to the energy of compressed air and can be calculated as the work of isothermal compression according to the equations given in the work. Cooling towers of various types are known. Fan cooling towers are the most advanced type of water coolers, since they provide practically stable cooling of water by changing the fan speed or their periodic shutdown, they allow higher thermal loads and deep cooling of water, that is, a greater approximation of the temperature of the cooled water to the theoretical cooling limit due to the increased relative air flow passing through the cooling tower. The main characteristics of cooling towers in terms of irrigation area, hydraulic load, etc. are given. A diagram of a fan cooling tower is presented, its main advantages are listed, such as cooling capacity, intensification of mass transfer (water) to another (air), that is, a typical process of coupled heat and mass transfer. The main elements of the cooling tower are considered. The sprinkler, as the main element of the cooling tower, is necessary to increase the contact surface between water and air, accelerate the cooling process. The ways of increasing the efficiency of their operation are shown. Water traps minimize drip entrainment – up to 100%. Water distribution systems should evenly distribute the cooled water over the surface area of the sprinkler. The energy consumption coming through the nozzles is presented. The role of entrance windows as elements of a cooling tower is highlighted, the main directions for further improving the efficiency of modern cooling towers.

Keywords: cooling towers, water circulation cycle, efficiency, efficiency increase, mixing heat exchangers..

Для цитирования
Шишацкий Ю.И., Никель С.А., Деркаосова А.А., Толстов С.А., Панченко С.Л. Повышение эффективности работы градирен в водооборотном цикле // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 34–38. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-34-38

For citation
Shishatskii Yu.I., Nickel S.A., Derkanosova A.A., Tolstov S.A., Panchenko S.L. Improving the efficiency of cooling towers in the water cycle. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 34–38. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-34-38

© 2022, Шишацкий Ю.И. и др. / Shishatskii Yu.I. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Решение вопросов энерго- и ресурсосбережения на пищевых, химических и других предприятиях, использующих оборотные системы технического водоснабжения, во многом зависит от эффективности работы градирен. В смесительных теплообменниках – градирнях, являющихся основным оборудованием водооборотного цикла, в качестве охлаждающего агента используется воздух. Охлаждение производится оборотной водой – отработанной охлаждающей водой теплообменных устройств. Эту нагретую воду охлаждают при ее частичном испарении в градирнях путем смешения с потоком воздуха и снова направляя ют на использование в качестве охлаждающего агента. В теплое время года за счет испарения передается более 90 % теплоты. Таким образом, охлаждение осуществляется в результате теплообмена [1, 2].

Из технической термодинамики известно, что испарение происходит всегда при любой температуре со свободной поверхности жидкости или твердого тела. Процесс испарения заключается в том, что отдельные молекулы с большими скоростями преодолевают притяжение соседних молекул и вылетают в окружающее пространство. Интенсивность испарения возрастает с увеличением температуры жидкости.

Движущая сила, необходимая для преодоления силы трения потоков, которая мешает течению воздуха, обеспечивается нагнетательными или вытяжными вентиляторами, либо за счет естественной конвекции вследствие того, что по сравнению с сухим, увлажненный воздух имеет меньшую плотность.

Общую движущую силу можно выразить суммой отдельных движущих сил в потоках воздуха и воды [3]:

$$h^* - h_i = (h_i - h) + (h^* - h_i), \quad (1)$$

где h^*-энтальпия воздуха, насыщенного при температуре основной массы потока воды (кДж/кгК); h – энтальпия смеси воздух – вода – пар (кДж/кгК); h_i – энтальпия поверхности раздела воздух – жидкость (кДж/кгК).

Работа при воздушном перемешивании жидкой фазы производится за счет энергии сжатого воздуха и в первом приближении может быть рассчитана, как работа изотермического сжатия:

$$dL = FdH, \quad (2)$$

где F – сила гидравлического сопротивления среды (Н), L – работа, затрачиваемая на подъем воздуха на высоту dH (Дж).

Сила гидравлического сопротивления записывается следующим образом:

$$F = (n\pi d^3_{ср}/6)(\rho_ж - \rho_г)g, \quad (3)$$

где n – число воздушных пузырьков, $d_{ср}$ – средний диаметр пузырьков (м), $\rho_ж$, $\rho_г$ – плотность воды и воздуха (кг/м^3).

Поскольку $\rho_ж \gg \rho_г$, то последним пренебрегают. Тогда:

$$F = Q\,\rho_ж\,g, \quad (4)$$

где $Q = n\pi d^3_{ср}/6$ – объем всех пузырьков в аппарате (м^3).

Известны градирни различных типов: вентиляторные, башенные, поперечноточные, эжекторные, сухие и др. [4].

Вентиляторные градирни являются наиболее совершенным типом охладителей воды, поскольку обеспечивают практически устойчивое охлаждение воды путем изменения частоты вращения вентиляторов или их периодического отключения. В этих градирнях допускаются более высокие тепловые нагрузки и глубокое охлаждение воды, то есть большее приближение температуры охлажденной воды к теоретическому пределу охлаждения (температуре атмосферного воздуха по мокрому термометру) за счет повышенного относительного расхода воздуха, проходящего через градирню [4.5].

Тепловая нагрузка на 1 м^2 площади оросителя вентиляторных градирен может составлять до 335–419 тыс. кДж/(ч·м^2) и выше. Гидравлическая нагрузка на 1 м^2 площади вентиляторной градирни ориентировочно может быть принята при капельно-пленочном оросителе 5–6 м^3/(ч·м^2). Разность температур воды при расчете назначается в зависимости от температуры воды, поступающей на градирню (не более 25^0 С), скорость воздуха в оросителе принимается не более 4–4,5 м/с, разность температур охлажденной воды и атмосферного воздуха по мокрому термометру не менее 4–5 °С (в отдельных случаях до 2–3 °С).

На рисунке 1 представлена схема вентиляторной градирни с принудительной тягой.

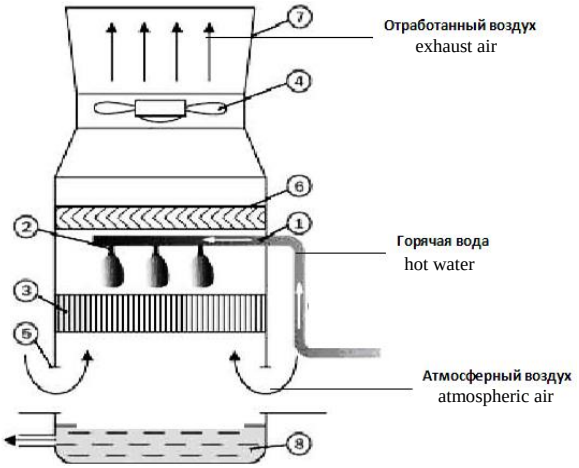


Рисунок 1. Схема вентиляторной градирни: 1 – горячая вода, 2 – водораспределитель, 3 – ороситель, 4 – вытяжной вентилятор, 5 – входные окна, 6 – водоуловитель, 7 – диффузор, 8 – поддон с охлажденной водой

Figure 1. Fan cooling tower layout: 1 - hot water, 2 - water distributor, 3 - fill, 4 - exhaust fan, 5 - inlet windows, 6 - water trap, 7 - diffuser, 8 - chilled water pan

Градирня называется противоточной, поскольку нагнетаемый воздух движется снизу вверх навстречу охлаждаемой воде.

Главным преимуществом градирни является охлаждающая способность. Перепад по оборотной воде может достигать 30 °С за счет создания мощного потока воздуха в оросительном пространстве навстречу потоку охлаждаемой воды. Тем самым интенсифицируется процесс переноса массы из одной фазы (воды) в другую (воздух), то есть это типичный процесс сопряженного тепломассопереноса.

При проектировании охлаждаемой теплообменной аппаратуры следует принимать в качестве расчетной начальную температуру воды для наиболее неблагоприятных (летних) условий с тем, чтобы обеспечить надежную и бесперебойную работу теплообменных устройств в течение всего года [6].

Рассмотрим основные элементы градирен.

Ороситель является главным элементом градирни. Он предназначен для увеличения поверхности контакта между водой и воздухом и, следовательно, для ускорения процесса охлаждения. При выборе типов оросителей следует отдать предпочтение таким, которые будут обеспечивать более высокую охлаждающую способность и низкие потери напора. Рационально использовать оросители из полимерных материалов капельно – пленочного типа сетчатой структуры, поскольку происходит нарушение сплошности по ходу движения воды и воздуха, чередуются капельные и пленочные режимы работы. Как следствие, перераспределение и дополнительная турболизация взаимодействующих потоков, интенсифицируется тепломассоперенос. Охлаждающая способность оросителя увеличивается до 70 %, существенно снижается коэффициент аэродинамического сопротивления, что положительно сказывается на экономии электроэнергии.

Водоуловитель максимально снижает капельный унос оборотной воды при минимальном аэродинамическом сопротивлении. Эффективность водоулавливания в вентиляторных градирнях максимальна при скорости воздуха 2–3 м/с. Оправдано использовать конструкцию водоуловителя в форме полуволны, поскольку обеспечивается улавливание капель практически до 100 %. Отпадает необходимость в использовании многорусных каплеуловителей с большим аэродинамическим сопротивлением.

Водораспределительные системы предназначены для равномерного распределения охлаждаемой воды по площади поверхности оросителя. Они не должны затруднять прохождению воздушных масс в градирне. Основной системой распределения воды является разбрызгивающее напорное водораспределительное устройство. Это система трубопроводов с присоединенными к ним водоразбрызгивающими соплами или форсунками различных видов и конструкций. Форсунки должны создавать оптимальные размеры капель 2–3 мм при распыле оборотной воды и попадании их на поверхность оросителя. Количество сопел (форсунок) и шаг между ними определяется расчетами.

Энергия, поступающая на распыливание, расходуется на следующие виды:

1. Энергия для преодоления поверхностного натяжения при образовании развитой поверхности капель E_p

$$E_p=\sigma S_k, \quad (5)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения (Н/м), S_k – суммарная площадь поверхности капель ($м^2$).

2. Энергия для сообщения жидкости поступательного движения (гидравлическая энергия) E_r

$$E_r= m_ж\, \omega^2_ж/2 \quad (6)$$

где $m_ж$, $\omega_ж$ – масса и скорость истечения жидкости (кг, м/с).

3. Энергия для преодоления сил трения в распылителе и энергия диссипации.

Гидравлический КПД равен отношению

$$\eta= E_r/E, \quad (7)$$

где E – полная энергия, подводимая к распылителю.

Гидравлический КПД зависит в основном от конструкции распылителя, качества изготовления и скорости жидкости. Наибольший КПД у гидравлических форсунок [7].

Входные окна оказывают существенное влияние на равномерность распределения воздуха по площади поверхности оросителя и на величину аэродинамических сопротивлений градирни. Оптимальное соотношение площади входных окон к площади поверхности оросителя составляет 0,35–0,45.

С целью устранения у острых кромок окон вихрей следует устанавливать козырьки над ними. В результате получается безотрывное поступление воздуха в ороситель, а величина общего коэффициента сопротивления градирни снижается на 8–20 %.

Целесообразно включить в оборотную систему технического водоснабжения холодильную установку с целью получения более низких температур воздуха в теплое время года. Для этого воздушный поток (или его часть) из атмосферы направляется через испаритель, где охлаждается и поступает в градирню.

Теплый воздух после конденсатора можно использовать для устранения обледенения элементов градирни в холодное время года или направлять на производство в качестве теплоносителя.

Заключение

Повышение эффективности действующих и разработка новых современных градирен, надежных и удобных в эксплуатации, максимально удовлетворяющих производственным требованиям независимо от погодных условий, энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных остается актуальной задачей.

Надеемся, что наша работа внесет скромный вклад в частичном решении сформированной проблемы.

Литература

1 Ежов В.С., Захаров А.Е. Инновационный вариант повышения эффективности вентиляторных градирен // Будущее науки-2020. 2020. С. 215-219.

2 Лаптев А.Г., Лаптева Е.А. Математические модели и расчет коэффициентов тепло-и массоотдачи в насадках вентиляторных градирен // Инженерно-физический журнал. 2017. Т. 90. №. 3. С. 678-684.

3 Николаева О.С. Теплотехнические расчеты вентиляторных градирен // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. БЕ Веденеева. 2017. Т. 283. С. 82-87.

4 Недоспасов Д.С. Вентиляторные градирни, принцип работы и эксплуатация // Стратегии и тренды развития науки в современных условиях. 2019. №. 1. С. 46-48.

5 Сосновский С.К., Кравченко В.П. Коэффициент эффективности работы вентиляторных и башенных градирен // Теплоэнергетика. 2014. №. 9. С. 20-20.

6 Крюков О.В., Серебряков А.В. Инвариантное управление электроприводом вентиляторных градирен // Тенденции развития науки и образования. 2015. С. 101-102.

7 Губарев В.Я., Арзамасцев А.Г., Морева Ю.О. Исследование процессов теплообмена в канале оросителя вентиляторной градирни // Труды седьмой российской национальной конференции по теплообмену. 2018. С. 145-146.

8 He W. et al. Optimal thermal management of server cooling system based cooling tower under different ambient temperatures // Applied Thermal Engineering. 2022. V. 207. P. 118176.

9 Morrison F. Saving water with cooling towers // ASHRAE Journal. 2015. V. 57. №. 8. P. 20.

10 Pandelidis D. et al. Comparative analysis between traditional and M-Cycle based cooling tower // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2020. V. 159. P. 120124.

11 Fan X., Lu X., Nie H., Zhu H. et al. An experimental study of a novel dew point evaporative cooling tower based on M-cycle // Applied Thermal Engineering. 2021. V. 190. P. 116839. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2021.116839

12 Rubio-Castro E. et al. Synthesis of cooling water systems with multiple cooling towers // Applied Thermal Engineering. 2013. V. 50. №. 1. P. 957-974.

13 Guerras L.S., Martín M. On the water footprint in power production: Sustainable design of wet cooling towers // Applied Energy. 2020. V. 263. P. 114620.

14 Shublaq M., Sleiti A. K. Experimental analysis of water evaporation losses in cooling towers using filters // Applied Thermal Engineering. 2020. V. 175. P. 115418.

15 Ghoddousi S., Anderson A., Rezaie B. Advancing water conseration in cooling towers through energy-water nexus // Eur. J. Sustain. Dev. Res. 2021.

16 Van Limpt B., Van Der Wal A. Water and chemical savings in cooling towers by using membrane capacitive deionization // Desalination. 2014. V. 342. P. 148-155.

17 Pandelidis D. Numerical study and performance evaluation of the Maisotsenko cycle cooling tower // Energy Conversion and Management. 2020. V. 210. P. 112735.

18 Fan X. et al. An experimental study of a novel dew point evaporative cooling tower based on M-cycle // Applied Thermal Engineering. 2021. V. 190. P. 116839.

19 Duniam S. et al. Comparison of direct and indirect natural draft dry cooling tower cooling of the sCO2 Brayton cycle for concentrated solar power plants // Applied Thermal Engineering. 2018. V. 130. P. 1070-1080.

20 Ayoub A., Gjorgiev B., Sansavini G. Cooling towers performance in a changing climate: Techno-economic modeling and design optimization // Energy. 2018. V. 160. P. 1133-1143.

References

1 Ezhov V.S., Zakharov A.E. An innovative option for increasing the efficiency of fan cooling towers. Future of Science-2020. 2020. pp. 215-219. (in Russian).

2 Laptev A.G., Lapteva E.A. Mathematical models and calculation of heat and mass transfer coefficients in the nozzles of fan cooling towers. Engineering and Physical Journal. 2017. vol. 90. no. 3. pp. 678-684. (in Russian).

3 Nikolaeva O.S. Thermal engineering calculations for fan cooling towers. BE Vedeneeva. 2017. vol. 283. pp. 82-87. (in Russian).

4 Nedospasov D.S. Fan cooling towers, principle of operation and operation. Strategies and trends in the development of science in modern conditions. 2019. no. 1. pp. 46-48. (in Russian).

5 Sosnovsky S.K., Kravchenko V.P. Efficiency coefficient of fan and tower cooling towers. Teploenergetika. 2014. no. 9. pp. 20-20. (in Russian).

6 Kryukov O.V., Serebryakov A.V. Invariant control of the electric drive of fan cooling towers. Trends in the development of science and education. 2015. pp. 101-102. (in Russian).

7 Gubarev V.Ya., Arzamastsev A.G., Moreva Yu.O. Investigation of heat transfer processes in the fill channel of a fan cooling tower. Proceedings of the seventh Russian national conference on heat transfer. 2018. pp. 145-146. (in Russian).

8 He W. et al. Optimal thermal management of server cooling system based cooling tower under different ambient temperatures. Applied Thermal Engineering. 2022. vol. 207. pp. 118176.

9 Morrison F. Saving water with cooling towers. ASHRAE Journal. 2015. vol. 57. no. 8. pp. 20.

10 Pandelidis D. et al. Comparative analysis between traditional and M-Cycle based cooling tower. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2020. vol. 159. pp. 120124.

11 Fan X., Lu X., Nie H., Zhu H. et al. An experimental study of a novel dew point evaporative cooling tower based on M-cycle. Applied Thermal Engineering. 2021. vol. 190. pp. 116839. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2021.116839

12 Rubio-Castro E. et al. Synthesis of cooling water systems with multiple cooling towers. Applied Thermal Engineering. 2013. vol. 50. no. 1. pp. 957-974.

13 Guerras L.S., Martín M. On the water footprint in power production: Sustainable design of wet cooling towers. Applied Energy. 2020. vol. 263. pp. 114620.

14 Shublaq M., Sleiti A. K. Experimental analysis of water evaporation losses in cooling towers using filters. Applied Thermal Engineering. 2020. vol. 175. pp. 115418.

15 Ghoddousi S., Anderson A., Rezaie B. Advancing water conseration in cooling towers through energy-water nexus. Eur. J. Sustain. Dev. Res. 2021.

16 Van Limpt B., Van Der Wal A. Water and chemical savings in cooling towers by using membrane capacitive deionization. Desalination. 2014. vol. 342. pp. 148-155.

17 Pandelidis D. Numerical study and performance evaluation of the Maisotsenko cycle cooling tower. Energy Conversion and Management. 2020. vol. 210. pp. 112735.

18 Fan X. et al. An experimental study of a novel dew point evaporative cooling tower based on M-cycle. Applied Thermal Engineering. 2021. vol. 190. pp. 116839.

19 Duniam S. et al. Comparison of direct and indirect natural draft dry cooling tower cooling of the sCO2 Brayton cycle for concentrated solar power plants. Applied Thermal Engineering. 2018. vol. 130. pp. 1070-1080.

20 Ayoub A., Gjorgiev B., Sansavini G. Cooling towers performance in a changing climate: Techno-economic modeling and design optimization. Energy. 2018. vol. 160. pp. 1133-1143.

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, e-mail@m.ru

Сергей А. Никель к.т.н., доцент, кафедра физики, теплотехники и теплоэнергетики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, sergei.nickel@yandex.ru

Анна А. Дерканосова д.т.н., профессор, 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

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, se-rezha.tolstoff@ya.ru

Сергей Л. Панченко 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, psl84@mail.ru

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, e-mail@m.ru

Sergei A. Nickel Cand. Sci. (Engin.), associate professor, physics, heatengineering and heat power engineering department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, sergei.nickel@yandex.ru

Anna A. Derkanosova Dr. Sci. (Engin.), 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

Sergey A. Tolstov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, aircraft engines department, Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, 54 "A" Starykh Bolshevikov str., Voronezh, 394064, Russia, se-rezha.tolstoff@ya.ru

Sergey L. Panchenko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, aircraft engines department, Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, 54 "A" Starykh Bolshevikov str., Voronezh, 394064, Russia, psl84@mail.ru

Вклад авторов

Юлиан И. Шишацкий консультация в ходе исследования
Сергей А. Никель консультация в ходе исследования
Анна А. Дерканосова консультация в ходе исследования
Сергей А. Толстов написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Сергей Л. Панченко консультация в ходе исследования

Contribution

Yulian I. Shishatskii consultation during the study
Sergei A. Nickel consultation during the study
Anna A. Derkanosova consultation during the study
Sergey A. Tolstov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Sergey L. Panchenko consultation during the study

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/04/2022 **После редакции** 13/05/2022 **Принята в печать** 03/06/2022

Received 11/04/2022 **Accepted in revised** 13/05/2022 **Accepted** 03/06/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-39-45 Обзорная статья/Review article
УДК 664.681 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Анализ изобретений, продуктов, технологий и оборудования процесса экструзии растительного сырья

Алена Н. Гуляева [1] nikol163@bk.ru 0000-0003-3299-1470
Владимир В. Бахарев [1] knilsstu@gmail.com 0000-0001-8515-9309

1 Самарский Государственный Технический Университет, ул. Молодогвардейская, 244, г. Самара, 443001, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены теоретические основы процесса экструзии. Пищевая экструзия может быть определена как процесс смешивания, гомогенизации и формования пищевых материалов с низким содержанием влаги и, в последнее время, пищевых материалов с высоким содержанием влаги в промежуточные или готовые продукты путем продавливания их через специально разработанную головку. Слово «экструдировать» происходит от латинских слов «ex» (выходить) и «trudere» (выталкивать). Пищевая экструзия — это современный высокотемпературный процесс кратковременного приготовления с несколькими другими единичными операциями, такими как замешивание, нагрев, смешивание и формование в одном устройстве. Экструзионная обработка пищевых продуктов широко используется для реструктуризации пищевых материалов на крахмальной и белковой основе для производства различных готовых к употреблению сухих завтраков: заменителей хлеба и кормов для домашних животных. Приведен общая технология производства пищевух экструдированных продуктов и вид одношнекового пищевого экструдера. Цель исследования состояла в систематизации, и анализа патентных данных по процессу экструзии в пищевой отрасли. В исследовании было проанализировано, систематизировано и обобщено 79 патентов по оборудованию, технологии и продуктам, использующим процесс экструзии. Выявлено, что 46,8% заявителей располагаются на территории Российской Федерации, в 50,6% патентных документах растительным сырьем является зерномучное. Максимальное количество патентов было выдано в 2016 году. Наибольший вес в процентном соотношении имеет технология продуктов, которые подвергнуты сами или сырье процессу экструзии.

Ключевые слова: экструзия, патент, изобретения, анализ, экструдер, сырье, оборудование

Analysis of inventions, products, technologies and equipment for the extrusion process of plant raw material

Alena N. Gulyaeva [1] nikol163@bk.ru 0000-0003-3299-1470
Vladimir V. Baharev [1] knilsstu@gmail.com 0000-0001-8515-9309

1 Samara State Technical University, st. Molodogvardeiskaya, 244, Samara, 443001, Russia

Abstract. The article deals with the theoretical foundations of the extrusion process. Food extrusion can be defined as the process of mixing, homogenizing and shaping low moisture food materials and more recently high moisture food materials into intermediate or finished products by forcing them through a specially designed die. The word "extrude" comes from the Latin words "ex" (to come out) and "trudere" (to push out). Food extrusion is a state of the art high temperature short time cooking process with several other single operations such as kneading, heating, mixing and shaping in one unit. Food extrusion processing is widely used to restructure starch and protein-based food materials to produce a variety of ready-to-eat breakfast cereals: bread substitutes and pet food. The general technology for the production of extruded food products and the type of a single-screw food extruder are given. The purpose of the study was to systematize and analyze patent data on the extrusion process in the food industry. The study analyzed, systematized and summarized 79 patents on equipment, technology and products using the extrusion process. It was revealed that 46.8% of applicants are located on the territory of the Russian Federation, in 50.6% of patent documents, grain and flour is used as vegetable raw materials. The maximum number of patents were issued in 2016. The technology of products that are themselves or raw materials subjected to the extrusion process has the greatest weight in percentage terms.

Keywords: extrusion, patent, inventions, analysis, extruder, raw materials, equipment

Введение

Технология экструзии, хорошо известная в индустрии пластмасс, в настоящее время стала широко используемой технологией в агропищевой промышленности, где ее называют экструзионно-варочной [1]. Он использовался для производства так называемых инженерных продуктов питания и специальных кормов [2].

Вообще говоря, экструзионная варка растительного сырья связана с экструзией измельченного материала при баротермических условиях. С помощью энергии сдвига, создаваемой вращающимся шнеком, и дополнительного нагрева цилиндра пищевой материал нагревается до температуры его плавления или пластификации [3]. В этом измененном реологическом состоянии пища проходит под высоким давлением через матрицу или серию матриц, и продукт расширяется до своей конечной формы. Это приводит к тому, что физические и химические свойства экструдатов сильно отличаются от свойств используемого сырья [4].

Для цитирования
Гуляева А.Н., Бахарев В.В. Анализ изобретений, продуктов, технологий и оборудования процесса экструзии растительного сырья // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 39–45. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-39-45

For citation
Gulyaeva A.N, Baharev V.V. Analysis of inventions, products, technologies and equipment for the extrusion process of plant raw material. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 39–45. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-39-45

© 2022, Гуляева А.Н.. и др. / Gulyaeva A.N. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Пищевые экструдеры (экструзионно-варочные аппараты) относятся к семейству HTST (высокая температура короткого времени) – оборудования, способного выполнять задачи по приготовлению пищи под высоким давлением [5]. Это выгодно для пищевых продуктов и кормов, поскольку воздействие высоких температур в течение только короткого времени ограничивает нежелательные эффекты денатурации, например, белков, аминокислот, витаминов, крахмалов и ферментов [6]. Физические технологические аспекты, такие как теплопередача, массообмен, передача импульса, время пребывания и распределение времени пребывания, оказывают сильное влияние на свойства пищевых продуктов и кормов во время экструзионной варки и могут существенно повлиять на качество конечного продукта [7].

В настоящее время экструзионно-варочный метод используется для изготовления многих пищевых продуктов, начиная от простейших вспученных закусок и заканчивая аналогами мяса высокой степени переработки. К наиболее популярным продуктам, приготовленным методом экструзии, относятся:

— снеки прямого экструдирования, готовые к употреблению зерновые хлопья и разнообразные продукты для завтрака, изготовленные из зернового сырья и отличающиеся по форме, цвету и вкусу, а также простые в обращении с точки зрения производства;

— гранулы для закусок – полуфабрикаты, предназначенные для закусок, приготовленных во фритюре или в форме горячего воздуха, предварительно приготовленные макаронные изделия;

— детское питание, полуфабрикаты из муки, быстрорастворимые концентраты, функциональные компоненты;

— корма для домашних животных, кормовые концентраты и заменители молока для телят;

— текстурированный растительный белок (в основном из сои, хотя и не всегда), используемый при производстве аналогов мяса;

— хлебцы, панировочные сухари, эмульсии и пасты;

— продукты баротермической обработки для фармацевтической, химической, бумажной и пивоваренной промышленности;

— кондитерские изделия: различные виды сладостей, жевательная резинка [8].

Растущая популярность экструзионной варки в мировой агропродовольственной промышленности, вызванная, главным образом, ее практическим характером, побудила многих местных производителей внедрить ее в промышленных масштабах на основе местного сырья [9]. Экструзионная варка дает возможность использовать сырье, которое ранее не имело большого экономического значения или даже считалось отходами [10]. Внутренний рынок пополнился категорией высококачественных продуктов, относящихся к сектору полуфабрикатов и/или функционального питания. Практическое значение имеет тот факт, что рассматриваемый процесс может быть реализован с относительно небольшими усилиями, не требует чрезмерных капитальных вложений, а большинство оборудования удобно в использовании и предлагает множество приложений [11].

Способ подготовки сырья для приготовления пищевых продуктов зависит от используемых ингредиентов. В случае закусок прямого экструдирования это в основном материал на зерновой основе. В зависимости от его качества, он должен быть правильно измельчен и взвешен в соответствии с рецептурой и тщательно перемешан перед подачей в экструдер. Когда требуется кондиционирование, перед смешиванием обязательно добавляется вода для подготовки материала. На рисунок 1 представлена схема стандартной установки для производства прямой экструзии и многовкусовых снэков. В случае простых кукурузных закусок, то есть не обогащенных и являющихся однокомпонентными продуктами, технологическая линия значительно упрощается [12].

Эффект прямой экструзионной варки заключается в том, что после выхода из головки материал быстро расширяется, а экструдаты структурно напоминают соты, сформированные пучками расплавленных белковых волокон. При этом на простом одношнековом пищевом экструдере можно производить различные виды продуктов, отличающихся по форме, цвету, вкусу и консистенции [13]. Технология каждого из них требует соответствующего распределения температуры, давления и влажности материала при обработке. Поскольку основной задачей является получение экструдатов хорошего качества, гибкость и точный контроль, особенно термического процесса, имеют важное значение при проектировании и изготовлении современных экструдеров для приготовления пищи. Более чем часто процесс производства конкретных продуктов приходится разрабатывать эмпирическим путем [14].

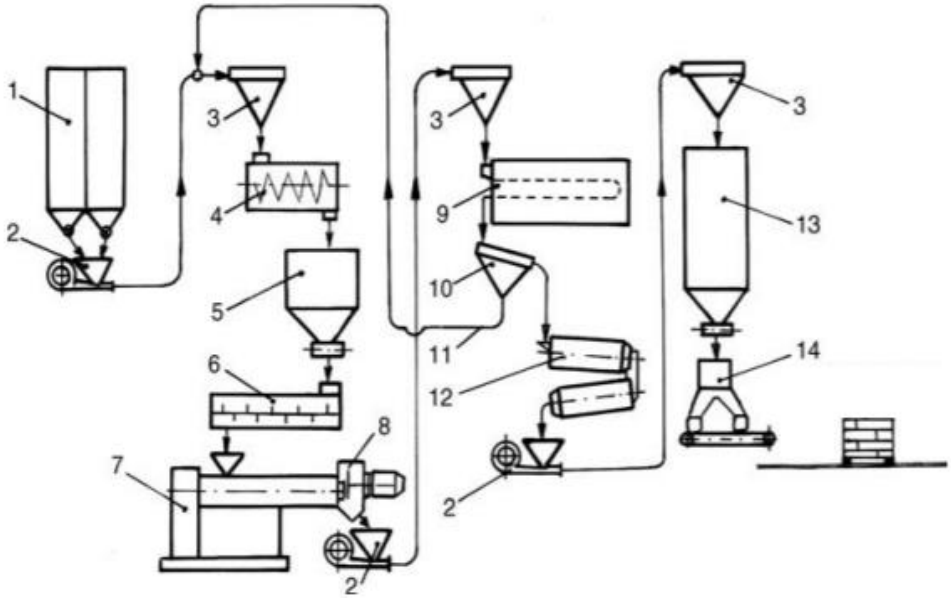


Рисунок 1. Схема установки для производства крупяных снеков [1]: 1 – силос с сырьем, 2 – пневмотранспортер, 3 – сборник, 4 – смеситель, 5 – весовой дозатор, 6 – кондиционер, 7 – экструдер, 8 – резак, 9 – сушилка, 10 – грохот, 11 – утилизатор пыли, 12 – барабаны для нанесения покрытия, 13 – бункеры готовой продукции, 14 – упаковочная машина

Figure 1. Installation diagram for the production of cereal snacks [1]: 1 – silo with raw materials, 2 – pneumatic conveyor, 3 – collector, 4 – mixer, 5 – weigher, 6 – conditioner, 7 – extruder, 8 – cutter, 9 – dryer, 10 – screen, 11 – dust disposer, 12 – drums for coating, 13 – finished product bins, 14 – packaging machine

Особый интерес представляют вопросы, связанные с энергоемкостью экструдирования растительного сырья. Измерения энергопотребления в одношнековых пищевых экструдерах находятся в пределах 0,1–0,2 кВт·ч·кг (без учета, конечно, затрат на подготовку материала, то есть измельчение и кондиционирование) [15]. Это свидетельствует о высокой конкурентоспособности экструзионно-варочной обработки по сравнению с традиционными методами термической обработки растительного сырья. Конечно, это не означает, что экструзионная варка идеальна для всех технологий и продуктов. Это альтернатива и во многих случаях конкурентоспособность по отношению к другим методам производства продуктов питания и кормов [16].

Экструзионная варка осуществляется в пищевых экструдерах – машинах, в которых основным рабочим органом является один шнек или пара шнеков, закрепленных в корпусе. При баротермической обработке (давление до 20 МПа, температура 200ºС) материал перемешивается, прессуется, плавится и пластифицируется в торцевой части машины (рисунок 2). Диапазон физико-химических изменений в перерабатываемом материале зависит главным образом от параметров процесса экструзии и конструкции экструдера, т. е. от его работоспособности [17].

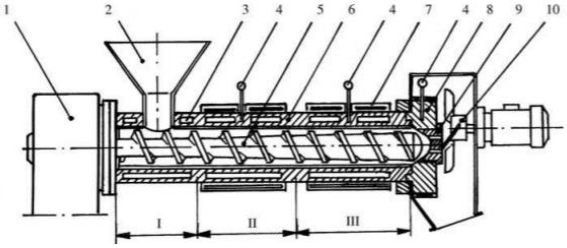


Рисунок 2. Поперечное сечение одношнекового пищевого экструдера: 1 – двигатель, 2 – питатель, 3 – рубашка охлаждения, 4 – термопара, 5 – шнек, 6 – цилиндр, 7 – рубашка обогрева, 8 – головка, 9 – штампы, 10 – резак, I – транспортная секция, II – секция сжатия, III – секция плавления и пластификации

Figure 2. Cross section of single screw food extruder: 1 – motor, 2 – feeder, 3 – cooling jacket, 4 – thermocouple, 5 – screw, 6 – cylinder, 7 – heating jacket, 8 – head, 9 – dies, 10 – cutter, I – transport section, II – compression section, III – melting and plasticizing section

Существует много общепринятых методов классификации пищевых экструдеров, но, на наш взгляд, наиболее практичным является тот, который учитывает следующие три фактора.

1) способ получения энергии механического трения, преобразуемой при экструзии в тепло (три типа экструдеров):

а) автогенный (источником тепла является трение частиц материала, вызванное винтом, вращающимся с высокой скоростью);

б) изотермические (с подогревом);

в) политропный (смешанный).

2) Количество генерируемой механической энергии (два типа экструдеров):

а) экструдеры низкого давления, обеспечивающие относительно ограниченную скорость сдвига;

б) экструдеры высокого давления, генерирующие большое количество механической энергии и усилия сдвига.

3) Конструкция узла пластификации, где и ствол, и шнек могут быть выполнены в виде единого цельного корпуса или закреплены отдельными модулями [18].

Цель исследования состоит в проведении анализа, систематизации и обобщения патентных данных по экструдированию растительного сырья. Результаты исследования выявляют наличие тенденций развития различной продукции экструзии.

Материалы и методы

Объекты исследования – описания российских изобретений с 2011 по 2021 гг.

В ходе исследования использовались теоретические методы – общенаучные методы описка патентных данных, сопоставление, анализ, синтез и описание систематизированной информации. Использована методика сбора данных Сангингалиева А.Г. [19].

Сбор данных для исследования производился через поисковую систему http://www.fips.ru [20].

Процесс отбора патентных документов трудоемкий, поэтому зададимся ограничениями: временной отрезок 10 лет и ключевые слова: экструзия и его производные.

Предметом исследования выбраны продукты растительного происхождения, вспомогательные и комбинированные продукты, а также фармацевтические продукты.

Результаты

Проведен анализ патентов по поисковым системам за последние 10 лет. Выявлено всего 79 документов об охране интеллектуальной собственности. Из них национальным заявителям выдано 37, а иностранным 42 патентов.

Анализ обобщенных данных по патентным документам позволяет сделать вывод, что в России процесс экструзии прежде всего изучался с точки зрения анализа сырья, оборудования, технологии и продукта (рисунок 3).

Общая систематизация по растительному сырью (рисунок 4) показывает, что большую долю составляют патенты на зерномучное сырье (40 патентов), а также смесь компонентов для производства продуктов (в частности кондитерских и хлебобулочных изделий – 36 патентов), на масличные продукты приходится всего 3 патента, патенты на продукты или технологии переработки бобовых и плодоовощных продуктов не заявлялись.

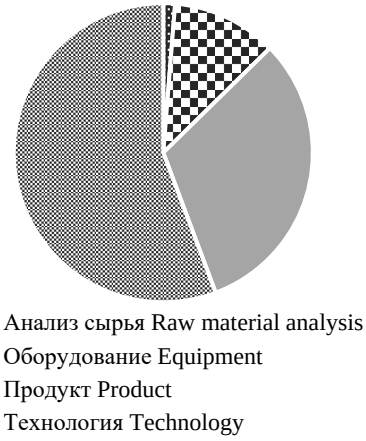


Рисунок 3. Соотношение по направлению классификации патента

Figure 3. Ratio by direction of patent classification

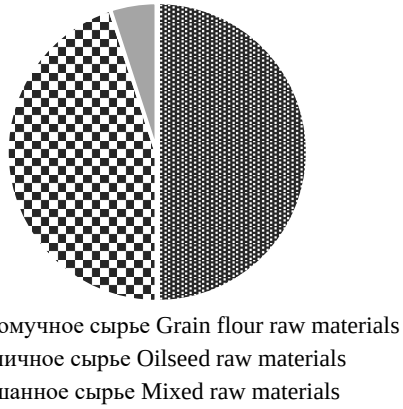


Рисунок 4. Структура используемого сырья

Figure 4. The structure of the raw materials used

Пики патентной деятельности (рисунок 5) в области поиска наблюдаются в следующие годы: в 2016 году – 12 патентов; в 2017 году – 11 патентов; в 2014 году – 10 патентов, в 2015 и 2012 годах – по 9 патентов, в 2011 году – 8 патентов, в 2021 году – 7 патентов. В остальные временные промежутки количество выданных патентов колеблется от 1 до 5.

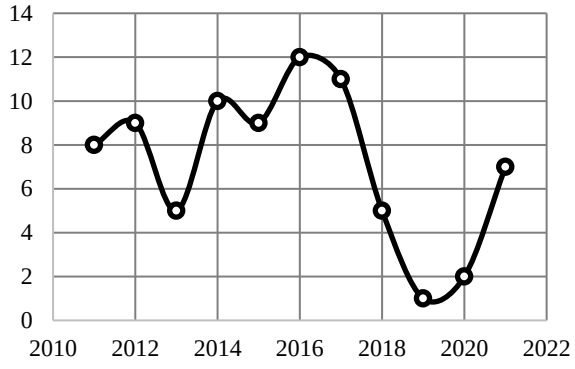


Рисунок 5. Динамика выдачи патентной документации за 2001–2021 года

Figure 5. Dynamics of the issuance of patent documentation for 2001–2021

Анализ распределения патентов по городам представлен на рисунок 6. Он показывает, что больше всего патентообладателей находится в Москве – 50 патентов, что составляет 63% от всего количества.

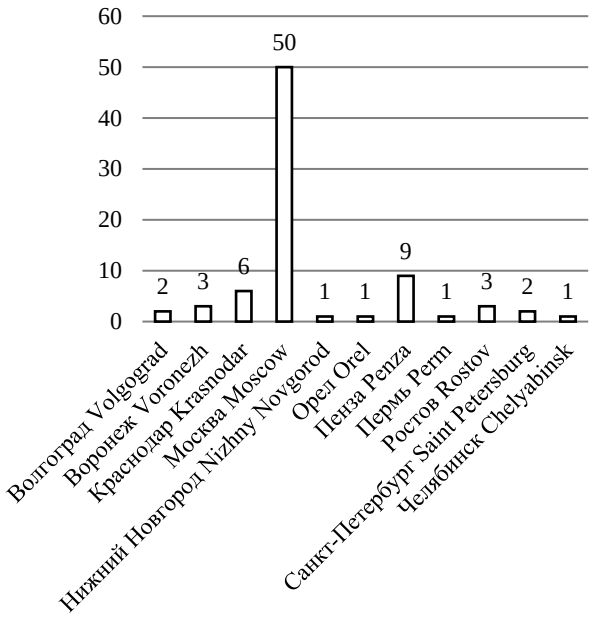


Рисунок 6. Анализ распределения патентов по городам

Figure 6. Analysis of the distribution of patents by city

Обсуждение

Использованная методика поиска патентной документации дала возможность обнаружить в российских поисковых системах 79 документов об охране интеллектуальной собственности, при этом всего 46,8% патентообладателей являются российскими заявителями. Основным географическим центром по нахождению патентообладателей является город Москва. Максимальное количество патентов было выдано в 2016 году – 12 штук. 55,9% патентов выдано на разработку технологии производства продукта, который подвергнут сам или его сырье процессу экструзии. 50,6% патентов выданы на продукты или технологию переработки зерномучного сырья.

Заключение

Пищевая экструзия – это технология, которая будет по-прежнему привлекать внимание исследователей во всех странах. Практически невозможно подробно обсудить все аспекты технологии пищевой экструзии в рамках одной статьи. Однако в документе основное внимание уделялось технологии, оборудованию и анализу патентных данных по процессу пищевой экструзии. Потенциал и преимущества технологии огромны, но их еще предстоит использовать в полной мере.

В частности, было отмечено, что основной объем зарегистрированных патентов основан на зерномучном сырье. Из имеющихся в изобилии злаков можно производить новые продукты питания. Это перспективное направление для стран, богатых зерновыми.

Литература

1 Kehinde A.A. Engineering Review Food Extrusion Technology and Its Applications // Journal of Food Science and Engineering. 2016. V. 6. P. 149–168. doi: 10.17265/2159–5828/2016.03.005

2 Mohammed S.A., Raouf A. Extrusion for the Production of Functional Foods and Ingredients // Innovative Food Processing Technologies. 2021. P. 22–35. doi: 10.1016/B978–0–08–100596–5.23041–2

3 Chiara R., Eline V.W., Muriel H., Yamina D.B. et al. Extrusion-cooking affects oat bran physicochemical and nutrition-related properties and increases its β-glucan extractability // Journal of Cereal Science. 2021. doi: 10.1016/j.jcs.2021.103360

4 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.

5 Adekola K.A. Engineering Review Food Extrusion Technology and Its Applications // Journal of Food Science and Engineering. 2016. V. 6. P. 149–168. doi: 10.17265/2159–5828/2016.03.005

6 Бахчевников О.Н., Брагинец С.В. Экструдирование растительного сырья для продуктов питания (обзор) // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50. № 4. С. 690–706. doi: 10.21603/2074–9414–2020–4–690–706

7 Grasso S. Extruded snacks from industrial by-products: A review // Trends in Food Science & Technology. 2020. V. 99. P. 284-294. doi: 10.1016/j.tifs.2020.03.012

8 Agarwal S., Chauhan E.S. Extrusion processing: The effect on nutrients and based products // The Pharma Innovation Journal. 2019. V. 8. № 4. P. 464-470.

9 Baskar G., Aiswarya R. Role of extrusion technology in food processing and its effect on nutritional values // International Journal of Food science and Technology. 2016. № 1. P. 1-4.

10 Pathak N., Kochhar A. Extrusion technology: Solution to Develop Quality Snacks for Malnourished Generation // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2018. V. 7. № 1. P. 1293-1307.

11 Gurbuz YAVUZ. Heat Applications in Feed and Food Processing // International Journal of Advances in Science Engineering and Technology. 2017. V. 5. № 3-1. P. 33-37.

12 Prabha K., Ghosh P., Abdullah S., Joseph R.M. et al. Recent development, challenges, and prospects of extrusion technology // Future Foods. 2021. V. 3. P. 100019. doi: 10.1016/j.fufo.2021.100019.

13 Offiah V., Kontogiorgos V., Falade K.O. Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review / V. Offiah, // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2019. V. 59. № 18. P. 2979–2998. doi: 10.1080/10408398.2018.1480007

14 Altan A., Maskan M. Development of extruded foods by utilizing food industry by-products // Advances in Food Extrusion Technology. CRC Press, Boca Raton, FL, 2011. P. 121-160.

15 Navale A.S. Swami B.S., Thakor N.J. Extrusion cooking technology for foods: A Review // Journal of Ready to Eat Food. 2015. V. 2. № 3. P. 66–80.

16 Choton S., Gupta N., Bandral J.D. et al. Extrusion technology and its application in food processing: A review // The Pharma Innovation Journal. 2020. V. 9. № 2. P. 162–168

17 Akhtar J., Malik S., Alam M.A., Student M.T. et al. Extrusion technology used for novel Foods Production // International Journal of Engineering Development and Research. 2015. № 3. P. 1-7.

18 Roye C., Henrion M., Chanvrier H. et al. Extrusion-cooking modifies physicochemical and nutrition-related properties of wheat bran // Foods. 2020. V. 9. № 6. doi: 10.3390/foods9060738.

19 Сагингалиева А.Г., Гумаров Г.С., Коновалов В.В., Машанова Н.С. Анализ базы патентов на изобретения продукции с использованием сырья растения рода боярышник // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2021. Т. 10. № 4 (56). С. 143–149. doi: 10.46548/21vek-2021–1056–0029

20 Федеральный институт промышленной собственности. ГКД: http://www.fips.ru

References

1 Kehinde A.A. Engineering Review Food Extrusion Technology and Its Applications. Journal of Food Science and Engineering. 2016. vol. 6. pp. 149–168. doi: 10.17265/2159–5828/2016.03.005

2 Mohammed S.A., Raouf A. Extrusion for the Production of Functional Foods and Ingredients. Innovative Food Processing Technologies. 2021. pp. 22–35. doi: 10.1016/B978–0–08–100596–5.23041–2

3 Chiara R., Eline V.W., Muriel H., Yamina D.B. et al. Extrusion-cooking affects oat bran physicochemical and nutrition-related properties and increases its β-glucan extractability. Journal of Cereal Science. 2021. doi 10.1016/j.jcs.2021.103360

4 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.

5 Adekola K.A. Engineering Review Food Extrusion Technology and Its Applications. Journal of Food Science and Engineering. 2016. vol. 6. pp. 149–168. doi: 10.17265/2159–5828/2016.03.005

6 Bakhchevnikov O.N., Braginets S.V. Extrusion of vegetable raw materials for food products (review). Technique and technology of food production. 2020. vol. 50. no. 4. pp. 690–706. doi: 10.21603/2074–9414–2020–4–690–706 (in Russian).

7 Grasso S. Extruded snacks from industrial by-products: A review. Trends in Food Science & Technology. 2020. vol. 99. pp. 284-294. doi: 10.1016/j.tifs.2020.03.012

8 Agarwal S., Chauhan E.S. Extrusion processing: The effect on nutrients and based products. The Pharma Innovation Journal. 2019. vol. 8. no. 4. pp. 464-470.

9 Baskar G., Aiswarya R. Role of extrusion technology in food processing and its effect on nutritional values. International Journal of Food science and Technology. 2016. no. 1. pp. 1-4.

10 Pathak N., Kochhar A. Extrusion technology: Solution to Develop Quality Snacks for Malnourished Generation. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2018. vol. 7. no. 1. pp. 1293-1307.

11 Gurbuz YAVUZ. Heat Applications in Feed and Food Processing. International Journal of Advances in Science Engineering and Technology. 2017. vol. 5. no. 3-1. pp. 33-37.

12 Prabha K., Ghosh P., Abdullah S., Joseph R.M. et al. Recent development, challenges, and prospects of extrusion technology. Future Foods. 2021. vol. 3. pp. 100019. doi: 10.1016/j.fufo.2021.100019.

13 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

14 Altan A., Maskan M. Development of extruded foods by utilizing food industry by-products. Advances in Food Extrusion Technology. CRC Press, Boca Raton, FL, 2011. pp. 121-160.

15 Navale A.S. Swami B.S., Thakor N.J. Extrusion cooking technology for foods: A Review. Journal of Ready to Eat Food. 2015. vol. 2. no. 3. pp. 66–80.

16 Choton S., Gupta N., Bandral J.D. et al. Extrusion technology and its application in food processing: A review. The Pharma Innovation Journal. 2020. vol. 9. no. 2. pp. 162–168

17 Akhtar J., Malik S., Alam M.A., Student M.T. et al. Extrusion technology used for novel Foods Production. International Journal of Engineering Development and Research. 2015. no. 3. pp. 1-7.

18 Roye C., Henrion M., Chanvrier H. et al. Extrusion-cooking modifies physicochemical and nutrition-related properties of wheat bran. Foods. 2020. vol. 9. no. 6. doi: 10.3390/foods9060738.

19 Sagingalieva A.G., Gumarov G.S., Konovalov V.V., Mashanova N.S. Analysis of the base of patents for inventions of products using raw materials from plants of the genus hawthorn. XXI century: results of the past and problems of the present plus. 2021. vol. 10. no. 4 (56). pp. 143–149. doi: 10.46548/21vek 2021–1056–0029

20 Federal Institute of Industrial Property. Available at: http://www.fips.ru

Сведения об авторах

Алена Н. Гуляева аспирант, кафедра технологии и организации общественного питания, Самарский Государственный Технический Университет, ул. Молодогвардейская, д. 244, г. Самара, 443001, Россия, nikol163@bk.ru
https://orcid.org/0000-0003-3299-1470
Владимир В. Бахарев д.х.н., доцент, декан, кафедра технологии пищевых производств и биотехнологии, Самарский Государственный Технический Университет, ул. Молодогвардейская, д. 244, г. Самара, 443001, Россия, knilsstu@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-8515-9309

Information about authors

Alena N. Gulyaeva postgraduate student, technology of food production and biotechnology department, Samara State Technical University, st. Molodogvardeiskaya, 244, Samara, 443001, Russia, nikol163@bk.ru
https://orcid.org/0000-0003-3299-1470
Vladimir V. Baharev Dr. Sci. (Chem.), professor, technology of food production and biotechnology department, Samara State Technical University, st. Molodogvardeiskaya, 244, Samara, 443001, Russia, knilsstu@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-8515-9309

Вклад авторов

Алена Н. Гуляева написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Владимир В. Бахарев консультация в ходе исследования

Contribution

Alena N. Gulyaeva wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Vladimir V. Baharev consultation during the study

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/04/2022	**После редакции** 10/05/2022	**Принята в печать** 02/06/2022

Received 20/04/2022	**Accepted in revised** 10/05/2022	**Accepted** 02/06/2022

Пищевая биотехнология

Food biotechnology

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-46-51 Оригинальная статья/Research article

УДК 637.072+ 637.04 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Разработка йогурта с антиоксидантными свойствами на основе использования инкапсулированного таксифолина

Ринат И. Фаткуллин [1] fatkullinri@susu.ru 0000-0002-1498-0703
Ирина В. Калинина [1] kalininaiv@susu.ru 0000-0002-6246-9870
Наталия В. Попова [1] nvpopova@susu.ru 0000-0001-7665-5984
Наталья В. Науменко [1] naumenkonv@susu.ru 0000-0002-9520-3251
Екатерина Е. Науменко [1] 9193122375@mail.ru 0000-0002-0213-1595

1 Южно-Уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, Челябинск, 454080, Россия

Аннотация. Целью настоящего исследования стало изучение возможности использования растительных антиоксидантов для получения пробиотических продуктов с антиоксидантными свойствами. В качестве пробиотический пищевой системы был выбран йогурт, полученный термостатным способом с применением коммерчески доступной йогуртной закваски. Являясь продуктом массового спроса йогурт с антиоксидантными свойствами может стать адекватным подходом в области решения проблем обеспечения населения биологически активными минорными веществами антиоксидантного действия. Одной из важных задач разработки, обогащенных пробиотических продуктов является оценка влияния используемых пищевых ингредиентов на развитие пробиотиков и формирование заданного качества самого продукта. По этой причине в рамках исследования проводили оценку таких показателей как титруемая кислотность, характеризующую течение процесса ферментации; содержание пробиотических микроорганизмов в сочетании с изучением их морфологии; антиоксидантную активность как показатель, отражающий сформированность новых функциональных свойств. В качестве антиоксиданта использовали порошок таксифолина в исходном и инкапсулированном по авторской методике виде (в гидроксипропил-бета-циклодекстрин). Результаты проведенных исследований показали, что включение таксифолина в состав йогурта позволяет обеспечить формирование пробиотического продукта с требуемым согласно действующей нормативной документации количеством пробиотических микроорганизмов (не менее 10^7 КОЕ на 1 г) и уровнем титруемой кислотности. При этом установлено, что использование таксифолина в инкапсулированном виде обеспечивает лучшее развитие заквасочной микрофлоры йогурта, содержание пробиотических микроорганизмов было на порядок выше, чем в образце с неинкапсулированным таксифолином. Значение антиоксидантной активности обогащенных образцов йогурта более, чем в 2 раза превышали значения для контрольного образца. Таким образом, полученные результаты показали, что при получении йогурта с антиоксидантными свойствами наиболее целесообразно вносить пищевой ингредиент на основе инкапсулированного таксифолина.

Ключевые слова: пищевая система, йогурт, таксифолин, инкапсуляция, антиоксидантная активность.

Development of a yogurt with antioxidant properties based on the use of encapsulated taxifolin

Rinat I. Fatkullin [1] fatkullinri@susu.ru 0000-0002-1498-0703
Irina V. Kalinina [1] kalininaiv@susu.ru 0000-0002-6246-9870
Natalia V. Popova [1] nvpopova@susu.ru 0000-0001-7665-5984
Natalya V. Naumenko [1] naumenkonv@susu.ru 0000-0002-9520-3251
Ekaterina E. Naumenko [1] 9193122375@mail.ru 0000-0002-0213-1595

1 South Ural State University , 76 Lenina Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia

Abstract. The aim of this study was to investigate the possibility of using plant antioxidants to produce probiotic products with antioxidant properties. The probiotic food system chosen was yoghurt produced by a thermostatic process using commercially available yoghurt sourdough. Being a mass-market product, yoghurt with antioxidant properties may become an adequate approach to solve the problems of providing the population with biologically active minor substances of antioxidant action. One of the important challenges in the development of fortified probiotic products is to assess the impact of the food ingredients used on probiotic development and the formation of a given quality of the product itself. For this reason, the research assessed indicators such as titratable acidity, which characterizes the course of the fermentation process; the content of probiotic microorganisms in combination with the study of their morphology; and antioxidant activity as an indicator reflecting the formation of new functional properties. Taxifolin powder in the original and encapsulated form (in hydroxypropyl-beta-cyclodextrin) according to the author's methodology was used as an antioxidant. The results of studies show that inclusion of taxifolin into the composition of yogurt ensures formation of probiotic product with the required amount of probiotic microorganisms (not less than 10^7 CFU per 1 g) and the titratable acidity level according to the current regulatory documentation. It was found that the use of taxifolin in encapsulated form provides a better development of the fermentation microflora of yoghurt, the content of probiotic microorganisms was one order of magnitude higher than in the sample with unencapsulated taxifolin. The value of antioxidant activity of the enriched yoghurt samples was more than 2 times higher than that of the control sample. Thus, the results obtained showed that when obtaining yoghurt with antioxidant properties it is most advisable to add a food ingredient based on encapsulated taxifolin.

Keywords: food system, yogurt, taxifolin, encapsulation, antioxidant activity.

Для цитирования

Фаткуллин Р.И., Калинина И.В., Попова Н.В., Науменко Н.В., Науменко Е.Е. Разработка йогурта с антиоксидантными свойствами на основе использования инкапсулированного таксифолина // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 46–51. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-46-51

For citation

Fatkullin R.I., Kalinina I.V., Popova N.V., Naumenko N.V., Naumenko E.E. Development of a yogurt with antioxidant properties based on the use of encapsulated taxifolin. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 46–51. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-46-51

© 2022, Фаткуллин Р.И. и др. / Fatkullin R. I. et al.

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

Введение

Пробиотические продукты занимают важное место в рационе питания населения, являясь источниками микроорганизмов, необходимых для формирования микробиома и, как следствие, иммунной системы человека [1, 2, 4–6, 8]. Одним из наиболее популярных пробиотических продуктов является йогурт, ассортимент которого наиболее широко развит и доступен населению. На сегодняшний день аналитики считают, что йогурт, с точки зрения роста продаж, является самым перспективным продуктом в России. На данный момент в России потребители йогуртов составляют 46% россиян, а в 2022 году эта цифра может возрасти до 49,5% [14, 16].

В связи с этим, развитие линейки йогуртов является динамичным процессом, определяющим появление новых видов продукции с разными характеристиками, в том числе, пониженной кислотностью, разнообразными вкусами и новыми функциональными свойствами. Особое внимание потребителей вызывают комплексные пищевые продукты, в системе которых присутствуют как пробиотики, так и функциональные вещества направленного действия. В этом контексте возрастает интерес к пробиотическим продуктам, обогащенным минорными биологически активными веществами, в том числе антиоксидантного действия. Огромное количество минорных биологически активных веществ антиоксидантного действия представлены растительными полифенолами: рутин, кверцетин, куркумин, таксифолин (дигидрокверцетин) и другими. Большинство из перечисленных соединений на сегодняшний день хорошо изучены, установлен обширный перечень их фармакобиологических эффектов, в числе которых нормализация системы кровообращения, антирадикальные свойства, предотвращение сердечно-сосудистых заболеваний [19–21].

Вместе с тем хорошо известна и технологическая проблематика использования растительных полифенолов в составе пищевых систем, связанная с их низкой растворимостью в вводе, химической лабильностью, склонностью к полимеризации и потере биологической активности. Кроме того, плохо изучена как способность растительных полифенолов сохранять свои свойства в составе сложных пищевых систем, так и влияние этих соединений на технологические процессы производства пищевых продуктов [19–21].

В частности, в литературе представлены исследования, указывающие на способность некоторых полифенолов угнетать развитие заквасочных культур микроорганизмов [7, 15]. Учитывая вышеизложенное, актуальным становится поиск подходов, направленных на комплексное решение технологической задачи получения обогащенных растительными антиоксидантами пробиотических молочных продуктов: сохранение полезных свойств биологически активных веществ в сочетании с активным развитием заквасочной микрофлоры.

Адекватным решением поставленной задачи может стать использование в качестве функционального пищевого ингредиента антиоксиданта в инкапсулированном виде.

Цель работы – изучение возможности использовании таксифолина, как растительного антиоксиданта, для получения обогащенных йогуртов и оценка его влияния в исходном и инкапсулированном виде на биотехнологические процессы формирования пищевой системы пробиотического продукта.

Материалы и методы

В качестве основного сырья для получения образцов йогуртов использовалось нормализованное пастеризованное молоко 3,2% жирности.

В качестве источника заквасочной микрофлоры использовалась коммерчески доступная закваска Vivo «Для йогурта», в составе которой заявлено присутствие таких микроорганизмов как: *Streptococcus thermophilus, Lactobacillus delbrueckii ssp.bulgaricus, Lactobacillus acidophilus, Bifidobacterium lactis*. Количество вносимой закваски и технология получения йогурта соответствовали рекомендациям производителя.

Минорное биологически активное вещество таксифолин вводили в состав йогурта перед началом сквашивания в виде порошка в исходной и инкапсулированной по авторской методике форме. Количество вносимого в рецептуру йогурта таксифолина (дигидрокверцетина) устанавливалось с учетом требования ГОСТ 31981–2013 и действующих норм потребления [12, 13].

В качестве объектов исследования были определены: ЙК (контроль) – йогурт, полученный по традиционной рецептуре и технологии; ЙТисх – йогурт, обогащенный таксифолином в исходном виде; ЙТинк – йогурт, обогащенный таксифолином в инкапсулированном виде (инкапсуляция таксифолина проводилась в гидроксипропил-бета-циклодекстрин).

Оценку влияния таксифолина в исходном и инкапсулированном виде на биотехнологические процессы и качество готового продукта проводили путем определения номенклатуры показателей для готовых йогуртов:

- титруемая кислотность, град. Тернера;
- морфология микрофлоры (микроскопические исследования);

- содержание пробиотических микроорганизмов, наиболее вероятное число (НВЧ), КОЕ на 1 г продукта;
- антиоксидантная активность,%.

Титруемую кислотность определяли по ГОСТ 3624. *Содержание пробиотических микроорганизмов, НВЧ* – по ГОСТ Р 56139–2014 Продукты пищевые специализированные и функциональные. Методы определения и подсчета пробиотических микроорганизмов. Морфологию микрофлоры изучали на основе микроскопии фиксированных препаратов, окрашенных по Грамму (увеличение×*1500*). *Общую антиоксидантную активность* определяли методом DPPH.

Результаты и обсуждение

Изучение влияния таксифолина в исходном и инкапсулированном виде на формирование свойств йогурта проводили в несколько этапов. Первично были оценены показатели титруемой кислотности образцов, результаты исследования представлены на рисунке 1.

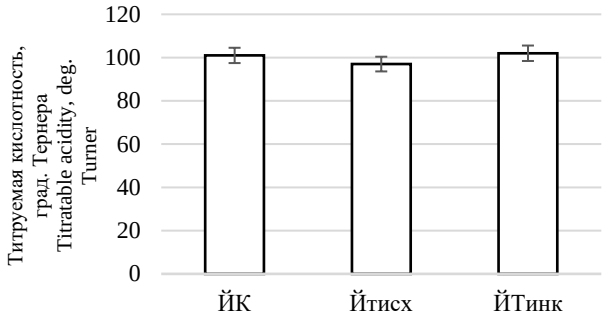


Рисунок 1. Титруемая кислотность исследуемых образцов йогурта, град. Тернера

Figure 1. Titratable acidity of the investigated samples of yogurt, deg. Turner

Одной из функций заквасочных культур в процессе ферментации является образование молочной кислоты, снижение pH, формирование характерной гелеобразной структуры йогурта и накопление ароматобразующих соединений. Известно, что на начальном этапе процесса ферментации ведущая роль в формировании титруемой кислотности принадлежит термофильным молочнокислым микроорганизмам, которые утилизируя свободные аминокислоты, обеспечивают снижение pH до значений благоприятных для развития *L. Bulgaricus*. При активном развитии болгарской палочки и других палочковидных микроорганизмов закваски рост *S. Thermophilus* замедляется. При этом, основным продуктом ферментации заквасочных культур является молочная кислота, обеспечивающая требуемые значения титруемой кислотности продукта [2–4, 6, 8–11, 17, 18].

Результаты проведенных исследований показали достаточную активность протекания процесса ферментации для всех образцов йогурта. По окончании процесса созревания титруемая кислотность йогуртов попадала в диапазон требуемых значений (75–140 °Т). Однако, необходимо отметить, что использование в составе йогурта растительного антиоксиданта таксифолина повлекло некоторое снижение интенсивности процессов кислотообразования микрофлорой закваски. Так, при использовании таксифолина в исходном виде значение титруемой кислотности готового продукта (ЙТисх) было на 5% ниже, чем у контрольного образца. Для образца с инкапсулированным таксифолином статистически значимых различий в сравнении с контролем отмечено не было.

Исследования, представленные в литературе, не дают точного ответа на вопрос о влиянии полифенолов на активность и развитие отдельных культур пробиотических микроорганизмов. Так исследования [5, 14] показали, что экстракт липы и эхинацеи оказывает негативное воздействие на развитие *Lactobacillus delbrueckii ssp. Bulgaricus*, замедляя процесс накопления титруемой кислотности йогуртов, тогда как экстракт шиповника, рябины и облепихи позволяет интенсифицировать процессы сквашивания продуктов, содержащих культуры *Lactobacillus acidophilus* [14]. Вероятно, влияние отдельных полифенолов носит выраженный узко специфический характер.

Наши результаты показывают, что таксифолин в неинкапсулированном виде, вероятно, оказывает слабое угнетающее действие на развитие микроорганизмов используемой в исследовании закваски.

На следующем этапе исследования были определены показатели, характеризующие функциональные свойства полученных образцов йогуртов (таблица 1). Уникальность и привлекательность йогурта как пробиотического продукта обусловлена, в первую очередь, его сложной микробной системой, состоящей из комплекса термофильных молочнокислых стрептококков и палочковидных форм бактерий, в первую очередь, *Lactobacillus delbrueckii ssp. Bulgaricus*. Именно совместное присутствие *L. Bulgaricus* и *S. Thermophilus* в системе продукта определяет его полезные свойства в направлении нормализации микробиома человека и его иммунной системы.

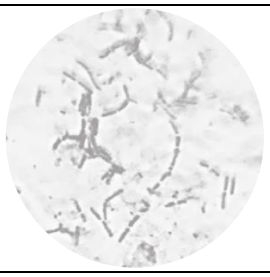
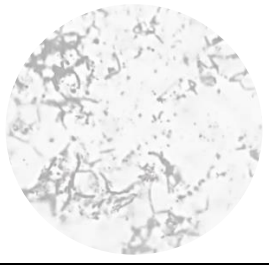
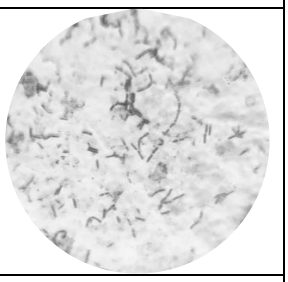
Изучение морфологии микрофлоры исследуемых образцов йогуртов проводили с использованием световой микроскопии по методу светлого поля. Характерный вид микрофлоры образцов визуализирован в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты изменения функциональных свойств исследуемых образцов йогуртов (n = 3), средние значения

Table 1.

The results of changes in the functional properties of the studied samples of yoghurts (n = 3), average values

Показатель Index	Образцы | Samples		
	ЙК	ЙТисх	ЙТинк
НВЧ микроорганизмов Most probable number of microorganisms	Более $1{,}1\times10^9$	$4{,}6\times10^8$	$2{,}9\times10^9$
Характерный вид микрофлоры (окраска по Грамму) The characteristic type of microflora (Gram stain)			
Антиоксидантная активность, % (DPPH) Antioxidant activity, % (DPPH)	24,6 ± 0,7	67,3 ± 1,2	51,8 ± 0,9

Результаты микроскопии исследуемых образцов йогуртов позволили установить, что в каждом из исследуемых объектов наблюдалась типичная для данного вида закваски микрофлора, посторонних микроорганизмов не обнаружено. Микрофлора исследуемых образцов йогуртов преимущественно представлена развитой палочковидной микрофлорой, что согласно маркировочных данных к закваске, можно идентифицировать как *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus, Lactobacillus acidophilusю* Также отмечено присутствие *Streptococcus thermophilus* в виде моно-, дипло- и стрептококков.

Согласно требованиям ГОСТ 31981–2013, концентрация микроорганизмов закваски должна составлять не менее чем 10^7 КОЕ в 1 г продукта. При определении наиболее вероятного числа микроорганизмов были получены результаты, указывающие на соответствие всех исследуемых образцов йогуртов требованиям действующего стандарта. Вместе с тем, в образце йогурта с таксифолином в исходной форме значение показателя было на один порядок ниже, что в двух других образцах, что в целом согласуется и с более низкими значениями титруемой кислотности йогурта ЙТисх.

Для установления сформированности новых функциональных свойств йогуртов, обогащенных растительными антиоксидантами, на заключительном этапе исследований была проведена оценка антиоксидантной активности полученных образцов йогурта, для чего использовался DPPH метод (таблица 1). Результаты исследования данного показателя свидетельствуют о том, что включение таксифолина в пищевую систему йогурта приводит к значительному росту его антиоксидантных свойств. Антиоксидантная активность образца ЙТисх характеризовалась наиболее высоким значением, более чем в 2,5 раза превышающим контрольный образец. Значение антиоксидантной активности образца ЙТинк на 23% уступали ЙТисх, что вероятно обусловлено сохранением защитной оболочки таксифолина, сформированной гидроксипропил-бета-циклодекстрином при инкапсуляции антиоксиданта. При этом, значения антиоксидантной активности данного образца более чем в два раза превышали контрольный.

Заключение

По результатам проведенных исследований можно отметить доказанную возможность применения растительного антиоксиданта таксифолина для получения обогащенного йогурта с антиоксидантными свойствами. Установлено, что наиболее целесообразно внесение таксифолина в пищевую систему йогурта в инкапсулированном виде, что позволяет получить пробиотический продукт с развитой микрофлорой, требуемым количеством пробиотических микроорганизмов в совокупности с высокой антиоксидантной активностью.

Благодарности

Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых МК-3690.2021.5.

Литература

1 Артюхова С.И., Толстогузова Т.Т. Изучение биотехнологических свойств молочнокислых бактерий для функционального питания // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. С. 65.

2 Бредихин С.А., Космодемгенский Ю.В., Юрин В.Н. Технология молока и молочных продуктов. М.: «Колос», 2003. 105 с.

3 Белясова Н.А. Микробиология молочных производств: учебник. Мн.: Высшая шк., 2012. 443 с.

4 Бондарева Г.И. Изучение биотехнологических свойств микробного консорциума // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 6. С. 80–81.

5 Бондаренко В.М., Грачева Н.М. Препараты пробиотики, пребиотики и синбиотики в терапии и профилактике кишечных дисбактериозов // Фарматека. 2003. № 7. С. 56–63.

6 Ботвинникова В.В., Ускова Д.Г., Попова Н.В. Практические предпосылки модификации технологии кисломолочных напитков для формирования заданных функциональных свойств // Вестник ВГУИТ. 2016. № 4. С. 172–180.

7 Герасимова Т.В., Лодыгин А.Д., Абакумова Е.А., Дергунова Е.В., Скороходова М.В. Изучение влияния БАВ лекарственных растений на рост и развитие молочнокислых микроорганизмов и бифидобактерий // Техника и технология пищевых производств. 2012. № 1. С. 1–4.

8 Забодалова Л.А., Белякова Т.Н., Антонцева Е.В. и др. Полисахариды вешенки в производстве йогурта // Молочная промышленность. 2019. № 2. С. 54–55.

9 Захарова Л.М., Лозманова С.С., Крохалева Л.В. Изучение технологических характеристик функционального кисломолочного продукта и его пищевой ценности // Актуальная биотехнология. 2014. № 1 (8). С. 12–15.

10 Кириченко И.С. Разработка продуктов питания функционального назначения, обогащенных сырьем растительного происхождения «здоровый завтрак три – О» // Научный Вестник ГАОУ ВО «НГГТИ». 2016. Т. 3. С. 43–47.

11 Крючкова В.В. Пребиотики в функциональных кисломолочных продуктах // Молочная промышленность. 2009. № 7. С. 34–36.

12 МР 2.3.1.1915–04. Методические рекомендации. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ.

13 МР 2.3.1.2432–08. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации.

14 Птуха А. Рынок кисломолочных продуктов за 2015–2019 гг. URL: http://ikc.belapk.ru/upload/iblock/548/548d37d1d9386905f7d20fb211e489d2.pdf

15 Скорикова. Т.К., Танащук Т.Н., Травникова Е.Э. Оценка устойчивости дрожжей рода Saccharomyces к полифенолам и танину // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2019. Т. 21. № 2. С. 139–142. doi: 10.35547/IM.2019.21.2.012

16 Федеральная служба государственной статистики. URL: http://www.gks.ru

17 Changkun L., Song J., Kwok L., Chen Y. Influence of Lactobacillus plantarum on yogurt fermentation properties and subsequent changes during postfermentation storage // Journal of Dairy Science. 2017. V. 100. № 4. P. 5–28.

18 Martensson O., Oste R., Holst O. Lactic acid bacteria in an oat-basednon-dairy milk substitute: fermentation characteristics and exopolysacchar-ide formation // Food Science and Technology/LWT – 33. 2000. P. 525–530.

19 Fatkullin R., Popova N., Kalinina I., Botvinnikova V. Application of ultrasonic waves for the improvement of particle dispersion in drinks // Agronomy Research. 2017. V. 15. № S2. P. 1295–1303.

20 Potoroko I.Yu., Berebin M.A., Kalinina I.V., Ivanova D.G. et al. Plant adaptogens in specialized food products as a factor of homeostatic regulation involving microbiota // Человек. Спорт. Медицина. 2018. V. 18. № 2. P. 97–108.

21 Potoroko I.Yu., Kalinina I.V., Naumenko N.V., Fatkullin R.I. et al. Sonochemical micronization of taxifolin aimed at improving its bioavailability in drinks for athletes // Человек. Спорт. Медицина. 2018. V. 18, № 3. P. 90–100.

References

1 Artyukhova S.I., Tolstoguzova T.T. Study of biotechnological properties of lactic acid bacteria for functional nutrition. Modern problems of science and education. 2015. no. 1. pp. 65. (in Russian).

2 Bredikhin S.A., Kosmodemgensky Yu.V., Yurin V.N. Technology of milk and dairy products. Moscow, Kolos, 2003. 105 p. (in Russian).

3 Belyasova N.A. Microbiology of dairy production: a textbook. Minsk, Higher school, 2012. 443 p. (in Russian).

4 Bondareva G.I. Study of the biotechnological properties of a microbial consortium. International Journal of Experimental Education. 2015. no. 6. pp. 80–81. (in Russian).

5 Bondarenko V.M., Gracheva N.M. Probiotics, prebiotics and synbiotics in the treatment and prevention of intestinal dysbacteriosis. Farmateka. 2003. no. 7. pp. 56–63. (in Russian).

6 Botvinnikova V.V., Uskova D.G., Popova N.V. Practical prerequisites for modifying the technology of fermented milk drinks for the formation of specified functional properties. Proceedings of VSUET. 2016. no. 4. pp. 172–180. (in Russian).

7 Gerasimova T.V., Lodygin A.D., Abakumova E.A., Dergunova E.V. et al. Study of the influence of biologically active substances of medicinal plants on the growth and development of lactic acid microorganisms and bifidobacteria. Technique and technology of food production. 2012. no. 1. pp. 1–4. (in Russian).

8 Zabodalova L.A., Belyakova T.N., Antontseva E.V. Oyster mushroom polysaccharides in the production of yogurt. Dairy industry. 2019. no. 2. pp. 54–55. (in Russian).

9 Zakharova L.M., Lozmanova S.S., Krokhaleva L.V. Study of the technological characteristics of a functional fermented milk product and its nutritional value. Actual biotechnology. 2014. no. 1 (8). pp. 12–15. (in Russian).

10 Kirichenko I.S. Development of functional food products enriched with raw materials of plant origin "healthy breakfast three - O". Scientific Bulletin of the State Autonomous Educational Institution of Higher Education "NGGTI". 2016. vol. 3. pp. 43–47. (in Russian).

11 Kryuchkova V.V. Prebiotics in functional fermented milk products. Dairy industry. 2009. no. 7. pp. 34–36. (in Russian).

12 12. MR 2.3.1.1915–04. Guidelines. Recommended levels of consumption of food and biologically active substances. (in Russian).

13 MR 2.3.1.2432-08. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. (in Russian).

14 Ptuha A. Market of fermented milk products for 2015–2019. Available at: http://ikc.belapk.ru/upload/iblock/548/548d37d1d9386905f7d20fb211e489d2.pdf (in Russian).

15 Skorikova. T.K., Tanashchuk T.N., Travnikova E.E. Evaluation of the resistance of yeast of the genus Saccharomyces to polyphenols and tannin. "Magarach". Viticulture and winemaking. 2019. vol. 21. no. 2. pp. 139–142. doi: 10.35547/IM.2019.21.2.012 (in Russian).

16 Federal State Statistics Service. Available at: http://www.gks.ru (in Russian).

17 Changkun L., Song J., Kwok L., Chen Y. Influence of Lactobacillus plantarum on yogurt fermentation properties and subsequent changes during postfermentation storage. Journal of Dairy Science. 2017. vol. 100. no. 4. pp. 5–28.

18 Martensson O., Oste R., Holst O. Lactic acid bacteria in an oat-basednon-dairy milk substitute: fermentation characteristics and exopolysacchar-ide formation. Food Science and Technology/LWT – 33. 2000. pp. 525–530.

19 Fatkullin R., Popova N., Kalinina I., Botvinnikova V. Application of ultrasonic waves for the improvement of particle dispersion in drinks. Agronomy Research. 2017. vol. 15. no. S2. pp. 1295–1303.

20 Potoroko I.Yu., Berebin M.A., Kalinina I.V., Ivanova D.G. et al. Plant adaptogens in specialized food products as a factor of homeostatic regulation involving microbiota. Human. Sport. The medicine. 2018. vol. 18. no. 2. pp. 97–108.

21 Potoroko I.Yu., Kalinina I.V., Naumenko N.V., Fatkullin R.I. et al. Sonochemical micronization of taxifolin aimed at improving its bioavailability in drinks for athletes. Human. Sport. The medicine. 2018. vol. 18. no. 3. pp. 90–100

Сведения об авторах

Ринат И. Фаткуллин к.т.н., доцент, кафедра пищевые и биотехнологии, Южно-Уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, Челябинск, 454080, Россия, fatkullinri@susu.ru https://orcid.org/0000-0002-1498-0703

Ирина В. Калинина д.х.н., профессор, кафедра пищевые и биотехнологии, Южно-Уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, Челябинск, 454080, Россия, kalininaiv@susu.ru https://orcid.org/0000-0002-6246-9870

Наталия В. Попова к.т.н., доцент, кафедра пищевые и биотехнологии, Южно-Уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, Челябинск, 454080, Россия, nvpopova@susu.ru https://orcid.org/0000-0001-7665-5984

Наталья В. Науменко д.х.н., профессор, кафедра пищевые и биотехнологии, Южно-Уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, Челябинск, 454080, Россия, naumenkonv@susu.ru https://orcid.org/0000-0002-9520-3251

Екатерина Е. Науменко магистр, кафедра пищевые и биотехнологии, Южно-Уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, Челябинск, 454080, Россия, 9193122375@mail.ru https://orcid.org/0000-0002-0213-1595

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

Rinat I. Fatkullin Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food and biotechnology department, South Ural State University, 76 Lenina Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia, fatkullinri@susu.ru https://orcid.org/0000-0002-1498-0703

Irina V. Kalinina Dr. Sci. (Chem.), professor, food and biotechnology department, South Ural State University, 76 Lenina Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia, kalininaiv@susu.ru https://orcid.org/0000-0002-6246-9870

Natalia V. Popova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food and biotechnology department, South Ural State University, 76 Lenina Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia, nvpopova@susu.ru https://orcid.org/0000-0001-7665-5984

Natalya V. Naumenko Dr. Sci. (Chem.), professor, food and biotechnology department, South Ural State University, 76 Lenina Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia, naumenkonv@susu.ru https://orcid.org/0000-0002-9520-3251

Ekaterina E. Naumenko master student, food and biotechnology department, South Ural State University, 76 Lenina Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia, 9193122375@mail.ru https://orcid.org/0000-0002-0213-1595

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 07/04/2022	**После редакции** 04/05/2022	**Принята в печать** 26/05/2022

Received 07/04/2022	**Accepted in revised** 04/05/2022	**Accepted** 26/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-52-56 Оригинальная статья/Research article
УДК 637.1 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Функционально-технологические свойства термостабильного концентрата сывороточных белков

Елена И. Мельникова [1] melnikova@molvest.ru 0000-0002-3474-2534
Екатерина Б. Станиславская [1] tereshkova-katia@yandex.ru 0000-0002-0955-6238
Екатерина Д. Шабалова [1] xxx210257@mail.ru 0000-0002-7802-6150

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

Аннотация. В статье представлены сведения о функционально-технологических свойствах порошков микропартикулята сывороточных белков различного состава. Частицы микропартикулята имели сходные внешние характеристики, а также близкие размеры. Средний диаметр частиц МСБ 60 составил 69,9 мкм, МСБ 80 – 66,5 мкм. Образцы миркопартикулята характеризовались хорошей смачиваемостью и диспергируемостью. Индекс растворимости МСБ 60 ниже, чем МСБ 80, что обусловлено большим содержанием хорошо-растворимой лактозы в его составе. Оба объекта исследований относились к «легким» порошкам с насыпной плотностью менее 0,6 г/см^3. Более высокое значение насыпной плотности МСБ 80 характеризует его как продукт с менее рыхлой структурой (в сравнении с МСБ 60), а значит, потенциально более стойкий в хранении. Оба образца микропартикулята характеризовались близким значением показателя термообработки, позволяющим отнести их к классу низкотемпературной обработки. Низкотемпературная обработка коррелирует и со значением UMSPN продуктов. Восстановленные образцы микропартикулятов характеризовались более высокой термоустойчивостью в сравнении с традиционным концентратом сывороточных белков. Проба на кипячение для МСБ 80 составила 2 мин при температуре 100 °С, а для МСБ 60 – 5 минут. Это позволяет отнести микропартикулят к термоустойчивым белковым концентратам с высокой технологичностью для применения в производстве различных продуктов питания.

Ключевые слова: сывороточные белки, функционально-технологические свойства, растворимость, насыпная плотность, класс термообработки, теромустойчивость

Functional and technological properties of thermostable whey protein concentrate

Elena I. Melnikova [1] melnikova@molvest.ru 0000-0002-3474-2534
Ekaterina B. Stanislavskaia [1] tereshkova-katia@yandex.ru 0000-0002-0955-6238
Ekaterina D. Shabalova [1] xxx210257@mail.ru 0000-0002-7802-6150

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

Abstract. The article presents information on the functional and technological properties of whey protein microparticulate powders of various compositions. The particles of the microparticulate had similar external characteristics, as well as close sizes. The average particle diameter of MWP 60 was 69.9 μm, that of MWP 80 was 66.5 μm. The microparticulate samples were characterized by good wettability and dispersibility. The solubility index of MWP 60 was lower than that of MWP 80, which is due to the high content of highly soluble lactose in its composition. Both objects of research belonged to "light" powders with a bulk density of less than 0.6 g/cm3. The higher value of the bulk density of MWP 80 characterizes it as a product with a less loose structure (in comparison with MWP 60), and therefore potentially more stable in storage. Both samples of the microparticle were characterized by a similar value of the heat treatment index, which makes it possible to attribute them to the class of low-temperature treatment. Low temperature processing also correlates with the UMSPN value of products. The reconstituted microparticulate samples were significantly more heat resistant than the whey protein concentrate without the microparticulate step. The boiling test for MWP 80 was 2 minutes at a temperature of 100 °C, and for MWP 60 it was 5 minutes. This makes it possible to classify microparticles as heat-resistant protein concentrates with high manufacturability for use in the production of various food products.

Keywords: whey protein, functional and technological properties, solubility, bulk density, heat treatment class, heat resistance.

Введение

В настоящее время к актуальной тенденции, определяющей развитие молочной отрасли, относится производство пищевых ингредиентов с высокой надбавленной стоимостью. Относительно новым белковым ингредиентом для Российского рынка является микропартикулят сывороточных белков. Применение микропартикулята сывороточных белков обусловлено его уникальными свойствами, позволяющими использовать его в качестве имитатора жира [1 – 3]. Технология производства микропартикулята предусматривает ультрафильтрационное концентрирование молочной сыворотки с последующей термомеханической обработкой полученного концентрата [4–5]. Применение мембранных методов позволяет максимально сохранить нативный состав и свойства концентрата молочного белка, обеспечивая улучшенные функционально-технологические характеристики [6].

Наиболее технологичной формой микропартикулята является сухой продукт. Он характеризуется длительным сроком годности, в течение которого сохраняет стабильный состав и свойства [7]. Ассортимент этой группы пищевых

Для цитирования
Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б., Шабалова Е.Д. Функционально-технологические свойства термостабильного концентрата сывороточных белков // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 52–56. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-52-56

For citation
Melnikova E.I. Stanislavskaia E.B., Shabalova E.D. Functional and technological properties of thermostable whey protein concentrate. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 52–56. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-52-56

© 2022, Мельникова Е.И. и др. / Melnikova E.I. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

ингредиентов в основном представлен микропартикулятами с содержанием белка 60% и 80% (в сухом веществе). Качественные показатели сухого микропартикулята зависят от состава и физико-химических изменений его компонентов в ходе технологических операций. Технологическими режимами производства обуславливаются основные физико-химические показатели, такие как содержание влаги, растворимость, смачиваемость, насыпная плотность и др. Большой практический интерес представляет исследование функционально-технологических характеристик сухой формы микропартикулята, обеспечивающих ее применимость в пищевых технологиях.

Материалы и методы

Исследования были проведены в условиях кафедры технологии продуктов животного происхождения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» и научно-испытательной лаборатории «Молоко» ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности». В качестве объектов исследования рассматривали микропартикуляты с массовой долей белка (в сухом веществе) 60% и 80%. Получение их осуществляли в условиях цеха сушки филиала «Калачеевский сырзавод» ПАО МК «Воронежский». Микропартикуляцию сывороточных белков проводили на установке EcoProt + кампании Kieselmann.

Показатели состава объектов исследования определяли стандартными методами: массовую долю влаги и сухих веществ по ГОСТ 29246–91, массовую долю жиру по ГОСТ 29247–91, массовую долю общего белка по ГОСТ 34454–2018, массовую долю лактозы по ГОСТ Р 54760–2011, массовую долю золы по ГОСТ Р 56833–2015. Гранулометрический состав частиц объектов исследования определяли с помощью лазерного дифракционного анализатора Beckman Coulter. Для определения объемной насыпной, рыхлой насыпной и насыпной плотности на контрольную пробу сухого продукта в мерном цилиндре воздействовали ударом с помощью специальной установки. После определенного количества ударов регистрировали объем продукта. Объемную насыпную плотность определяли как отношение массы порошка к объему после его переноса в мерный цилиндр, рыхлую насыпную плотность – как отношение массы порошка к объему после 100 ударов, насыпную плотность как отношение массы порошка к объему после 625 ударов. Индекс растворимости оценивали как объем нерастворившегося осадка в восстановленной пробе микропартикулята. Скорость растворения (диспергируемость) оценивали как содержание сухих веществ в фильтрате смеси сухого продукта и воды (при температуре 24 °С). Смачиваемость оценивали на основании данных о погружении частиц сухого продукта в воду. Определение пригорелых частиц производят методом, основанном на растворении навески продукта в горячем растворе карбоната натрия, полифосфата натрия, двунатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты или гидроокиси натрия, фильтровании полученного раствора и визуальном сравнении осадка на фильтре с приготовленными контрольными фильтрами. Определение уровня термообработки проводили на основании коэффициента UMSPN (undenatured milk-serum protein nitrogen), который представляет собой концентрацию неденатурированного сывороточного небелкового азота. Для оценки термоустойчивости фиксировали продолжительность выдержки восстановленного продукта при 100 °С до выпадения хлопьев белка. Математическую обработку эксперимента проводили методами математической статистики по данным 5–10 опытов в трехкратной последовательности.

Результаты и обсуждение

Образцы микропартикулята сывороточных белков характеризовались низкой массовой долей влаги, что обеспечивало их устойчивость при хранении (таблица 1).

Таблица 1.

Состав микропартикулятов сывороточных белков

Table 1.

Composition of whey protein microparticles

Массовая доля, % Mass fraction, %	Значение | Value	
	МСБ 80 MWP 80	МСБ 60 MWP 60
Сухое вещество | Dry matter	96,31±0,50	96,35±0,50
Влага | Moisture	3,69±0,50	3,65±0,50
Жир | Mass fraction of fat	6,00±0,50	6,00±0,50
Общий белок | Total protein	76,75±0,22	63,95±0,22
Лактоза | Lactose	4,82±0,77	18,17±2,00
Зола | Ash	8,04±0,04	7,56±0,04
Белок в пересчете на СОМО Protein in terms of SOMO	80±0,22	66±0,22

Важнейшей характеристикой сухих продуктов является размер (рисунок 1) и форма частиц, т. к. большая часть функционально-технологических характеристик зависит именно от этих параметров. Частицы микропартикулята имели сходные внешние характеристики, а также близкие размеры. Средний диаметр частиц МСБ 60 составил 69,9 мкм (мода – 105,9 мкм, медиана – 75,83 мкм), МСБ 80 – 66,5 мкм (мода – 96,5 мкм, медиана – 84,87 мкм).

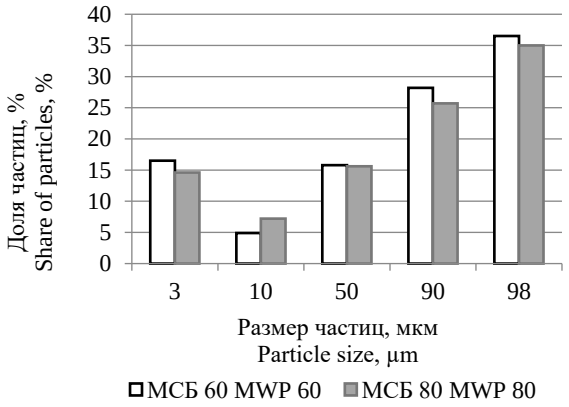


Рисунок 1. Гранулометрический состав частиц объектов исследования

Figure 1. Granulometric composition of the particles of the objects of study

Важнейшим свойством сухих продуктов является их способность к восстановлению. Восстановление заключается во взаимодействии продукта с водой и состоит из нескольких стадий: растворение лактозы и минеральных веществ, переход белков и жира в эмульсионно-коллоидное состояние, гидратация дисперсной фазы, выделение из продукта избыточного воздуха. Начальная фаза восстановления определяется показателем смачиваемости [8] (таблица 2).

На него оказывают влияние состав продукта (в частности наличие свободного жира), а также размер и структура частиц. При контакте с водой с поверхности частиц микропартикулята высвобождается лактоза, сывороточные белки и минеральные соли. После этого вода проникает в капилляры частиц [9], вытесняя воздух и высвобождая лактозу и минеральные вещества из внутренней части частицы. Это приводит к разрушению частицы и высвобождению плохо растворимых жира и казеина. Образцы миркопартикулята легко смачиваются так как состоят, в основном, из аморфной лактозы и сывороточного белка, оба эти вещества легко переходят в раствор. Быстрота восстановления сухого продукта оценивается показателем диспергируемости. Основным фактором, оказывающим влияние на этот показатель, является размер частиц. Поскольку гранулометрический состав образцов микропартикулята характеризовался практически равнозначными величинами, не отличалась и диспергируемость. Полноту растворения (переход сухих веществ в раствор без выпадения осадка) характеризует индекс растворимости. Индекс растворимости МСБ 60 был ниже, чем МСБ 80, что, по-видимому, обусловлено большим содержанием хорошо-растворимой лактозы в его составе.

Таблица 2.

Функционально-технологические свойства объектов исследования

Table 2.

Functional and technological properties of research objects

Показатель Indicator	Значение | Value	
	МСБ 80 MWP 80	МСБ 60 MWP 60
Смачиваемость, % Wettability, %	48,16±1,93	49,38±1,98
Диспергируемость, % Dispersibility, %	41,22±1,65	42,39±1,70
Индекс растворимости, $см^3$ сырого осадка Solubility index, cm^3 wet sediment	0,30±0,01	0,45±0,01
Объемная насыпная пл-ть, $г/см^3$ Bulk bulk density, g/cm^3	0,244±0,019	0,284±0,022
Рыхлая насыпная пл-ть, $г/см^3$ Loose bulk density, g/cm^3	0,331±0,026	0,365±0,028
Насыпная плотность, $г/см^3$ Bulk density, g/cm^3	0,349±0,027	0,385±0,030
Пригорелые частицы (диск) Burnt particles (disk)	B/C	B/C
Показатель термообработки (тепловое число) Heat treatment index (heat number)	57,49	58,37
Класс термообработки Heat treatment class	низкотемпературная low temperature	
Концентрация неденатурированного сывороточного небелкового азота (UMSPN), мг/г сухого продукта Concentration of undenatured serum non-protein nitrogen (UMSPN), mg/g dry product	6,5	6,4

К важным функционально-технологическим свойствам относятся насыпная, а также объемная насыпная и рыхлая насыпная плотность. Этими показателями определяется необходимый размер складских площадей, а также норма упаковочных материалов. Значение объемной насыпной плотности связано с размерами, а рыхлой насыпной плотности с прочностью частиц сухого продукта. Оба объекта исследований относились к «легким» порошкам с насыпной плотностью менее 0,6 $г/см^3$. Более высокое значение насыпной плотности МСБ 80 характеризует его как продукт с менее рыхлой структурой (в сравнении с МСБ 60), а значит, потенциально более стойкий в хранении.

Тепловое число показывает степень изменения компонентов продукта в результате тепловой обработки. Оба образца микропартикулята характеризовались близким значением показателя термообработки, позволяющим отнести их кклассу низкотемпературной обработки. Низкотемпературная обработка коррелирует и со значением UMSPN продуктов [10 – 20]. Технологически важным показателем, определяющим термоустойчивость в ходе дальнейшей переработки, является проба на кипячение. Восстановленные образцы

микропартикулятов характеризовались значительно большей стойкостью к нагреванию в сравнении с концентратом сывороточных белков без этапа микропартикуляции. Проба на кипячение для МСБ 80 составила 2 мин при температуре 100 °С, а для МСБ 60 – 5 минут. Это позволяет отнести микропартикулят к термоустойчивым пищевым ингредиентам.

Заключение

Выполненные исследования позволили отнести сухой микропартикулят сывороточных белков к технологичным видам молочного сырья, применимым в технологии различных продуктов питания. Микропартикулят характеризуется хорошей способностью к восстановлению, приемлемым значением насыпной плотности, а также высокой термоустойчивостью, относится к низкотемпературному классу тепловой обработки. Сухие ингредиенты низкотемпературной обработки имеют высокую биологическую ценность и могут быть использованы в производстве специализированной продукции, в частности, для детского и спортивного питания.

Литература

1 Hossain M.K., Keidel J., Hensel O., Diakité M. The impact of extruded microparticulated whey proteins in reduced-fat, plain-type stirred yogurt: Characterization of physicochemical and sensory properties // LWT. 2020. №. 134. P. 109976. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109976

2 Silva J.V.C., O'Mahony J.A. Microparticulated whey protein addition modulates rheological and microstructural properties of high-protein acid milk gels // International Dairy Journal. 2018. №. 78. P. 145 – 151. doi: 10.1016/j.idairyj.2017.11.013

3 Евдокимов И.А., Кравцов В.А., Федорцов Н.М., Богоровская М.А. и др. Состав и свойства микропартикулятов сывороточных белков // Молочная промышленность. 2021. № 4. С. 40–44.

4 Melnikova E.I., Stanislavskaia E.B., Losev A.N. Microparticulation of Caseic Whey to Use in Fermented Milk Production // Foods and Raw Materials. 2017. №. 5(2). P. 83–93. doi: 10.21603/2308-4057-2017-2-83-93

5 Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б., Баранова К.Ю. Применение сывороточных белковых ингредиентов для получения имитаторов молочного жира // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 3. С. 90–95. doi: 10.20914/2310-1202-2Q2Q-3-9Q-95

6 Золотарева М.С., Володин Д.Н., Евдокимов И.А., Харитонов В.Д. Мембранные технологии для обеспечения эффективности и безопасности молочного производства // Молочная промышленность. 2018. № 5. С. 36–39.

7 Evdokimov I.A., Khramtsov A.G., Emelyanov S.A., Lodygin A.D. et al. Biotechnological aspects of ensuring the dairy food safety // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. V. 677. №. 3. P. 032075. doi: 10.1088/1755–1315/677/3/032075

8 Кручинин А.Г., Илларионова Е.Е., Бигаева А.В., Туровская С.Н. Роль технологических свойств сухого молока в формировании качества пищевых систем // Вестник КрасГАУ. 2020. № 8. С. 166–173.

9 Кручинин А.Г., Илларионова Е.Е., Бигаева А.В., Туровская С.Н. Влияние способов концентрирования на технологические свойства сухого молока // Вестник КрасГАУ. 2021. № 2. С. 135–142.

10 Радаева И.А., Илларионова Е.Е., Галстян А.Г. и др. Принципы обеспечения качества отечественного сухого молока // Пищевая промышленность. 2019. № 9. С. 54–57.

11 Khatkar A.B., Kaur A., Khatkar S.K., Mehta N. Characterization of heat-stable whey protein: Impact of ultrasound on rheological, thermal, structural and morphological properties // Ultrasonics sonochemistry. 2018. V. 49. P. 333-342. doi: 10.1016/j.ultsonch.2018.08.026

12 Swarnalatha G., Mor S. Different Approaches to Improve Thermostability of Whey Proteins: A Review // Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 2019. V. 8. №. 4. P. 1679-1688.

13 Dissanayake M., Ramchandran L., Donkor O.N., Vasiljevic T. Denaturation of whey proteins as a function of heat, pH and protein concentration // International Dairy Journal. 2013. V. 31. №. 2. P. 93-99. doi: 10.1016/j.idairyj.2013.02.002

14 Jiang L., Ren Y., Xiao Y., Liu S. et al. Effects of Mesona chinensis polysaccharide on the thermostability, gelling properties, and molecular forces of whey protein isolate gels // Carbohydrate Polymers. 2020. V. 242. P. 116424. doi: 10.1016/j.carbpol.2020.116424

15 Chen Y., Huang F., Xie B., Sun Z. et al. Fabrication and characterization of whey protein isolates-lotus seedpod proanthocyanin conjugate: Its potential application in oxidizable emulsions // Food Chemistry. 2021. V. 346. P. 128680. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128680

16 Abd El-Salam M.H., El-Shibiny S. Glycation of whey proteins: Technological and nutritional implications // International journal of biological macromolecules. 2018. V. 112. P. 83-92. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.01.114

17 Sutariya S., Patel H. Effect of hydrogen peroxide on improving the heat stability of whey protein isolate solutions // Food chemistry. 2017. V. 223. P. 114-120. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.12.013

18 Momen S., Salami M., Alavi F., Emam-Djomeh Z. et al. The techno-functional properties of camel whey protein compared to bovine whey protein for fabrication a model high protein emulsion // LWT. 2019. V. 101. P. 543-550. doi: 10.1016/j.lwt.2018.11.063

19 Momen S., Salami M., Emam-Djomeh Z., Hosseini E. et al. Effect of dry heating on physico-chemical, functional properties and digestibility of camel whey protein // International Dairy Journal. 2018. V. 86. P. 9-20. doi: 10.1016/j.idairyj.2018.06.015

20 Zhao Z., Xiao Q. Effect of chitosan on the heat stability of whey protein solution as a function of pH // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2017. V. 97. №. 5. P. 1576-1581. doi: 10.1002/jsfa.7904

References

1 Hossain M.K., Keidel J., Hensel O., Diakité M. The impact of extruded microparticulated whey proteins in reduced-fat, plain-type stirred yogurt: Characterization of physicochemical and sensory properties. LWT. 2020. no. 134. pp. 109976. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109976

2 Silva J.V.C., O'Mahony J.A. Microparticulated whey protein addition modulates rheological and microstructural properties of high-protein acid milk gels. International Dairy Journal. 2018. no. 78. pp. 145–151. doi: 10.1016/j.idairyj.2017.11.013

3 Evdokimov I.A., Kravtsov V.A., Fedortsov N.M., Bogorovskaya M.A. Composition and properties of microparticles of whey proteins. Dairy industry. 2021. no. 4. pp. 40–44. (in Russian).

4 Melnikova E.I., Stanislavskaia E.B., Losev A.N. Microparticulation of Caseic Whey to Use in Fermented Milk Production. Foods and Raw Materials. 2017. no. 5(2). pp. 83–93. doi: 10.21603/2308-4057-2017-2-83-93

5 Melnikova E.I., Stanislavskaya E.B., Baranova K.Yu. The use of whey protein ingredients to obtain milk fat simulators. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 3. pp. 90–95. doi: 10.20914/2310-1202-2Q2Q-3-9Q-95 (in Russian).

6 Zolotareva M.S., Volodin D.N., Evdokimov I.A., Kharitonov V.D. Membrane technologies to ensure the efficiency and safety of dairy production. Dairy industry. 2018. no. 5. pp. 36–39. (in Russian).

7 Evdokimov I.A., Khramtsov A.G., Emelyanov S.A., Lodygin A.D. et al. Biotechnological aspects of ensuring the dairy food safety. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. vol. 677. no. 3. pp. 032075. doi: 10.1088/1755–1315/677/3/032075

8 Kruchinin A.G., Illarionova E.E., Bigaeva A.V., Turovskaya S.N. The role of technological properties of milk powder in shaping the quality of food systems. Vestnik KrasGAU. 2020. no. 8. pp. 166–173. (in Russian).

9 Kruchinin A.G., Illarionova E.E., Bigaeva A.V., Turovskaya S.N. Influence of methods of concentration on the technological properties of milk powder. Vestnik KrasGAU. 2021. no. 2. pp. 135–142. (in Russian).

10 Radaeva I.A., Illarionova E.E., Galstyan A.G. and other Principles of ensuring the quality of domestic milk powder. Food industry. 2019. no. 9. pp. 54–57. (in Russian).

11 Khatkar A.B., Kaur A., Khatkar S.K., Mehta N. Characterization of heat-stable whey protein: Impact of ultrasound on rheological, thermal, structural and morphological properties. Ultrasonics sonochemistry. 2018. vol. 49. pp. 333-342. doi: 10.1016/j.ultsonch.2018.08.026

12 Swarnalatha G., Mor S. Different Approaches to Improve Thermostability of Whey Proteins: A Review. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 2019. vol. 8. no. 4. pp. 1679-1688.

13 Dissanayake M., Ramchandran L., Donkor O.N., Vasiljevic T. Denaturation of whey proteins as a function of heat, pH and protein concentration. International Dairy Journal. 2013. vol. 31. no. 2. pp. 93-99. doi: 10.1016/j.idairyj.2013.02.002

14 Jiang L., Ren Y., Xiao Y., Liu S. et al. Effects of Mesona chinensis polysaccharide on the thermostability, gelling properties, and molecular forces of whey protein isolate gels. Carbohydrate Polymers. 2020. vol. 242. pp. 116424. doi: 10.1016/j.carbpol.2020.116424

15 Chen Y., Huang F., Xie B., Sun Z. et al. Fabrication and characterization of whey protein isolates-lotus seedpod proanthocyanin conjugate: Its potential application in oxidizable emulsions. Food Chemistry. 2021. vol. 346. pp. 128680. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128680

16 Abd El-Salam M.H., El-Shibiny S. Glycation of whey proteins: Technological and nutritional implications. International journal of biological macromolecules. 2018. vol. 112. pp. 83-92. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.01.114

17 Sutariya S., Patel H. Effect of hydrogen peroxide on improving the heat stability of whey protein isolate solutions. Food chemistry. 2017. vol. 223. pp. 114-120. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.12.013

18 Momen S., Salami M., Alavi F., Emam-Djomeh Z. et al. The techno-functional properties of camel whey protein compared to bovine whey protein for fabrication a model high protein emulsion. LWT. 2019. vol. 101. pp. 543-550. doi: 10.1016/j.lwt.2018.11.063

19 Momen S., Salami M., Emam-Djomeh Z., Hosseini E. et al. Effect of dry heating on physico-chemical, functional properties and digestibility of camel whey protein. International Dairy Journal. 2018. vol. 86. pp. 9-20. doi: 10.1016/j.idairyj.2018.06.015

20 Zhao Z., Xiao Q. Effect of chitosan on the heat stability of whey protein solution as a function of pH. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2017. vol. 97. no. 5. pp. 1576-1581. doi: 10.1002/jsfa.7904

Сведения об авторах

Елена И. Мельникова д.т.н., профессор, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, melnikova@molvest.ru
https://orcid.org/0000-0002-3474-2534

Екатерина Б. Станиславская д.т.н., профессор, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tereshkova-katia@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-0955-6238

Екатерина Д. Шабалова аспирант, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, xxx210257@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7802-6150

Information about authors

Elena I. Melnikova Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of animal food products department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, melnikova@molvest.ru
https://orcid.org/0000-0002-3474-2534

Ekaterina B. Stanislavskaia Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of animal food products department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, tereshkova-katia@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-0955-6238

Ekaterina D. Shabalova graduate student, technology of animal food products department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, xxx210257@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7802-6150

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 11/04/2022	**После редакции** 09/05/2022	**Принята в печать** 31/05/2022
Received 11/04/2022	**Accepted in revised** 09/05/2022	**Accepted** 31/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-57-61 Обзорная статья/Review article
УДК 637.1 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Физиологическая роль лактозы нативного и гидролизованного молока

Алла И. Горлова [1] alla.gorlowa2015@ya.ru
Анна М. Ильина [1] mosanja@yandex.ru

1 Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434, Россия

Аннотация. Лактоза представляет собой дисахарид, состоящий из фрагментов глюкозы и галактозы. Это наиболее преобладающий углевод, содержащийся в молоке. Физиологическое значение лактозы, прежде всего, определяется ее энергетическими свойствами. Потребление лактозы помогает поддерживать баланс микрофлоры кишечника. Кроме того, лактоза стимулирует абсорбцию кальция у детей, способствует увеличению прочности костей. Однако, не у всех людей лактоза усваивается в равной степени. В организме лактоза гидролизуется под действием фермента β-галактозидазы (лактазы). Дефицит лактазы в желудочно-кишечном тракте вызывает непереносимость лактозы и определяется как клинический синдром, характеризующийся болями в животе, тошнотой, метеоризмом и диареей, которые могут возникнуть после потребления молока. Две трети населения в мире имеют проблемы с перевариванием лактозы. Люди с непереносимостью лактозы часто избегают употреблять молочные продукты. Тем не менее, молочные продукты являются важнейшей частью здорового, сбалансированного питания и являются богатым источником питательных веществ. Ограничение потребления молочных продуктов может привести к дефициту важных питательных веществ и способствовать развитию долгосрочных рисков для здоровья, таких как, снижение плотности костной ткани, гипертония, диабет. Нутритивная поддержка, в данном случае, является одним из эффективных методов профилактики заболеваний. Показана необходимость для людей с непереносимостью лактозы, оптимизировать пищевой статус путем включения в рацион безлактозных и низколактозных молочных продуктов. Показано, что мировой рынок безлактозных молочных продуктов является самым быстрорастущим сегментом в молочной промышленности.

Ключевые слова: лактоза, лактаза, гидролиз лактозы, непереносимость лактозы, безлактозные продукты, низколактозные продукты

The physiological role of lactose in native and hydrolyzed milk: a review

Alla I. Gorlova [1] alla.gorlowa2015@ya.ru
Anna M. Ilyina [1] mosanja@yandex.ru

1 Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A.Timiryazev, st. Timiryazevskaya, 49, Moscow, 127434, Russia

Abstract. Lactose is a disaccharide composed of glucose and galactose fragments. It is the most predominant carbohydrate found in milk. The physiological significance of lactose is primarily determined by its energetic properties. Consuming lactose helps maintain the balance of the gut microflora. In addition, lactose stimulates the absorption of calcium in children and helps to increase bone strength. However, not all people absorb lactose equally. In the body, lactose is hydrolyzed by the enzyme β-galactosidase (lactase). Lactase deficiency in the gastrointestinal tract causes lactose intolerance and is defined as a clinical syndrome characterized by abdominal pain, nausea, flatulence, and diarrhea that may occur after drinking milk. Two thirds of the world's population have problems digesting lactose. People with lactose intolerance often avoid dairy products. However, dairy products are an essential part of a healthy, balanced diet and are a rich source of nutrients. Limiting the consumption of dairy products can lead to deficiencies in important nutrients and contribute to the development of long-term health risks such as decreased bone density, hypertension and diabetes. Nutritional support, in this case, is one of the most effective methods of disease prevention. The need for people with lactose intolerance is shown to optimize nutritional status by including lactose-free and low-lactose dairy products in the diet. It is shown that the world market for lactose-free dairy products is the fastest growing segment in the dairy.

Keywords: lactose, lactase, lactose hydrolysis, lactose intolerance, lactose-free products, low-lactose products

Лактоза (молочный сахар) представляет собой дисахарид, состоящий из d – глюкозы d-галактозы, соединенных β – 1,4 – гликозидной связью. Лактоза содержится в молоке всех млекопитающих. Молочный сахар играет важную физиологическую роль в организме [1]. Значение лактозы для организма, прежде всего, определяется ее энергетическими свойствами. В первый год жизни ребенка этот дисахарид обеспечивает около 50% всей потребности организма в энергии [2]. Установлено, что лактоза стимулирует абсорбцию кальция у детей [3]. Потребление лактозы помогает поддерживать баланс микрофлоры кишечника путем развития Bifidobacterium и других молочнокислых бактерий [4–6]. Микробиота кишечника влияет на метаболизм костной ткани через иммунную и эндокринную системы [7, 8]. Потребление молочных продуктов снижает концентрацию маркеров резорбции костной ткани, паратиреоидного гормона и увеличивает прочность костей [3].

Для цитирования
Горлова А.И, Ильина А.М. Физиологическая роль лактозы нативного и гидролизованного молока // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 57–61. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-57-61

For citation
Gorlova A.I., Ilyina A.M. The physiological role of lactose in native and hydrolyzed milk: a review. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 57–61. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-57-61

© 2022, Горлова А.И. и др. / Gorlova A.I. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Мета-анализ показывает, что чем больше потребление молока, тем ниже риск перелома шейки бедра у женщин [4, 9, 10]. В организме лактоза гидролизуется под действием фермента β-галактозидазы (лактазы) на составляющие ее моносахариды – глюкозу и галактозу, которые легко адсорбируются в тонком кишечнике [11]. Роль моносахаридов в организме чрезвычайно велика. Глюкоза – главный поставщик энергии для нейронов головного мозга, мышечных тканей (в том числе сердечной мышцы) и эритроцитов, которые сильнее всего страдают от недостатка глюкозы. Галактоза входит в состав липидов мозга и является незаменимым компонентом деятельности мозга [12].

Дефицит фермента лактазы в организме называют лактазной недостаточностью [13]. Различают следующие виды лактазной недостаточности:

– первичная лактазная недостаточность, которая обусловлена относительным или абсолютным отсутствием лактазы в организме. Первичная лактазная недостаточность развивается в детском возрасте и проявляется в разных возрастных группах. Этот вид лактазной недостаточности является наиболее частой причиной мальабсорбции и непереносимости лактозы;

– вторичная лактазная недостаточность – это лактазная недостаточность, возникающая в результате травм тонкой кишки, таких как острый гастроэнтерит, стойкая диарея, химиотерапия при раке и другие причины повреждения слизистой оболочки тонкой кишки, наблюдающиеся в любом возрасте.

Примерно две трети взрослого населения мира имеют проблемы, связанные с непереносимостью лактозы [12, 14]. Непереносимость молочного сахара является генетически обусловленным состоянием организма и определяется этнической принадлежностью человека [15]. Способность организма усваивать лактозу связана с его эволюционными особенностями, а именно с продуцированием фермента лактазы в популяциях, где молоко и молочные продукты были важными компонентами рациона. Возникновение негативных симптомов зависит от количества потребляемой лактозы, степени лактазной недостаточности и формы пищевого вещества, с которым лактоза поступает в организм [16].

Непереносимость лактозы возникает, когда негидролизованная лактоза проходит через кишечник, не всасываясь, действуя как бактериальный субстрат в толстой кишке, сопровождаясь болями в области кишечника, тошнотой, метеоризмом и диарей [3].

Часто люди с непереносимостью лактозы избегают употребления молочных продуктов. Ограничение потребления молочных продуктов, содержащих лактозу, является основной стратегией лечения лактозной непереносимости. Однако, уменьшение потребления молока из-за диагностированной или предполагаемой непереносимости лактозы, может привести к дефициту кальция в организме, что является причиной развития остеопороза и связанными с ним переломами в более зрелом возрасте [3]. Кроме того, люди, сокращающие потребление молока из-за непереносимости лактозы, могут подвергаться риску дефицита и других питательных веществ, таких, как, белки, насыщенные жиры, фосфор, рибофлавин, витамин B_{12}, витамин А [16, 17]. Чтобы обеспечить адекватное потребление питательных веществ, снижение потребления лактозы у чувствительных к лактозе людей, а не исключение ее потребления, необходимо оптимизировать пищевой статус путем включения в рацион безлактозных или низколактозных молочных продуктов [12]. Нутритивная поддержка является одним из эффективных методов профилактики. Людям, страдающим лактозной непереносимостью, необходим особый подход к выбору продуктов для обеспечения пищевого статуса и предотвращения снижения плотности костной ткани [3]. Употребление безлактозных или низколактозных молочных продуктов позволяет уменьшить дискомфорт желудочно-кишечного тракта, улучшить биомаркеры крови, улучшить состояние костной ткани [16].

Удаление лактозы из молока обычно осуществляется путем добавления в молоко экзогенной лактазы, что приводит к гидролизу (предварительному «перевариванию» лактозы) до глюкозы и галактозы или посредством различных методов мембранного фракционирования и хроматографии [19–21]. Всасывание предварительно гидролизованной лактозы до глюкозы и галактозы, также происходит в тонком кишечнике, аналогично интактной лактозе [11].

Ферментом, используемым для производства безлактозных молочных продуктов, традиционно является нейтральная β – галактозидаза, получаемая из дрожжей Kluyveromyces lactis (и их близких родственников Saccharomyces lactis, K. marxianus или K. fragilus) [22–24].

Людям с непереносимостью лактозы следует пить безлактозное молоко, употреблять молочные продукты с низким содержанием лактозы (сыр, йогурт, кефир) [25, 26]. Ферментированные молочные продукты регулируют микробиоту кишечника, обладают способностью

лучше усваиваться организмов, что положительно влияет на процесс метаболизма [4, 27].

В последние годы качество и разнообразие продукции в сегменте безлактозных молочных продуктов в мире значительно возросло. Мировой рынок безлактозных молочных продуктов является самым быстрорастущим сегментом в молочной промышленности [22]. Наиболее крупным и быстроразвивающимся рынком безлактозной продукции является Западная Европа, за ней следует Латинская Америка. В России сегмент безлактозных молочных продуктов представлен продукцией отечественных и зарубежных производителей.

Питьевое молоко – самая большая категория рынка безлактозных продуктов и составляет две трети его объема. Вторая категория – безлактозный йогурт. Предполагается, что в ближайшие годы быстрее всего будет расти (8,4%) производство безлактозного сыра [22].

Помимо перечисленных безлактозных продуктов к этой группе относятся такие кисломолочные продукты, как сметана, крем-фреш, кефир и т. д., а также, мороженое и другие молочные десерты, такие как dulce de leche, (взбитые) молочные сливки и подслащенное сгущенное молоко, сухое молоко и продукты, изготовленные из молочной сыворотки.

Заключение

В последние годы безлактозные и низколактозные молочные продукты становятся все более доступными для людей с непереносимостью лактозы и представляют собой большие возможности для обеспечения организма широкой палитрой необходимых питательных веществ.

Благодарность

Выражаем особую благодарность консультанту к.т.н Добриян Е.И. за ценные замечания и рекомендации в области исследуемой темы.

Литература

1 Romero-Velarde E., Delgado-Franco D., García-Gutiérrez M., Gurrola-Díaz C. et al. The importance of lactose in the human diet: outcomes of a Mexican consensus meeting// Nutrients. 2019. № 11. P. 273–277. doi: 10.3390/nu11112737

2 Sharp E., Cunha N.M.D., Ranadheera C.S., Vasiljevic T. et al. Effects of lactose-free and low-lactose dairy on symptoms of gastrointestinal health: A systematic review // International Dairy Journal. 2021. V. 114. P.104–136. doi: 10.1016/j.idairyj.2020.104936

3 Hodges J.K., Cao S., Cladis D.P., Weaver C.M. Lactose intolerance and bone health: the challenge of ensuring adequate calcium intake // Nutrients. 2019. № 11. P. 718. doi: 10.3390/nu11040718

4 Li L., Rao S., Cheng Y., Zhuo X. et al. Microbial osteoporosis: the interplay between the gut microbiota and bones via host metabolism and immunity // Microbiology Open. 2019. № 8. P. 81–90. doi: 10.1002/mbo3.810

5 Рожкова И.В., Бегунова А.В. Пробиотический потенциал Bifidibacterium Adolescentis MS-42 // Молочная промышленность. 2021. № 3. С. 34–37.

6 Рожкова И.В., Бегунова А.В. Пробиотические микроорганизмы как фактор повышения здоровья // Молочная промышленность. 2020. № 7. С. 38–39.

7 Бегунова А.В., Рожкова И.В.. Ширшова Т.И., Крысанова Ю.И. Потенциал молочнокислых бактерий в снижении холестерина // Пищевая промышленность. 2020. № 11. С. 12–15.

8 Бегунова А.В., Савинова О.С., Рожкова И.В., Крысанова Ю.И. и др. Оценка пробиотического потенциала и функциональных свойств lactobacillus Reuteri LR1 in vitro // Прикладная биохимия и микробиология. 2020. Т. 56. № 5. С. 472–482.

9 Bischoff-Ferrari H.A., Dawson-Hughes B., Baron J.A., Kanis J.A.et al. Milk intake and risk of hip fracture in men and women: a meta-analysis of prospective cohort studies // J Bone Miner Res. 2011. № 26. P. 833–839. doi: 10.1002/jbmr.279

10 Ratajczak A.E., Rychter A.M., Zawada A., Dobrowolska A. lactose intolerance in patients with inflammatory bowel diseases and dietary management in prevention of osteoporosis // Nutrition. 2021. V. 82. № 2. P. 111–143. doi: 10.1016/j.nut.2020.111043

11 Fassio F., Facioni M.S., Guagnini F. Lactose maldigestion, malabsorption and intolerance: A comprehensive revive with a focus on current management and future perspectives // Nutrients. 2018. № 10. P. 159–169. doi: 10.3390/nu10111599

12 De Oliveira Otto M.C., Lemaitre R.N., Song X., King I.B. Serial measures of circulating biomarkers of dairy fat and total and cause-specific mortality in older adults: The cardiovascular health study //American Journal of Clinical – Nutrition. 2018. № 108. P. 476–484

13 Catanzaro R., Sciuto M., Marotta F. Lactose intolerance: an update on its pathogenesis, diagnosis and treatment // Nutrition Research. 2021. V. 89. № 5. P. 23–34. doi: 10.1016/j.nutres.2021.02.003

14 Storhaug C.L., Fosse S.K., Fadnes L.T. Country, regional, and global estimates for lactose malabsorption in adults: A systematic review and meta-analysis // Lancet Gastroenterology & Hepatology. 2017. № 2. P. 738–746. doi: 10.1016/S2468-1253(17)30154-1

15 Misselwitz B., Pohl D., Fruhauf H., Vavricka S.R. et al. Lactose malabsorption and intolerance : Pathogenesis, diagnosis and treatment // United European Gastroenterology Journal. 2013. № 1. P. 151–159. doi: 10.1177/2050640613484463

16 Abedini M., Falahi E., Roosta S. Dairy product consumption and the metabolic syndrome // Diabetes. 2015. V. 9. № 1. P.34–37. doi: 10.1016/j.dsx.2014.04.027

17 Szilagyi A. Adult lactose digestion status and effects on disease // Can J Gastroenterol Hepatol. 2015. V. 29. P. 149–156. doi: 10.1155/2015/904686

18 Добриян Е.И., Ильина А.М. Влияние функциональных компонентов на степень гидролиза лактозы при производстве низколактозного йогурта // Переработка молока. 2020. № 1. С. 44–45.

19 Chen C.–S., Hsu C.–K., Chiang B.–H. Optimization of the enzymic process for manufacturing low-lactose milk containing oligosaccharides // Process Biochemistry. 2002. V. 38. № 5. P. 801–808.

20 Skryplonek K., Henrigues M., Gomes D., Viegas J. et al. Characteristics of lactose-free frozen yogurt with κ-carrageenan and corn starch as stabilizers // Journal of Daire Science. 2019. V. 102. № 9. P.7838–7848. doi: 10.3168/jds.2019-16556

21 Singh P., Rao P.S., Sharma V., Arora S. Physico – chemical aspects of lactose hydrolysed milk system along with detection and mitigation of maillard reaction products // Trends in Food Science & Technology. 2021. V. 107. № 1. P. 57–67. doi: 10.1016/j.tifs.2020.11.030

22 Dekker P.J.T., Koenders D., Bruins M.J. Lactose-Free Dairy Products: Market Developments, Production, Nutrition and Health Benefits // Nutrients. 2019. № 3. P. 237–245.

23 Moreira T.C., da Silva A.T., Fagundes C., Ferreira S.M.R. et al. Elaboration of yogurt with reduced level of lactose added of carob (Ceratonia siligua L.) // LWT-Food Science and Technology. 2017. V. 76. P.326–329. doi: 10.1016/j.lwt.2016.08.033

24 Abbasi S., Saeedabadian A. Influences of lactose hydrolysis of milk and sugar reduction on some physical properties of ice cream // Journal of Food Science & Technology. 2015. V. 52. № 1. P. 367–374. doi: 10.1007/s13197-013-1011-1

25 Добриян Е.И., Ильина А.М., Горлова А.И. Получение функциональных продуктов на основе ферментативного гидролиза лактозы // Пищевая промышленность. 2019. № 4. С. 36–37.

26 Ганина В.И., Ионова И.И., Рожкова И.В., Крысанова Ю.И. Формирование потребительских свойств кисломолочного персонализированного продукта для школьников // Товаровед продовольственных товаров. 2020. № 7. С. 71–79.

27 Kárnyáczki Z., Csanádi J. Texture profile properties, sensory evaluation, and susceptibility to syneresis of yoghurt prepared from lactose-free milk // Acta Alimentaria. 2017. V. 46. № 4. P. 403–410. doi: 10.1556/066.2016.0018

References

1 Romero-Velarde E., Delgado-Franco D., García-Gutiérrez M., Gurrola-Díaz C. et al. The importance of lactose in the human diet: outcomes of a Mexican consensus meeting. Nutrients. 2019. no. 11. pp. 273–277. doi: 10.3390/nu11112737

2 Sharp E., Cunha N.M.D., Ranadheera C.S., Vasiljevic T. et al. Effects of lactose-free and low-lactose dairy on symptoms of gastrointestinal health: A systematic review. International Dairy Journal. 2021. vol. 114. pp. 104–136. doi: 10.1016/j.idairyj.2020.104936

3 Hodges J.K., Cao S., Cladis D.P., Weaver C.M. Lactose intolerance and bone health: the challenge of ensuring adequate calcium intake. Nutrients. 2019. no. 11. pp. 718. doi: 10.3390/nu11040718

4 Li L., Rao S., Cheng Y., Zhuo X. et al. Microbial osteoporosis: the interplay between the gut microbiota and bones via host metabolism and immunity. Microbiology Open. 2019. no. 8. pp. 81–90. doi: 10.1002/mbo3.810

5 Rozhkova I.V., Begunova A.V. Probiotic potential of Bifidibacterium Adolescentis MS 42. Dairy industry. 2021. no. 3. pp. 34–37. (in Russian).

6 Rozhkova I.V., Begunova A.V. Probiotic microorganisms as a factor in improving health. Dairy industry. 2020. no. 7. pp. 38–39. (in Russian).

7 Begunova A.V., Rozhkova I.V., Shirshova T.I., Krysanova Yu.I. The potential of lactic acid bacteria in lowering cholesterol. Food industry. 2020. no. 11. pp. 12–15. (in Russian).

8 Begunova A.V., Savinova O.S., Rozhkova I.V., Krysanova Yu.I. Evaluation of the probiotic potential and functional properties of lactobacillus Reuteri LR1 in vitro. Applied Biochemistry and Microbiology. 2020. vol. 56. no. 5. pp. 472–482. (in Russian).

9 Bischoff-Ferrari H.A., Dawson-Hughes B., Baron J.A., Kanis J.A.et al. Milk intake and risk of hip fracture in men and women: a meta-analysis of prospective cohort studies. J Bone Miner Res. 2011. no. 26. pp. 833–839. doi: 10.1002/jbmr.279

10 Ratajczak A.E., Rychter A.M., Zawada A., Dobrowolska A. lactose intolerance in patients with inflammatory bowel diseases and dietary management in prevention of osteoporosis. Nutrition. 2021. vol. 82. no. 2. pp. 111–143. doi: 10.1016/j.nut.2020.111043

11 Fassio F., Facioni M.S., Guagnini F. Lactose maldigestion, malabsorption and intolerance: A comprehensive revive with a focus on current management and future perspectives. Nutrients. 2018. no. 10. pp. 159–169. doi: 10.3390/nu10111599

12 De Oliveira Otto M.C., Lemaitre R.N., Song X., King I.B. Serial measures of circulating biomarkers of dairy fat and total and cause-specific mortality in older adults: The cardiovascular health study. American Journal of Clinical – Nutrition. 2018. no. 108. pp. 476–484

13 Catanzaro R., Sciuto M., Marotta F. Lactose intolerance: an update on its pathogenesis, diagnosis and treatment. Nutrition Research. 2021. vol. 89. no. 5. pp. 23–34. doi: 10.1016/j.nutres.2021.02.003

14 Storhaug C.L., Fosse S.K., Fadnes L.T. Country, regional, and global estimates for lactose malabsorption in adults: A systematic review and meta-analysis. Lancet Gastroenterology & Hepatology. 2017. no. 2. pp. 738–746. doi: 10.1016/S2468-1253(17)30154-1

15 Misselwitz B., Pohl D., Fruhauf H., Vavricka S.R. et al. Lactose malabsorption and intolerance : Pathogenesis, diagnosis and treatment. United European Gastroenterology Journal. 2013. no. 1. pp. 151–159. doi: 10.1177/2050640613484463

16 Abedini M., Falahi E., Roosta S. Dairy product consumption and the metabolic syndrome. Diabetes. 2015. vol. 9. no. 1. P.34–37. doi: 10.1016/j.dsx.2014.04.027

17 Szilagyi A. Adult lactose digestion status and effects on disease. Can J Gastroenterol Hepatol. 2015. vol. 29. pp. 149–156. doi: 10.1155/2015/904686

18 Dobriyan E.I., Ilyina A.M. Influence of functional components on the degree of lactose hydrolysis in the production of low-lactose yogurt. Milk processing. 2020. no. 1. pp. 44–45. (in Russian).

19 Chen C.–S., Hsu C.–K., Chiang B.–H. Optimization of the enzymic process for manufacturing low-lactose milk containing oligosaccharides. Process Biochemistry. 2002. vol. 38. no. 5. pp. 801–808.

20 Skryplonek K., Henrigues M., Gomes D., Viegas J. et al. Characteristics of lactose-free frozen yogurt with κ-carrageenan and corn starch as stabilizers. Journal of Daire Science. 2019. vol. 102. no. 9. pp.7838–7848. doi: 10.3168/jds.2019-16556

21 Singh P., Rao P.S., Sharma V., Arora S. Physico – chemical aspects of lactose hydrolysed milk system along with detection and mitigation of maillard reaction products. Trends in Food Science & Technology. 2021. vol. 107. no. 1. pp. 57–67. doi: 10.1016/j.tifs.2020.11.030

22 Dekker P.J.T., Koenders D., Bruins M.J. Lactose-Free Dairy Products: Market Developments, Production, Nutrition and Health Benefits. Nutrients. 2019. no. 3. pp. 237–245.

23 Moreira T.C., da Silva A.T., Fagundes C., Ferreira S.M.R. et al. Elaboration of yogurt with reduced level of lactose added of carob (Ceratonia siligua L.). LWT-Food Science and Technology. 2017. vol. 76. pp. 326–329. doi: 10.1016/j.lwt.2016.08.033

24 Abbasi S., Saeedabadian A. Influences of lactose hydrolysis of milk and sugar reduction on some physical properties of ice cream. Journal of Food Science & Technology. 2015. vol. 52. no. 1. pp. 367–374. doi: 10.1007/s13197-013-1011-1

25 Dobriyan E.I., Ilyina A.M., Gorlova A.I. Obtaining functional products based on the enzymatic hydrolysis of lactose. Food industry. 2019. no. 4. pp. 36–37. (in Russian).

26 Ganina V.I., Ionova I.I., Rozhkova I.V., Krysanova Yu.I. Formation of consumer properties of a sour-milk personalized product for schoolchildren. Commodity researcher of food products. 2020. no. 7. pp. 71–79. (in Russian).

27 Kárnyáczki Z., Csanádi J. Texture profile properties, sensory evaluation, and susceptibility to syneresis of yoghurt prepared from lactose-free milk. Acta Alimentaria. 2017. vol. 46. no. 4. pp. 403–410. doi: 10.1556/066.2016.0018

Сведения об авторах

Алла И. Горлова аспирант, кафедра хранения и переработки продуктов животноводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434, Россия, alla.gorlowa2015@ya.ru

Анна М. Ильина к.т.н., кафедра хранения и переработки продуктов животноводства , Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434, Россия, mosanja@yandex.ru

Information about authors

Alla I. Gorlova graduate student, storage and processing of livestock products department, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, st. Timiryazevskaya, 49, Moscow, 127434, Russia, alla.gorlowa2015@ya.ru

Anna M. Ilyina Cand. Sci. (Engin.), storage and processing of livestock products department, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, st. Timiryazevskaya, 49, Moscow, 127434, Russia, mosanja@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 01/04/2022	**После редакции** 28/04/2022	**Принята в печать** 16/05/2022

Received 01/04/2022	**Accepted in revised** 28/04/2022	**Accepted** 16/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-62-70 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.951.65:635.24 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Функциональные рыбные изделия с топинамбуром

Анна Т. Васюкова [1] vasyukova-at@ya.ru 0000-0002-7374-4145
Константин В. Кривошонок [1] krivoshonok@gmail.com 0000-0001-6360-6964
Софья В. Алешкина [1] aleshkina2014@list.ru 0000-0002-0832-5067
Тамара Н. Шарова [2] sharova1412@gmail.com 0000-0003-1354-8246
Валерий И. Карпов [2] vikarp@mail.ru 0000-0001-6338-0467
Светлана В. Зангиева [3] ms.lana2004@mail.ru 0000-0002-9258-4749

1 Московский государственный университет пищевых производств, 11, Волоколамское шоссе, Москва, 125080, Россия
2 Московский государственный ун-т технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия
3 Сочинский государственный университет, 94, ул. Пластунская, г. Сочи, Краснодарский край, 354000, Россия

Аннотация. В статье изложены основные сведения о функциональных свойствах рыбных кулинарных изделий, разработанных на основе свежемороженой рыбы минтая с добавками порошков растительного происхождения: муки из топинамбура, базилика, томата, паприки, укропа, а в качестве растительного и животного сырья использовали лук репчатый, морковь и яйцо куриное. Рассмотрено влияние продолжительности термообработки изделий из котлетной массы минтая на сенсорные характеристики, значение влагоудерживающей способности, величину размера частиц измельченной мышечной ткани модельных образцов фаршей. Установлены рациональные параметры термообработки функциональных рыбных фаршевых изделий. Изучено влияние растительной добавки из топинамбура на функционально-технологические характеристики рыбных фаршевых систем. Исследованы показатели безопасности готовой продукции, приготовленной на основе термообработанного рыбного сырья с добавлением порошка топинамбура, вкусо-ароматических добавок и овощного сырья. Это определяет основную задачу исследований и является актуальной и перспективной. Целью разработки новых специализированных продуктов является получение обогащенных модельных композиций для изготовления индустриальным способом функциональных фаршевых изделий высокого качества. В статье приведены данные по оптимизации ингредиентного состава рыбных кулинарных изделий с учетом технологических свойств сырья и условий хранения. Научно обоснован перечень ингредиентов, обладающих иммуномодулирующими и антиоксидантными свойствами и возможность их применения при приготовлении специализированных рыбных кулинарных изделий для рационального и специализированного питания. Оптимизация проводилась с использованием современных программ, предусматривающих математическое моделирование рецептур изделий в реализованном диапазоне изменения параметров. Смоделирован качественный и количественный рецептурный состав в соответствии с санитарными нормами и требованиями СанПин 2.3/2.4.3590–20, предъявляемыми к продуктам питания населения.

Ключевые слова: пищевая ценность, рыбные изделия, кулинарная продукция, показатели качества, продукты питания.

Functional fish products with jerusalem artichoke

Anna T. Vasyukova [1] vasyukova-at@ya.ru 0000-0002-7374-4145
Konstantin V. Krivoshonok [1] krivoshonok@gmail.com 0000-0001-6360-6964
Sofia V. Aleshkina [1] aleshkina2014@list.ru 0000-0002-0832-5067
Tamara N. Sharova [2] sharova1412@gmail.com 0000-0003-1354-8246
Valery I. Karpov [2] vikarp@mail.ru 0000-0001-6338-0467
Svetlana V. Zangieva [3] ms.lana2004@mail.ru 0000-0002-9258-4749

1 Moscow State University of Food Production, 11, Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russia
2 Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky, 73, Zemlyanoy Val Str., Moscow, 109004, Russia
3 Sochi State University, 94, Plastunskaya str., Sochi, Krasnodar Territory, 354000 Russia

Abstract. The article provides basic information about the functional properties of fish culinary products developed on the basis of freshly frozen pollock fish with additives of vegetable powders: jerusalem artichoke powder, basil, tomato, paprika, dill, and onion and carrot were used as vegetable raw materials. The influence of the duration of heat treatment of products from pollock cutlet mass on sensory characteristics, the value of moisture-retaining ability, the size of the particles of crushed muscle tissue of model samples of minced meat is considered. Rational parameters of heat treatment of functional minced fish products have been established. The influence of a vegetable additive from Jerusalem artichoke on the functional and technological characteristics of minced fish systems has been studied. The safety indicators of finished products prepared on the basis of heat-treated fish raw materials with the addition of jerusalem artichoke powder, flavoring additives and vegetable raw materials are investigated. This determines the main task of research and is relevant and promising. The purpose of the development of new specialized products is to obtain enriched model compositions for the manufacture of high-quality functional minced products in an industrial way. The article presents data on the optimization of the ingredient composition of fish culinary products, taking into account the technological properties of raw materials and storage conditions. The list of ingredients with immunomodulatory and antioxidant properties and the possibility of their use in the preparation of specialized fish culinary products for rational and specialized nutrition is scientifically substantiated. Optimization was carried out using modern programs that provide mathematical modeling of product formulations in the realized range of parameter changes. The qualitative and quantitative prescription composition is modeled in accordance with sanitary norms and requirements of the SanPiN 2.3/2.4.3590–20 requirements for food products of the population.

Keywords: nutritional value, fish products, culinary products, quality indicators, food.

Для цитирования
Васюкова А.Т., Кривошонок К.В., Алешкина С.В., Шарова Т.Н., Карпов В.И., Зангиева С.В. Функциональные рыбные изделия с топинамбуром // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 62–70. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-62-70

For citation
Vasyukova A.T., Krivoshonok K.V., Aleshkina S.V., Sharova T.N., Karpov V.I., Zangieva S.V. Functional fish products with jerusalem artichoke. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 62–70. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-62-70

© 2022, Васюкова А.Т. и др. / Vasyukova A.T. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Рыба, обладая исключительно высокими пищевыми качествами, занимает важное место в питании человека. Рыба – идеальное сырье для производства продуктов функционального питания, так как она содержит незаменимые аминокислоты, в том числе лизин и лейцин, незаменимые жирные кислоты, включая уникальные эйкозапентаеновую и докозогексаеновую, жирорастворимые витамины, микро- и макроэлементы в благоприятных для организма соотношениях [12]. Следует отметить, что все большей популярностью у потребителей пользуются быстро замороженные кулинарные продукты – рыбные котлеты, биточки, фрикадельки и прочее. Рыбные продукты широко используются в повседневном рационе, в диетическом и детском питании, т. к. являются источником полноценного животного белка. Формовой рыбный продукт – это продукт заданной формы и размеров, приготовленный из рыбного филе или фарша с различными добавками [14].

Разработка композиции рыбных полуфабрикатов заключается в сохранении полезных свойств исходных компонентов рыбных котлет и введением таких растительных добавок, которые гарантируют получение рыбного продукта функциональной направленности [1, 2, 16].

В настоящее время ассортимент рыбных полуфабрикатов, отвечающих современным медико-биологическим и физиологическим нормам, предназначенных для всех категорий людей, практически не сформирован [18]. В сложившейся структуре питания как взрослого, так и детского населения России выявлен недостаток животного белка и микронутриентов – витаминов и минеральных веществ. Широкие исследования показали, что нарушения в структуре питания и пищевом статусе приводят к отклонениям: нарушения в сбалансированности рационов; снижение показателей физического развития. Особенно серьезной проблемой является дефицит ряда микронутриентов [3].

В настоящее время рыбные полуфабрикаты пользуются повышенным спросом на отечественном рынке потребителей. В связи с этим производители ищут и разрабатывают технологии и рецептуры ассортимента рыбного сырья с целью увеличения объема их производства [19].

Среди рыбных полуфабрикатов особой популярностью пользуются котлетные массы, а именно рыбные котлеты. Однако предоставляемый ассортимент обычно ограничен. Аналитический обзор литературы и патентный поиск показали, что при приготовлении рыбных полуфабрикатов применяется в основном рыбным фарш, пшеничный хлеб, яйцо [17].

Исследования технологии и ассортимента слоеных изделий отражены в работах таких ученых, как: Антипова Л.В., Бражная И.Э., Бессонова Л.П., Васюкова А.Т., Войтенко О.С., Войтенко Л.Г., Куликова А.С., Нечепорук А.Г., Титова И.М., Тифанюк А.В., Третьякова Е.Н., Ушакова Е.Н., и др.

Увеличение производимых полуфабрикатов можно реализовать за счет использования других видов загустителей котлетной массы. Известны исследования Турчинской А.В (2016), посвященные применению различным растительным загустителям в технологии продукции повышенной пищевой ценности [4].

Цель работы – получение обогащенных модельных композиций для изготовления индустриальным способом функциональных фаршевых изделий высокого качества.

Материалы и методы

Определение физико-химических показателей эффективных добавок – стабилизаторов, структурообразователей, загустителей проводили с помощью методик, опубликованных в «Руководствах по методам исследований» [8]. Математическую обработку результатов исследований проводили, используя программный пакет Curve Expert Ver. 1.34. Методом подбора компонентов были выявлены перспективные сочетания для обогащения традиционных рецептур растительными компонентами пищи и методом планирования эксперимента созданы модельные структуры, на основании которых изготовлены функциональные продукты. Результаты исследования и обсуждение: разработаны новые вкусовые качества котлет, как с добавлением БАД, таких как топинамбура, лука, моркови, томата, паприки, укропа, базилика. В качестве контроля были котлеты, приготовленные по традиционной рецептуре. Все исследуемые образцы готовились в пароконвектомате на режиме «пар», «конвекция», «конвекция + жар». Получено: что все полуфабрикаты соответствуют доброкачественной продукции из рыбного фарша, изготавливаемого в предприятиях общественного питания – ТУ 10.20.25–040–35749547–2020 Рыбные полуфабрикаты. Установлено, проектируемая рецептура отвечает оптимальным показателям при концентрации БАД от 1 до 3 %.

Органолептическую оценку проводили профильным методом по разработанной системе дескрипторов, которые включают: поверхность, вид на разрезе, вкус, цвет, запах. Пищевую и энергетическую ценность образцов характеризовали расчетным методом по справочным таблицам содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов. Все анализы проводили не менее чем в трех параллельных опытах.

Для написания данной научной статьи были изучены материалы на русском и английском языках таких баз данных как Google Scholar, Web of Science, Elibrary.ru, Google Академия. Поиск был ограничен временным периодом с 2010 до 2022 года, также был задан минимальный порог цитирования – 5. В центре внимания были статьи, опубликованные в научных журналах, для обеспечения точности данных. Во время поиска материала использовались ключевые слова: «рыбные полуфабрикаты», «рациональное питание», «котлетные массы», «загустители», «технологии и рецептуры».

Результаты и обсуждение

Создавая функциональный специализированный продукт, с содержанием натуральных экстрактов, было рассмотрено большое количество сырья в различных пропорциях [1]. Наилучшее качество суспензии соответствует оптимальным структурно-механическим свойствам, полученным при экспериментальных значениях, которые приходятся на конец первого и начало второго периодов интенсивного перемешивания составных компонентов рецептуры до получения однородной среды. Установлено, что для перемешивания рыбных вязких фракций целесообразно использовать лопастной рабочий орган с углом наклона лопатки к оси вращения 20 – 30° или шнековый с меняющими направление перемещения винтами. Перемешивание фарша в фаршемешалке на минимальном количестве оборотов приводило к получению вязкого фарша [20].

Однако, для разработки рецептуры обогащенного рыбного модельного фарша необходимо выбрать требуемое овощное, плодовое или пряно-ароматическое сырье, удовлетворяющее физиологии питания населения и рациональному использованию пищевых продуктов [18].

В результате исследования было установлено, что овощные порошки содержат белка в пределах 1,2…14,0 %, жира – 0,1…12,9 %, углеводов – 3,0…49,2 %, пищевых волокон – 0,6…34,9 %, из минеральных веществ больше всего калия 2288 мг в паприке. В значительных количествах содержится натрий, калий, кальций, магний, фосфор и железо (в паприке). Из микроэлементов можно отметить железо, концентрация которого в овощах – 0,4…21,14 мг, а в яблоках – 2,23 мг. Из витаминов большая концентрация аскорбиновой кислоты – 0,9…200 мг и β-каротина – 0,012…40 мг [13].

Реализуемый полуфабрикат предназначен для включения его ежедневный рацион питания всеми возрастными группами населения, функциональный состав которого обогатит приемы пищи человека витаминами, микро-и макронутриентами, минеральными веществами. [5–8].

Использование загустителей, входящих в состав рыбных котлет, способствует расширению спектра функциональных свойств продукта, а именно – улучшению вкусовых и пищевых свойств, благотворному влиянию на физиологические аспекты здоровья людей, улучшению структуры питания населения и как следствие повышению потребительского спроса на подобную продукцию [21].

Актуальной задачей в области гигиены питания является выявление путей, которые позволили бы обеспечить потребление веществ, играющих важную роль в физиологических процессах организма, т. е. пищевых волокон, которые ценятся свойством стимулировать перистальтику кишечника, выводить из организма радионуклиды, тяжелые металлы, нормализовать состав микроорганизмов, находящихся в кишечнике, обеспечивать образование витаминов группы В, нормализовать холестерин. Использование овощей, специй и различной муки в производстве рыбных полуфабрикатов позволяет частично решить и эту задачу [13].

Употребление в питании натуральных продуктов имеет ряд преимуществ.

Как правило, в состав этих продуктов помимо белковых веществ входят витамины, минеральные соли, органические кислоты, пищевые волокна и другие ценные компоненты, причем находятся они в виде природных соединений, в той форме, которая лучше усваивается организмом [12].

В качестве добавок из растительного сырья выбраны сушеный базилик-томат-паприка, сушеный укроп, мука из топинамбура.

Сушеный базилик является незаменимым продуктом для питания людей, которые находятся на реабилитации после тяжелого продолжительного заболевания. Богатый витаминно-минеральный комплекс, флавоноиды, фитонциды в составе растения определяет полезные свойства сушеного базилика. Целебные воздействия, оказываемые пряной травой на организм человека, которые снимают воспаления миндалин при ангине, повышенную температуру, заживляет раны, сглаживает последствия стрессов, успокаивает, борется с бессонницей, снижает внутричерепное давление, стимулирует развитие интеллекта, устраняет метеоризм, вялое пищеварение, повышает показатель гемоглобина в крови, очищает дыхательные пути, предупреждает образование, развитие раковых клеток, положительно влияет на сосуды, предотвращая образование тромбов [9].

Томаты – кладезь полезнейших веществ, которые также способствуют оздоровлению человека от различных болезней. Сушеные томаты являются защитником сердечной мышцы

в связи с тем, что в ягодах есть ликопин, благотворно воздействующий на сердце. Ликопин эффективен при защите организма от клеток рака, то есть, ежедневное потребление томатов снижает риск возникновения раковой болезни. Бета-каротин, преобразующийся под воздействием сушки в томатах, в витамин А, обеспечивает комплексную поддержку здоровья кожи, ногтей, волос, зубной эмали и слизистой у человека. Витамин Е составляет антиоксидантную поддержку человеческого организма [16]. Укрепление иммунитета происходит благодаря воздействию витамина С. Наличие микроэлемента «калий» способствует предупреждению болезней системы сердца и сосудов, снижению артериального давления и инсульта. Помимо этого, калий защищает организм от потери ткани в мышцах, уменьшает возможность образования камней в почках, а также защищает скелет от остеопороза. Благодаря высокому процентному соотношению между водой и клетчаткой, томат способствует правильной гидратации в организме, снижает риск запоров, и эффективно удаляет токсичные вещества из организма [22]. Кормящим матерям томаты нужны потому, что обладают способностью повышать лактацию (выработку молока в грудях), а также поднимают содержание ликопина в крови, благодаря чему организм быстрее восстанавливается. Благодаря сушке, они становятся концентрированным источником полезных веществ. В связи с этим употребление в период авитаминоза позволит насытить организм необходимыми витаминами [10].

Укроп – уникальное растительное сырье, которое имеет сильный пряный освежающий вкус и запах, богатый состав и благотворно воздействует на многие системы организма.

Сухой укроп сохраняет практически все минералы, микро- и макроэлементы, полезные для организма. В его составе обнаружены флавоноиды. Диетологи рекомендуют добавлять укроп в пищу тем, кто желает похудеть или следит за весом. Растительная клетчатка, содержащаяся в составе, очищает организм от шлаков и токсином, стимулирует обмен веществ, ускоряет процесс расщепления жиров, обеспечивает быстрое и длительное чувство насыщения, благодаря чему уменьшается объем порций, отпадает необходимость в дополнительных перекусах [17].

Сушеный укроп частично удовлетворяет потребности организма в витамине А, аскорбиновой кислоте, калии, кальции, магнии, марганце, меди, цинке, фосфоре, железе, других витаминах и минералах, важных для организма. Улучшает работу желудочно-кишечного тракта, нормализует аппетит, стимулирует перистальтику кишечника, уменьшает скопление газов, облегчает или полностью снимает болезненный спазм в желудке [24]. Он обеспечивает нормальную работу миокарда, стабилизирует артериальное давление, снижает уровень холестерина, препятствует склеиванию тромбоцитов, что служит хорошей профилактикой инфаркта миокарда, инсульта, атеросклероза. Расширяет просвет сосудов, что приводит в норму кровообращение, обеспечивает свободный приток крови вместе с кислородом и питательными веществами к органам и тканям.

Усиливает иммунную защиту, препятствует укреплению и размножению болезнетворных микроорганизмов на слизистых дыхательных путях, предупреждает хронические заболевания органов дыхания, служит профилактикой гриппа, ОРВИ, ОРЗ [11].

Состав муки из топинамбура уникален. Топинамбур богат клетчаткой, пектином, органическими кислотами, незаменимыми аминокислотами и микроэлементами. Особенно высоко в нем содержание кремния и калия, железа. Комплекс микроэлементов, которые содержатся в топинамбуре укрепляет сердце и сосуды. Вполне заменяет препараты из аптеки – калиево-магниевый комплекс. Топинамбур отличается от других овощей повышенным содержанием белка и большим количеством природного аналога инсулина – инулина, который легко усваивается организмом [23].

Включение в рацион топинамбура благотворно воздействует на обмен веществ при сахарном диабете.

В результате работы проведены комплексные исследования технологических операций производства рыбного полуфабриката, направленные на оптимизацию влагоудерживающих свойств, pH-среды и плотность котлетной массы, приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Комплексные показатели технологических операций производства рыбного полуфабриката

Table 1.

Complex indicators of technological operations for the production of semi-finished fish

Показатель | Indicator	Контроль | Control	1	2	3	4
pH полуфабриката | pH of the semi-fabricate	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
pH готовых рыбных котлет | pH of cooked fish cutlet	6,0	6,0	7,0	6,0	7,0
Плотность полуфабриката | Semi-finished product density	1,04	1,11	1,02	1,01	1,1
Плотность готовых рыбных котлет | Density of cooked fish cutlet	0,59	0,63	0,55	0,6	0,57
Влагоудерживающая способность полуфабриката Moisture retention capacity of the semi-finished product	94,5	56,7	62,4	63,1	55,5
Влагоудерживающая способность готовых рыбных котлет Moisture retention capacity of cooked fish cutlet	32,2	31,3	32,9	33,1	34,2

Анализ полученных данных показывает, что тепловая обработка приводит к повышению pH среды в нейтральную сторону. При этом снижается соответственно влагоудерживающая способность готового блюда

Таким образом, теоретически обосновано и экспериментально подтверждена возможность использования сухих растительных компонентов в технологии нового пищевого функционального продукта.

Разработанный полуфабрикат является натуральным, входящие в состав компоненты (сушеные базилик, томат, паприка, сушеный укроп, мука из топинамбура) также являются натуральными и природными, что позволяет расширить круг потребителей. По вкусовым свойствам разрабатываемый продукт будет превосходить контроль.

Функциональный состав полуфабриката будет благотворительно влиять на состояние здоровья населения, так как обогащен витаминами, биологически активными и минеральными веществами.

Практическая значимость заключается в получении рыбных котлет с новыми вкусовыми характеристиками, выявленными на основе сочетаемости входящих в рецептуру компонентов и оптимизации этих показателей.

Обоснованы рецептурные соотношения биологически активных компонентов, загустителей в рецептурах котлетной массы с концентрацией биоактивных добавок до 4 %. Образцы новых видов рыбных полуфабрикатов показаны на рисунке 1.

Поэтому, методом подбора компонентов были выбраны перспективные ингредиенты для обогащения традиционных рецептур котлет. Установлено, что в качестве рационального сырья применимы мука из топинамбура, лук репчатый, укроп сушеный, морковь, томат (сушеный), паприка, базилик (сушеный) и яйцо куриное [14, 15].

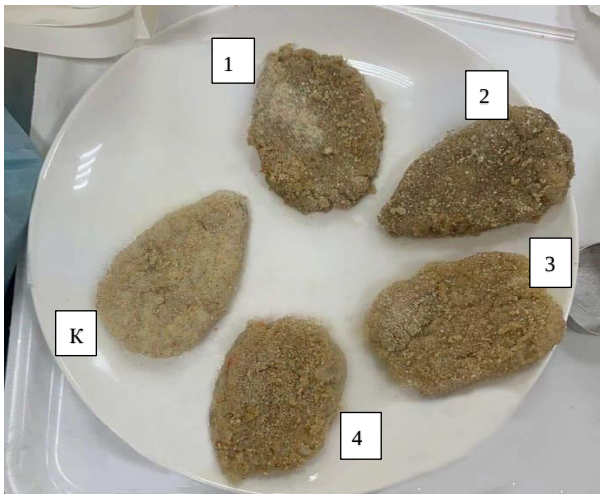


Рисунок 1. Образцы рыбных полуфабрикатов: К – контроль, 1 – с добавлением базилика и яйца куриного, 2 – с добавлением лука репчатого, сушеной смеси томат / паприка / укроп и яйца куриного, 3 – с добавлением моркови, яйца куриного и муки из топинамбура, 4 – с добавлением лука репчатого, моркови, сушеной смеси томат / паприка / укроп и куриного яйца

Figure 1. Samples of ready-to-cook fish: K – control, 1 – with basil and chicken egg, 2 – with onion, dried tomato/paprika/ dill mixture and chicken egg, 3 – with carrot, chicken egg and flour from jerusalem artichoke, 4 – with onion, carrot, dried tomato/paprika/ dill mixture and chicken egg

Таким образом, на основании органолептических и физико-химических исследований для производства рыбных котлет выбраны смесь томат (сушеный), паприка, укроп (сушеный), мука из топинамбура, базилик, лук репчатый, яйцо куриное и морковь. В результате математического планирования задачи составлена оптимальная рецептура рыбных котлет, приведенная в таблице 4.

Таблица 2.

Сравнительный анализ пищевой ценности растительного сырья, традиционного и рекомендованного для разрабатываемых рецептур рыбных котлет с добавлением муки из топинамбура, базилика (сушеный), укропа (сушеный) и моркови, г/100г

Table 2.

Comparative analysis of the nutritional value of vegetable raw materials, traditional and recommended for the formulation of fish cutlet with topinambour flour, basil (dried), dill (dried) and carrots, g / 100g

Вещество Substances	Минтай pollock	Мука из топинамбура Flour from jerusalem artichoke		Базилик (сушеный) Basil (dried)		Укроп (сушеный) Dill (dried)		Морковь Carrot	
		содержание content	отклонение deviation	содержание content	отклонение deviation	содержание content	отклонение deviation	содержание content	отклонение deviation
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Влажность Humidity	82,0	6,0	– 76,0	10,0	– 72,0	7,0	– 75,0	1,4	– 80,6
Белок Protein	15,9	4,7	– 11,2	23,0	– 7,1	20,0	+ 4,1	7,8	– 8,1
Жир | Fat	0,9	2,2	+ 1,3	4,1	+ 3,2	4,4	+ 3,5	0,6	– 0,3

Продолжение таблицы 2 | Continuation of table 2

1	2	3	4	5	6	7			
Углеводы общие Carbohydrates General	0,0	73,1	+ 73,1	10,1	+ 10,1	42,2	+42,2	49,2	+49,2
Пищевые волокна Food Fiber	0,0	8,0	+ 8,0	37,7	+ 37,7	13,6	+13,6	7,2	+ 7,2
Органические кислоты Organic acids	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	+ 0,8
Зола | Ash	1,41	2,54	+ 1,13	14,85	+ 13,44	12,56	+ 11,15	3	+ 1,59
Na	40,0	4,0	– 36,0	76,0	+ 36,0	208,0	+ 168,0	967	+ 927,0
K	420,0	429,0	+ 9,0	2630,0	+ 2210,0	3308,0	+ 2888,0	59	– 361,0
Ca	40,0	78,0	+ 38,0	2240,0	+ 2200,0	1784,0	+ 1748,0	105	+ 65,0
Mg	55,0	35,0	– 20,0	711,0	+ 656,0	451,0	+ 396,0	56	+ 1,0
P	240,0	78,0	– 162	274,0	+ 34,0	543,0	+ 340,0	294	+ 54,0
Fe	0,8	10,0	+ 9,2	89,8	+ 89,0	48,78	+ 47,98	3	+ 2,2
β-каротин β-carotene	0,0	0,06	+ 0,06	0,378	+3,78	0,0	0,0	40	+ 40,0
B_1	0,11	1,0	+ 0,89	0,08	– 0,03	0,418	+ 0,308	0,12	+ 0,1
B_2	0,11	0,06	– 0,05	1,2	+ 1,09	0,284	+ 0,138	0,3	+ 0,19
PP	4,6	1,3	– 3,3	4,9	+ 0,3	2,807	– 1,793	2,6	+ 2,0
C	40	20,0	– 20,0	0,8	– 39,2	50,0	+ 10,0	10	– 30,0
ЭЦ, ккал EC, kcal	72,0	340,0	– 268,0	233,0	+ 161,0	253,0	+ 183	226	+ 154,0

Таблица 3.

Сравнительный анализ пищевой ценности растительного сырья, традиционного и рекомендованного для разрабатываемых рецептур рыбных котлет с добавлением томата (сушеный), паприки, лука репчатого и яйца куриного, г/100г

Table 3.

Comparative analysis of the nutritional value of vegetable raw materials, traditional and recommended for the formulation of fish balles fish cutlet with tomato (dried), paprika, onion onions and chicken egg, g / 100g

Вещество Substances	Минтай pollock	Томат (сушеный) Tomato (dried)		Паприка Paprika		Лук репчатый Onion		Яйцо куриное Chicken egg	
		содержание content	отклонение deviation	содержание content	отклонение deviation	содержание content	отклонение deviation	содержание content	отклонение deviation
Влажность Humidity	82,0	0,0	+ 82,0	11	– 71,0	86,0	+ 4,0	74,0	– 8,0
Белок Protein	15,9	3,0	– 12,9	14,1	– 1,8	1,4	– 14,5	12,7	– 3,2
Жир Fat	0,9	4,4	+ 3,5	12,9	+ 12,0	0,2	– 0,7	11,5	+ 10,6
Углеводы общие Carbohydrates General	0,0	4,7	+ 4,7	19,1	+ 19,1	8,2	+8,2	0,7	+ 0,7
Пищевые волокна Food Fiber	0,0	0,0	0,0	34,9	+ 34,9	3,0	+ 3,0	0,0	0,0
Органические кислоты Organic acids	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	+0,2	0,0	0,0
Зола /ash	1,41	12,6	+ 11,19	7,74	+ 6,33	0,35	– 1,06	1,06	0,35
Na	40,0	0,0	– 40,0	68	+ 28,0	4,0	– 36,0	134,0	+ 94,0
K	420,0	0,0	– 420,0	2280	+ 1860,0	175,0	– 275	140,0	– 280,0
Ca	40,0	0,0	– 40,0	229	+ 189,0	31,0	– 9,0	55,0	+ 15,0
Mg	55,0	0,0	– 55,0	178	+ 123,0	14,0	– 41,0	12,0	– 43,0
P	240,0	0,0	– 240,0	314	+ 74,0	58,0	– 182,0	192,0	– 48,0
Fe	0,8	0,0	– 0,8	21,14	+ 20,34	0,8	0,0	2,5	+ 1,7
β-каротин β-carotene	0,0	0,0	0,0	26,16	+ 26,16	0,001	+ 0,001	0,06	+ 0,06
B_1	0,11	0,0	– 0,11	0,33	+ 0,22	0,05	– 0,06	0,07	– 0,04
B_2	0,11	0,0	– 0,11	1,3	+ 1,19	0,02	– 0,09	0,44	+ 0,33
PP	4,6	0,0	– 4,6	10,06	+ 5,46	0,5	– 4,1	3,6	– 1,0
C	40	0,0	– 40	0,9	+ 39,1	10,0	– 30,0	55,0	+ 15,0
ЭЦ, ккал EC, kcal	72,0	70,0	– 2,0	282,0	+ 210,0	41,0	– 31,0	157,0	+85,0

Таблица 4.

Оптимизированная рецептура обогащенных рыбных котлет

Table 4.

Optimized formulation of enriched fish balls

Продукт Product	Содержание компонентов | Content of components		Оптимально, г/ Optimal, g
	min	max	
Минтай | Pollock	32,5	32,5	32,5
Молоко | Milk	12,5	12,5	12,5
Сухари | Breadcrumbs	5,0	5,0	5,0
Перец молотый | Ground pepper	0,025	0,025	0,025
Масло растительное | Vegetable oil	4,0	4,0	4,0
Лук репчатый | Onion	4,5	4,5	4,5
Морковь | Carrot	3,0	3,0	3,0
Базилик | Basil	0,1	0,1	0,1
Смесь томат (сушеный), паприка, укроп (сушеный) Mix of tomato (dried), paprika, dill (dried)	0,2	0,5	0,35
Яйцо куриное | Chicken egg	7,0	2,5	4,75
Мука из топинамбура Flour from jerusalem artichoke	0,2	0,2	0,2
Соль | Salt	0,5	0,5	0,5
Итого | Total	70,0	65,0	67,0

Анализ таблицы 4 показывает, что в процессе разработки рецептуры котлет определены минимальные и максимальные концентрации составных компонентов рецептуры, которые наилучшим способом будут отвечать пищевой ценности самого продукта и максимально приближено к потребностям населения.

Методом компьютерного моделирования и планирования рецептур получены оптимальные значения, которые соответствуют реологическим показателям рыбной котлетной массы, что позволяет формовать и доводить до готовности на промышленной линии по изготовлению котлет. Эта технология даст возможность использовать разработанные полуфабрикаты различной степени готовности, а также применять их для изготовления рыбных кулинарных изделий широкого ассортимента с использованием растительного и пряно-ароматического сырья.

Установлено, по органолептическим и микробиологическим показателям котлеты соответствуют ТУ 10.20.25–040–35749547–2020 Рыбные полуфабрикаты.

Заключение

Оптимизированная рецептура обогащенного рыбного модельного фарша по ингредиентному составу максимально будет приближаться к контрольному образцу, составляющему нормативной документации, а по пищевой и энергетической ценности соответствует функциональным рыбным продуктам.

Литература

1 Лисовицкая Е.П. Функциональные продукты питания на основе рыбного сырья // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: сбор. статей по матер. III научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 95-летию Кубанского государственного аграрного университета. Краснодар, 2017. С. 242–245.

2 Лисовицкая Е.П., Патиева С.В., Патиева А.М. Перспективы развития рыбной промышленности // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сбор. статей по матер. 72-й научно-практ. конф. преподавателей по итогам НИР за 2016 г. Краснодар, 2017. С. 375–376.

3 Сборец М.К., Антипова Л.В., Глотова И.А. Совершенствование рецептур рыбных рубленых полуфабрикатов для питания школьников // Современные наукоемкие технологии. 2010. № 3. С. 68–69.

4 Асфондьярова И.В., Турчинская А.В., Булдаков А.В. Обоснование и разработка безопасной рыбомучной продукции повышенной пищевой ценности // Вопросы питания. 2016. Т. 85. №. S2. С. 132-132.

5 Санитарные правила и нормы СанПиН 2.3.2.560–96 "Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов" (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 24 октября 1996 г. № 27) (с изм. и доп. от 11 октября 1998 г., 21 марта 2000 г., 13 января 2001 г.).

6 Ратушный А. Технология продукции общественного питания. Litres, 2022.

7 Васюкова А., Куликов Д., Славянский А. Технология продукции общественного питания. Litres, 2022.

8 Карпухина В. Целительные специи. Пряности. Приправы. От 100 болезней. М.: АСТ, 2014. 256 с.

9 Атамбаева Ж.М., Нургазезова А.Н., Калиева З.Ж., Ребезов М.Б. Анализ разработок технологий формованных рыбных полуфабрикатов функционального назначения // Техника. Технологии. Инженерия. 2016. № 1 (1). С. 64–67. URL: https://moluch.ru/th/8/archive/36/1071/

10 Васюкова А.Т., Першакова Т.В., Фалин Д.Н., Яковлева Т.В. и др. Влияние обогащающих добавок на пищевую ценность мясных и рыбных продуктов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2011. № 2–3 (320–321). С. 11–13.

11 Драчева Л.В., Зайцев Н.К., Жарикова О.А., Васюкова А.Т. Суммарная антиоксидантная активность растительных экстрактов // Пищевая промышленность. 2011. № 9. С. 44–45;

12 Ялунина Е.Н., Гаянова В.М. Повышение эффективности развития пищевой промышленности в России с помощью инструментов стратегического управления // Российское предпринимательство. 2014. №. 17 (263). С. 120-133.

13 Першакова Т.В., Васюкова А.Т., Жилина Т.С., Яковлева Т.В. и др. Применение нетрадиционного сырья в рецептурах кулинарных изделий // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2011. № 1 (319). С. 36–37;

14 Васюкова А.Т., Богоносова И.А., Баженов Н.С. Рациональное питание организованных коллективов // Прикладные исследования и технологии ART2019. 2019. С. 28-31.

15 Сушеный базилик — полезные свойства и применение // Мой домик. 2019. URL: https://moydommik.ru/pripravy-i-specii/sushenyj-bazilik/#i-3/

16 Васюкова А.Т., Кривошонок К.В., Веденяпина М.Д., Кузнецов В.В. Моделирование системы оценки «индекса несъедаемости» в школьной столовой на примере рыбных блюд // Рыбное хозяйство. 2022. № 2. С. 88–10.

17 Васюкова А.Т., Кривошонок К.В., Сидоренко Ю.И. Биогенные амины в рыбных полуфабрикатах и кулинарных изделиях // Рыбное хозяйство. 2022. № 1. С. 95–102.

18 Васюкова А.Т., Кусова И.У., Кривошонок К.В., Эдварс Р.А. и др. Влияние БАД на потребительские свойства функционального фарша // Товаровед продовольственных товаров. 2022. № 3. С. 174–179.

19 Сушеные помидоры — полезные свойства и вред. URL: https://polzaivredno.ru/sushenye-pomidory-poleznye-svojstva-i-vred/

20 Чем полезен сушеный укроп, как его заготовить и использовать. URL: https://agronom.expert/posadka/ogorod/zontichnye/ukrop/chem-polezen-sushenyy-ukrop-kak-ego-zagotovit-i-ispolzovat.html/

21 Ditrikh I., Saltan B. Formulation or recipes of functional food products based on fish raw materials, characteristics of their consumer propertie. 2018.

22 Samojlova D.A., Tsibizova M.E. Secondary resources of the fishing industry as a source of food and dietary supplements // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. 2015.

23 Eskin M., Robinson D.S. Food shelf life stability: chemical, biochemical, and microbiological changes. CRC Press, 2000.

24 Froning G.W., McKee S.R. Mechanical separation of poultry meat and its use in products-Poultry meat processing. Ed. Sams-CRC Press LLC, 2001.

25 Roberfroid M.B. Global new on functional foods: European perspectives // British J. Nutrition. 2002. V. 88. №. 2. P. 133–138.

26 Veeman M. Policy Development for Novel Foods: Issues and Challenges for Functional Food // Canadian Journal of Agricultural Economics. 2002. V. 50.

27 Jia Z., Xu W. Synthesis and antibacterial activities of quaternary ammonium salt of chitosan // Carbohydrate research 2001. V. 333. №. 1. P. 1-6.

References

1 Lisovitskaya E.P. Functional food products based on fish raw materials. Modern aspects of production and processing of agricultural products: collection. articles on mater. III scientific and practical. conf. students, graduate students and young scientists, dedicated to the 95th anniversary of the Kuban State Agrarian University. Krasnodar, 2017. pp. 242–245. (in Russian).

2 Lisovitskaya E.P., Patieva S.V., Patieva A.M. Prospects for the development of the fishing industry. Scientific support of the agro-industrial complex: collection. articles on mater. 72nd scientific and practical. conf. teachers based on the results of research for 2016. Krasnodar, 2017. pp. 375–376. (in Russian).

3 Sborets M.K., Antipova L.V., Glotova I.A. Improving the recipes of chopped fish semi-finished products for schoolchildren nutrition. Modern science-intensive technologies. 2010. no. 3. pp. 68–69. (in Russian).

4 Asfondyarova I.V., Turchinskaya A.V., Buldakov A.V. Substantiation and development of safe fish meal products of increased nutritional value. Food Issues. 2016. vol. 85. no. S2. pp. 132-132. (in Russian).

5 Sanitary rules and norms SanPiN 2.3.2.560–96 "Hygienic requirements for the quality and safety of food raw materials and food products" (approved by the Decree of the State Committee for Sanitary and Epidemiological Supervision of the Russian Federation of October 24, 1996 No. 27) (as amended and supplemented by October 11, 1998 March 21, 2000, January 13, 2001). (in Russian).

6 Ratushny A. Technology of public catering products. Letters, 2022. (in Russian).

7 Vasyukova A., Kulikov D., Slavyansky A. Technology of public catering products. Letters, 2022. (in Russian).

8 Karpukhina V. Healing spices. Spices. Seasonings. From 100 diseases. M., AST, 2014. 256 p. (in Russian).

9 Atambaeva Zh.M., Nurgazezova A.N., Kalieva Z.Zh., Rebezov M.B. Analysis of the development of technologies for molded fish semi-finished products for functional purposes. Tekhnika. Technology. Engineering. 2016. no. 1 (1). pp. 64–67. Available at: https://moluch.ru/th/8/archive/36/1071/ (in Russian).

10 Vasyukova A.T., Pershakova T.V., Falin D.N., Yakovleva T.V. et al. Influence of enriching additives on the nutritional value of meat and fish products. Izvestiya of higher educational institutions. Food technology. 2011. no. 2–3 (320–321). pp. 11–13. (in Russian).

11 Dracheva L.V., Zaitsev N.K., Zharikova O.A., Vasyukova A.T. Total antioxidant activity of plant extracts. Food industry. 2011. no. 9. pp. 44–45. (in Russian).

12 Yalunina E.N., Gayanova V.M. Improving the Efficiency of the Development of the Food Industry in Russia Using Strategic Management Tools. Russian Journal of Entrepreneurship. 2014. no. 17 (263). pp. 120-133. (in Russian).

13 Pershakova T.V., Vasyukova A.T., Zhilina T.S., Yakovleva T.V. and others. The use of non-traditional raw materials in the recipes of culinary products. News of higher educational institutions. Food technology. 2011. no. 1 (319). pp. 36–37. (in Russian).

14 Vasyukova A.T., Bogonosova I.A., Bazhenov N.S. Rational nutrition of organized teams. Applied research and technology ART2019. 2019. pp. 28-31. (in Russian).

15 Dried basil - useful properties and applications. My house. 2019. Available at: https://moydommik.ru/pripravy-i-specii/sushenyj-bazilik/#i 3/ (in Russian).

16 Vasyukova A.T., Krivoshonok K.V., Vedenyapina M.D., Kuznetsov V.V. Modeling the system for assessing the "inedibility index" in the school canteen on the example of fish dishes. Rybnoe khozyaystvo. 2022. no. 2. pp. 88–10. (in Russian).

17 Vasyukova A.T., Krivoshonok K.V., Sidorenko Yu.I. Biogenic amines in fish semi-finished products and culinary products. Fisheries. 2022. no. 1. pp. 95–102. (in Russian).

18 Vasyukova A.T., Kusova I.U., Krivoshonok K.V., Edwards R.A. et al. Influence of dietary supplements on consumer properties of functional minced meat. Commodity researcher of food products. 2022. no. 3. pp. 174–179. (in Russian).

19 Dried tomatoes - useful properties and harm. Available at: https://polzaivredno.ru/sushenye-pomidory-poleznye-svojstva-i-vred/ (in Russian).

20 What is dried dill useful for, how to prepare and use it. Available at: https://agronom.expert/posadka/ogorod/zontichnye/ukrop/chem-polezen-sushenyy-ukrop-kak-ego-zagotovit-i-ispolzovat.html/ (in Russian).

21 Ditrikh I., Saltan B. Formulation or recipes of functional food products based on fish raw materials, characteristics of their consumer propertie. 2018.

22 Samojlova D.A., Tsibizova M.E. Secondary resources of the fishing industry as a source of food and dietary supplements. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. 2015.

23 Eskin M., Robinson D.S. Food shelf life stability: chemical, biochemical, and microbiological changes. CRC Press, 2000.

24 Froning G.W., McKee S.R. Mechanical separation of poultry meat and its use in products-Poultry meat processing. Ed. Sams-CRC Press LLC, 2001.

25 Roberfroid M.B. Global new on functional foods: European perspectives. British J. Nutrition. 2002. vol. 88. no. 2. pp. 133–138.

26 Veeman M. Policy Development for Novel Foods: Issues and Challenges for Functional Food. Canadian Journal of Agricultural Economics. 2002. vol. 50.

27 Jia Z., Xu W. Synthesis and antibacterial activities of quaternary ammonium salt of chitosan. Carbohydrate research 2001. vol. 333. no. 1. pp. 1-6.

Сведения об авторах

Анна Т. Васюкова д.т.н., профессор, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, vasyukova-at@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-7374-4145

Константин В. Кривошонок аспирант, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, krivoshonok@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-6360-6964

Софья В. Алешкина магистр, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, aleshkina2014@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-0832-5067

Тамара Н. Шарова профессор, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, sharova1412@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-1354-8246

Валерий И. Карпов д.т.н., профессор, кафедра информационных систем и цифровых технологий, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, vikarp@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6338-0467

Светлана В. Зангиева к.т.н., доцент, кафедра сервиса и индустрии питания, Сочинский государственный университет, ул. Пластунская, 94, г. Сочи, Краснодарский край, 354000, Россия, ms.lana2004@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9258-4749

Information about authors

Anna T. Vasyukova Dr. Sci. (Engin.), professor, food industry, hotel business and service department, Moscow State University of Food Production, Volokolamskoe shosse, 11,Moscow, 125080, Russia, vasyukova-at@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-7374-4145

Konstantin V. Krivoshonok graduate student, food industry, hotel business and service department, Moscow State University of Food Production, Volokolamskoe shosse, 11,Moscow, 125080, Russia, krivoshonok@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-6360-6964

Sofia V. Aleshkina master student, food industry, hotel business and service department, Moscow State University of Food Production, Volokolamskoe shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, aleshkina2014@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-0832-5067

Tamara N. Sharova professor, food industry, hotel business and service department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (PKU), 73 Zemlyana Val str., Moscow, 109004, Russia, sharova1412@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-1354-8246

Valery I. Karpov Dr. Sci. (Engin.), professor, information systems and digital technologies department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (PKU), 73 Zemlyana Val str., Moscow, 109004, Russia, vikarp@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6338-0467

Svetlana V. Zangieva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, service and food industry department, Sochi State University, 94, Plastunskaya str., Sochi, Krasnodar Territory, 354000 Russia, ms.lana2004@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9258-4749

Вклад авторов

Анна Т. Васюкова предложила методику проведения эксперимента

Константин В. Кривошонок обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты
Софья В. Алешкина консультация в ходе исследования
Тамара Н. Шарова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат
Валерий И. Карпов корректировал рукопись до подачи в редакцию
Светлана В. Зангиева обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Contribution

Anna T. Vasyukova proposed a scheme of the experiment and organized production trials
Konstantin V. Krivoshonok review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Sofia V. Aleshkina consultation during the study
Tamara N. Sharova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Valery I. Karpov proofread the manuscript before submission to the editor
Svetlana V. Zangieva review of literary sources on the problem under study

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 07/04/2022	**После редакции** 13/05/2022	**Принята в печать** 02/06/2022
Received 07/04/2022	**Accepted in revised** 13/05/2022	**Accepted** 02/06/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-71-77 Оригинальная статья/Research article
УДК 637.521 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Функционально-технологические свойства мясных полуфабрикатов с БАД

Анна Т. Васюкова [1] vasyukova-at@ya.ru 0000-0002-7374-4145
Ирина У. Кусова [1] kusovaiu@mgupp.ru 0000-0001-8022-7229
Ростислав А. Эдварс [1] rostislave@mail.ru 0000-0002-9290-8619
Кристина В. Любимова [1] kristinalyubimova83@ya.ru 0000-0002-5395-4540
Артем Э. Григорян [1] araik0798@ya.ru 0000-0001-8750-8453
Наталья В. Василиевич [2] n.vasilievich@mgutm.ru 0000-0003-4184-3306

1 Московский государственный университет пищевых производств, 11, Волоколамское шоссе, Москва, 125080, Россия
2 Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия

Аннотация. В статье изложены основные сведения о функционально-технологических свойствах мясных полуфабрикатов с биологически активными добавками порошков растительного происхождения: клетчатка, семена чиа, перец черный молотый. Обоснован выбор биологически активной добавки клетчатки, семен чиа для создания мясного полуфабриката функционального назначения. Определены и проанализированы влагосвязывающая, влагоудерживающая и жироудерживающая способности мясного фарша для производства мясных полуфабрикатов функционального назначения. Определена оптимальная доза внесения биологически активной добавки клетчатки и семен чиа. В качестве ингредиента семен чиа универсальны в любом блюде, способны поглощать жидкость и превращаться в гель. Пищевое волокно проходит через весь пищеварительный тракт практически в неизмененном виде. Но это вещество имеет огромное значение для правильного пищеварения и коррекции веса, регулирования сахара и уровня холестерина в крови. Целью разработки новых специализированных продуктов является получение обогащенных мясных композиций для изготовления индустриальным способом полуфабрикатов высокого качества. В статье приведены данные по оптимизации ингредиентного состава мясных кулинарных изделий с учетом технологических свойств сырья и медико-биологических рекомендаций к питанию населения. Научно обоснован перечень ингредиентов, обладающих иммуномодулирующими и антиоксидантными свойствами и возможность их применения при приготовлении специализированных мясных кулинарных изделий. Установлена взаимосвязь между массовой долей белковых, жировых и углеводных компонентов. Влагосвязующая способность для мясных фаршей с клетчаткой и чиа 80,1–88,1%, влагоудерживающая способность 84,2–86,0% и жиросвязующая способность 80,1–88,2%.

Ключевые слова: пшеничная клетчатка, пищевые волокна, мясные полуфабрикаты, продукты питания, БАД.

Functional and technological properties of meat semi-finished products with BAA

Anna T. Vasyukova [1] vasyukova-at@ya.ru 0000-0002-7374-4145
Irina U. Kusova [1] kusovaiu@mgupp.ru 0000-0001-8022-7229
Rostislav A. Edvars [1] rostislave@mail.ru 0000-0002-9290-8619
Kristina V. Lyubimova [1] kristinalyubimova83@ya.ru 0000-0002-5395-4540
Artem E. Grigoryan [1] araik0798@ya.ru 0000-0001-8750-8453
Natalia V. Vasilievich [2] n.vasilievich@mgutm.ru 0000-0003-4184-3306

1 Moscow State University of Food Production, 11, Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russia
2 Moscow State University of Technology and Management K.G. Razumovsky, st. Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia

Abstract. The article presents the basic information about the functional and technological properties of semi-finished meat products with biologically active additives of vegetable powders: fiber, chia seeds, ground black pepper. The choice of a biologically active fiber supplement, chia seeds, for the creation of a meat semi-finished product for functional purposes is substantiated. The moisture-binding, moisture-retaining and fat-retaining abilities of minced meat for the production of meat semi-finished products for functional purposes have been determined and analyzed. The optimal dose of the biologically active additive of fiber and chia seeds was determined. As an ingredient, chia seeds are versatile in any dish, being able to absorb liquid and turn into a gel. Dietary fiber passes through the entire digestive tract almost unchanged. But this substance is of great importance for proper digestion and weight correction, regulation of sugar and cholesterol levels in the blood. The purpose of developing new specialized products is to obtain enriched meat compositions for the industrial production of high quality semi-finished products. The article presents data on the optimization of the ingredient composition of meat culinary products, considering the technological properties of raw materials and biomedical recommendations for the nutrition of the population. The list of ingredients with immunomodulatory and antioxidant properties and the possibility of their use in the preparation of specialized meat culinary products has been scientifically substantiated. The relationship between the mass fraction of protein, fat and carbohydrate components has been established. Moisture-binding capacity for minced meat with fiber and chia 80.1–88.1%, water-holding capacity 84.2–86.0% and fat-binding capacity 80.1–88.2%.

Keywords: wheat fiber, dietary fiber, semi-finished meat products, food, dietary supplements.

Для цитирования
Васюкова А.Т., Кусова И.У., Эдварс Р.А., Любимова К.В., Григорян А.Э., Василиевич Н.В. Функционально-технологические свойства мясных полуфабрикатов с БАД // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 71–77. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-71-77

For citation
Vasyukova A.T., Kusova I.U., Edvars R.A., Lyubimova K.V., Grigoryan A.E., Vasilievich N.V. Functional and technological properties of meat semi-finished products with BAA. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 71–77. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-71-77

© 2022, Васюкова А.Т. и др. / Vasyukova A.T. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Неполноценное питание – одна из острых проблем человечества. Как минимум одной из форм неполноценного питания (голод, истощение, недостаток питательных микроэлементов, ожирение и пр.) страдает каждый третий человек на планете [1], что может привести к заболеваниям связанным с нарушением развития и нормального функционирования организма, снижению продолжительности здоровых лет жизни и жизни человека в целом.

Одним из вариантов решения данной проблемы стала перестройка продовольственных систем во многих странах. Двигаясь в данном направлении, первоочередными задачами отмечаются – обеспечение доступности пищевых продуктов питания, уменьшение потери продовольствия, сокращение количества пищевых отходов и повышение пищевой ценности продуктов питания [2], что несомненно коррелируется и с законодательными актами и постановлениями, принятыми на территории Российской Федерации [3–5].

Согласно результатам проведенных исследований [6], в Российской Федерации в настоящее время отсутствует угроза недостаточности питания. В целом рационы питания обеспечивают потребности населения в основных питательных веществах и энергии, однако отмечается недостаточность потребления овощей и фруктов, молочных продуктов, избыток потребления соли, сахара, продуктов, содержащих животный жир и транс-изомеры жирных кислот [7]. На фоне представленных данных фиксируется рост распространенности избыточной массы тела, ожирения, дефицита микронутриентов и других факторов риска алиментарных заболеваний.

Проведенные исследования [8], в рамках проекта «Здоровое питание» национального проекта «Демография», показывают заинтересованность потребителей в оздоровлении своего рациона питания продуктами не требующих большие временные затраты на их приготовление и не теряющих биологической ценности и полезности готовых блюд [9, 10].

Все это подтверждает актуальность вопроса о расширении линейки специализированных и функциональных пищевых продуктов, обогащенных продуктов повседневного спроса, о разработке все новых пищевых продуктов с заданными свойствами в виде полуфабрикатов или готовых к употреблению.

Все большее значение в пищевой промышленности стали приобретать пищевые волокна. Согласно представленным данным от Роспотребнадзора [11], у большей части населения планеты суточное потребление пищевых волокон составляет менее 20 граммов, что недостаточно для полноценного рациона и может привести к развитию сердечно – сосудистых заболеваний, заболеваний желудочно-кишечного тракта (в Российской Федерации рекомендуемый уровень суточного потребления пищевых волокон для взрослого населения составляет 30 граммов). Источниками получения пищевых волокон в промышленном масштабе, как правило, являются вторичные продукты переработки сырья агропромышленного комплекса, что делает их экономически привлекательными для производителей пищевых продуктов.

Пищевые волокна представляют собой сложный комплекс биополимеров линейной и разветвленной структуры с большой молекулярной массой. Пищевые волокна, или клетчатка, – компоненты пищи, не перевариваемые пищеварительными ферментами организма человека, но перерабатываемые полезной микрофлорой кишечника. Клетчатка является разновидностью углеводов, но, в отличие от других веществ группы, она не может быть расщеплена на усваиваемые молекулы глюкозы. Наличие гидроксильных, фенольных и карбоксильных групп обуславливает их способность сорбировать воду и другие полярные молекулы, и ионы, что обеспечивает высокий уровень связывания влаги и жира, ионообменные и другие свойства. Проведенные ранее исследования по внесению различных пищевых волокон в мясные рубленые полуфабрикаты показывают снижение калорийности мясных продуктов, улучшение реологических характеристик фарша [12, 13].

Семена чиа – маленькие «зёрнышки» овальной формы чёрного, серого или белого цветов, длиной 2 мм, шириной от 1 до 1,5 мм и толщиной менее 1 мм. Сегодня семена чиа используют и в кулинарии, и в лечебных целях. Благодаря мягкому ореховому вкусу их используют в качестве добавки в различные блюда и напитки. В чиа много омега-3 жирных кислот, богатых антиоксидантами, семена также содержат клетчатку, железо и кальций.

В рамках, приведенных выше потребностей, была пересмотрена рецептура котлет рубленных № 415 [14], осуществлена замена пшеничного хлеба на клетчатку с семенами чиа и изучены физико-химические показатели созданных модельных фаршевых систем.

Основными задачами проведенной работы стали установление оптимального уровня замены пшеничного хлеба пшеничной клетчаткой с семенами чиа, влияние изменения рецептуры на влагоудерживающую способность модельных фаршевых систем, разработка новой рецептуры мясных полуфабрикатов.

Цель работы – исследование функционально-технических свойств модельных фаршевых систем из говядины, содержащих пшеничную клетчатку с семенами чиа в различных количествах.

Материалы и методы

В качестве замены пшеничного хлеба в рецептуре использовали клетчатку с семенами чиа (клетчатка «Верное средство» с семенами чиа по СТО 67008287.002–2015 от ООО «Сибирская клетчатка», пищевая ценность (г.) в 100 г. продукта: белки – 16,0 г., жиры – 4,0 г., углеводы – 16,0 г., пищевые волокна (среднее значение) – 50 г. Энергетическая ценность в 100 г. продукта: 680 кДж / 160 ккал, состав: оболочка пшеничного зерна, семена чиа).

В качестве мясо – сырья использовался готовый фарш говяжий (Фарш говяжий. Полуфабрикат мясной из говядины рубленный неформованный охлажденный категории Б по ТУ 10.13.14–017–18181321–2016 от ООО «Брянская мясная компания», средние значения пищевой ценности на 100 г. продукта: белки – 12 г., жиры – 35 г. Средние значения энергетической ценности/калорийности на 100 г. продукта: 1500 кДж/360 ккал, состав: говядина).

Приготовление опытных образцов ранее было описано в работе [15], в которой также были учтены технологические особенности смешивания ингредиентов. Методом подбора компонентов были выявлены наилучшие сочетания ингредиентов для обогащения традиционных рецептур растительными компонентами, а модельные фаршевые системы созданы методом планирования эксперимента. Рецептура опытных образцов представлены в таблице 1.

Все анализы проводили не менее чем в трех параллельных опытах.

Результаты и обсуждение

Разрабатывая новую рецептуру мясных рубленых полуфабрикатов, хлеб пшеничный, составляющий 14% от массы полуфабриката, был заменен пшеничной клетчаткой с семенами чиа и составил следующее количество от массы полуфабриката: 3% (образец № 1), 6% (образец № 2), 9% (образец № 3), 13% (образец № 4). При увеличении вложения клетчатки с семенами чиа уменьшали вложение фарша говяжьего: 65; 60; 55 и 50% соответственно (содержание фарша в контрольном образце (К) составляло 58%). Количество молока при этом увеличивалось при увеличении количества клетчатки с семенами чиа в рецептуре и подбиралось эмпирическим путем.

Таблица 1.

Рецептура опытных образцов мясных рубленых полуфабрикатов

Table 1.

Formulation of experimental samples of minced meat semi-finished products

Компоненты | Products	Рецептура опытных образцов, г/ Formulation of experimental samples, g/				
	К	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
фарш говяжий | ground beef	37	41	38	35	32
молоко | milk	12	7	8	9	10
хлеб пшеничный | wheat bread	9	-	-	-	-
клетчатка с семенами чиа | fiber with chia seeds	-	2	4	6	8
лук репчатый | onion	-	4	4	4	4
яйцо куриное | chicken egg	-	4	4	4	4
соль | salt	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
перец черный молотый | ground black pepper	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
панировочные сухари (для панировки) | breadcrumbs (for breading)	5	5	5	5	5
масса полуфабриката | semi-finished product weight	63,525	63,525	63,525	63,525	63,525
масса готовых изделий | weight of finished products	49,8	36,8	38,3	39,6	40,8

Для обоснования сочетаемости мяса с перспективными добавками порошков чиа и клетчатки нами произведен сравнительный анализ пищевой ценности традиционного растительного сырья, входящего в рецептуры обогащенных мясных фаршей и рекомендованного (контрольного, по Сборнику рецептур).

Установлено, что использованное в исследованиях растительное сырье (клетчатка и чиа) в количестве 2–6% обогащают мясной фарш белком, витаминами РР и B_{12}, а также селеном. Это позволило нам получить новый ассортимент мясных обогащенных фаршей для специализированного питания [14–16].

Получено, что мясной продукт, обогащенный пищевыми волокнами, является эффективным протектором в отношении накопления тяжелых металлов. Мясной фарш с пшеничными волокнами снижает уровень свинца в печени, мясной фарш с пшеничными волокнами и животным белком дополнительно влияет на снижение солей тяжелых металлов в организме; при обогащении пищевых волокон витамино-минеральным комплексом уровень свинца снижается, то есть для увеличения сорбционной способности мясного продукта целесообразно использовать комплекс растворимых и нерастворимых пищевых волокон; а также растворимые пищевые волокна способствуют увеличению усвояемости кальция.

Проведение физико – химических исследований модельных фаршевых систем, содержащих пшеничную клетчатку с семенами чиа позволили выявить зависимости, при которых рассматриваемый ассортимент полуфабрикатов из модельных фаршей может быть изготовлен индустриальным способом на поточно-механизированной линии «Бегарат» в производственных условиях предприятия ООО «Альтернатива» г. Ульяновска. Результаты исследований pH-среды (таблица 2), плотности, влагосвязующей способности для мясных фаршей с клетчаткой и чиа (ВСС), влагоудерживающей способности (ВУС) и жиросвязующей способности (ЖУС) позволяют установить зависимости между функциональными свойствами компонентов рецептуры.

Таблица 2.

Физико-химические показатели модельных фаршевых систем, содержащих пшеничную клетчатку с семенами чиа

Table 2.

Physico-chemical parameters of model stuffing systems containing wheat fiber with chia seeds

Показатель | Indicator	Рецептура опытных образцов Formulation of experimental samples			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
pH полуфабриката | pH semi-finished product	6	6	5,5	6
pH готовых котлет | pH ready cutlets	6	6,5	5,5	6
Влагоудерживающая способность (полуфабрикат) | Water holding capacity (semi-finished product)	86,3	86	85	84,2
Влагоудерживающая способность (готовая котлета) | Water holding capacity (finished cutlet)	71,3	72,5	73,4	74,8
Жироудерживающая способность (готовая котлета) | Fat-retaining capacity (ready cutlet)	73,5	82,5	88,6	80,5
Плотность полуфабриката | Semi-finished product density	1,24	1,15	1,28	1,22
Плотность готовых котлет | Density of finished meatballs	0,55	0,59	0,63	0,75

Анализ полученных данных свидетельствует о незначительных изменениях pH, плотности полуфабрикатов. Тепловая обработка приводит к потере влаги, что частично отражается на уплотнении готового кулинарного изделия. ВСС для мясных фаршей с клетчаткой и чиа находилась в пределах 80,1–88,1%, ВУС была несколько выше в большинстве образцов в концентрации 84,2–86,0% и ЖУС достаточно высокая для рубленых изделий из говяжьего фарша: 80,1–88,2%. Установлено, что по органолептическим и микробиологическим показателям мясные функциональные полуфабрикаты и готовые кулинарные изделия (котлеты) соответствуют ГОСТ Р 55366–2012. Полуфабрикаты мясные рубленые для детского питания.

Заключение

В результате проведенных исследований можно отметить, что оптимизированная рецептура модельных обогащенных мясных фаршей и кулинарных изделий на их основе по ингредиентному составу максимально будет приближаться к эталонному образцу – ГОСТ Р 55366–2012. Полуфабрикаты мясные рубленые для детского питания. Влагосвязующая способность для мясных фаршей с клетчаткой и чиа 80,1–88,1%, влагоудерживающая способность 84,2–86,0% и жиросвязующая способность 80,1–88,2%. Показатели pH и плотности полуфабрикатов в зависимости от введенных добавок в оптимальном количестве 4% изменяются незначительно. Тепловая обработка приводит к уплотнению котлет из-за потерь влаги, но не превышает требуемой сочности для данной категории кулинарных изделий.

Литература

1 ФАО и ВОЗ. 2020. Устойчивое здоровое питание. Руководящие принципы. Рим, 2020. URL: https://doi.org/10.4060/ca6640ru

2 Фурман Э. Устойчивый рацион питания способствует достижению всех целей в области устойчивого развития. URL: https://www.un.org/ru/41628

3 Об основах государственной политики: распоряжение Правительства РФ от 25.10.2010 № 1873-р

4 Утверждены правила здорового питания россиян на период до 2020 года // Российская газета. 2010. № 249. URL: https://rg.ru/2010/11/03/pravila-dok.html

5 Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 29.06.2016 № 1364-р. URL: http://www.pravo.gov.ru

6 Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации: указ Президента РФ от 21.01.2020 № 20. URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202001210021? index=0&rangeSize=1

7 Попова А. Ю., Тутельян В. А., Никитюк Д. Б. О новых (2021) Нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации // Вопросы питания. 2021. Т. 90. №. 4 (536). С. 6-19. doi: 10.33029/0042–8833–2021–90–4–6–19

8 Погожева А.В., Смирнова Е.А. К здоровью нации через многоуровневые образовательные программы для населения в области оптимального питания // Вопросы питания. 2020. Т. 89. № 4. С. 262-272. doi: 10.24411/0042–8833–2020–10060.

9 Состав потребительской корзины россиян меняется в сторону здорового питания // ФБУЗ Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве. 2022. URL: https:// 77.rospotrebnadzor.ru/index.php/press-centr/186-press-centr/10744-sostav-potrebitelskoj-korziny-rossiyan-menyaetsya-v-storonu-zdorovogo-pitaniya-26–04–2022

10 Липатова Л.П. Современные требования и тенденции рынка полуфабрикатов // Пищевая промышленность. 2014. №. 3. С. 48-49.

11 Прогноз развития рынка мясных полуфабрикатов. URL: https://gidmark.ru/cat1/prognoz-rynka-myasnyh-polufabrikatov-v-usloviyah-tekucshego-ekonomicheskogo-krizisa-v-svyazi-s-rasprostraneniem-covid-19-v-rossii

12 Пищевые волокна – важный компонент здорового питания // ФБУЗ Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве. 2021. URL: https:// 77.rospotrebnadzor.ru/index.php/doc/infdoc/9031-pishchevye-volokna-vazhnyj-komponent-zdorovogo-pitaniya

13 Устинова А.В., Белякина Н.Е., Сурнина А.И., Прянишников В.В. и др. Функционально-технологические и диетические свойства нерастворимых пищевых волокон // Все о мясе. 2008. №. 3. С. 24-28.

14 Волощенко Л.В., Карайченцева А.В., Копылова Н.Ю. Использование пшеничной клетчатки в технологии мясных полуфабрикатов // Международный научно – исследовательский журнал. URL: https://research-journal.org/technical/ispolzovanie-pshenichnoj-kletchatki-v-texnologii-myasnyx-polufabrikatov/

15 Ананина В.А., Ахиба С.Л., Лапшина В.Т., Мальгина Р.М. и др. Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. М: Хлебпродинформ, 1996. 255 с.

16 Васюкова А.Т., Любимова К.В. Влияние изменения состава мясных рубленных изделий на их жирно-кислотный состав // Электронный сборник тезисов по итогам IV Международного симпозиума «INNOVATIONS IN LIFE SCIENCES». URL: https://ils2022.bsu.edu.ru/ils2022/

17 Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. Санкт-Петербург: Профикс, 2003. 584 с.

18 Васюкова А.Т., Першакова Т.В., Фалин Д.Н., Яковлева Т.В. и др. Влияние обогащающих добавок на пищевую ценность мясных и рыбных продуктов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2011. № 2–3 (320–321). С. 11–13.

19 Драчева Л.В., Зайцев Н.К., Жарикова О.А., Васюкова А.Т. Суммарная антиоксидантная активность растительных экстрактов // Пищевая промышленность. 2011. № 9. С. 44–45.

20 Першакова Т.В., Васюкова А.Т., Жилина Т.С., Яковлева Т.В. и др. Применение нетрадиционного сырья в рецептурах кулинарных изделий // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2011. № 1 (319). С. 36–37.

21 Скурихин И.М., Тутельян В.А. Таблица химического состава и калорийности российских продуктов питания: справочник. Москва: Дели, 2008. 356 с.

22 Васюкова А.Т., Богоносова И.А., Баженов Н.С. Рациональное питание организованных коллективов // Прикладные исследования и технологии: сборник трудов. М.: МТИ, 2019. С. 28–31.

23 Eskin M., Robinson D.S. Food shelf life stability: chemical, biochemical, and microbiological changes. CRC Press, 2000.

24 Froning G. W., McKee S. R. Mechanical separation of poultry meat and its use in products // Poultry meat processing. CRC Press, 2000. P. 253-266.

25 Roberfroid M. B. Global view on functional foods: European perspectives // British Journal of Nutrition. 2002. V. 88. №. S2. P. S133-S138. doi: 10.1079/BJN2002677

26 Veeman M. Policy development for novel foods: issues and challenges for functional food // Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue Canadienne d'agroeconomie. 2002. V. 50. №. 4. P. 527-539. doi: 10.1111/j.1744-7976.2002.tb00353.x

27 Jia Z., Xu W. Synthesis and antibacterial activities of quaternary ammonium salt of chitosan // Carbohydrate research. 2001. V. 333. №. 1. P. 1-6. doi: 10.1016/S0008-6215(01)00112-4

References

1 FAO and WHO. 2020. Sustainable healthy eating. Guidelines. Rome, 2020. Available at: https://doi.org/ 10.4060/ca6640ru (in Russian).

2 Furman E. Sustainable Diet Supports All Sustainable Development Goals. Available at: https://www.un.org/ru/41628 (in Russian).

3 On the fundamentals of state policy: Decree of the Government of the Russian Federation dated October 25, 2010 no. 1873 r. (in Russian).

4 The rules of healthy nutrition of Russians for the period up to 2020 have been approved. Rossiyskaya Gazeta. 2010. no. 249. Available at: https://rg.ru/2010/11/03/pravila-dok.html (in Russian).

5 On approval of the Strategy for improving the quality of food products in the Russian Federation until 2030: Decree of the Government of the Russian Federation dated June 29, 2016 no. 1364 r. Available at: http://www.pravo.gov.ru (in Russian).

6 On Approval of the Food Security Doctrine of the Russian Federation: Decree of the President of the Russian Federation no. 20 dated January 21, 2020. Available at: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202001210021?index=0&rangeSize=1 (in Russian).

7 Popova A. Yu., Tutelyan V. A., Nikityuk D. B. About new (2021) Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. Nutritional Issues. 2021. vol. 90. no. 4 (536). pp. 6-19. doi: 10.33029/0042–8833–2021–90–4–6–19 (in Russian).

8 Pogozheva A.V., Smirnova E.A. To the health of the nation through multi-level educational programs for the population in the field of optimal nutrition. Food Issues. 2020. vol. 89. no. 4. pp. 262-272. doi: 10.24411/0042-8833-2020-10060. (in Russian).

9 The composition of the consumer basket of Russians is changing towards a healthy diet // FBUZ Center for Hygiene and Epidemiology in Moscow. 2022. Available at: https:// 77.rospotrebnadzor.ru/index.php/press-centr/186 press-centr/10744 sostav-potrebitelskoj-korziny-rossiyan-menyaetsya-v-storonu-zdorovogo-pitaniya 26–04–2022 (in Russian).

10 Lipatova L.P. Modern requirements and trends in the market of semi-finished products. Food industry. 2014. no. 3. pp. 48-49. (in Russian).

11 Forecast of the market development of semi-finished meat products. URL: https://gidmark.ru/cat1/prognoz-rynka-myasnyh-polufabrikatov-v-usloviyah-tekucshego-ekonomicheskogo-krizisa-v-svyazi-s-rasprostraneniem-covid 19 v-rossii

12 Dietary fiber is an important component of a healthy diet // FBUZ Center for Hygiene and Epidemiology in Moscow. 2021. Available at: https:// 77.rospotrebnadzor.ru/index.php/doc/infdoc/9031 pishchevye-volokna-vazhnyj-komponent-zdorovogo-pitaniya (in Russian).

13 Ustinova A.V., Belyakina N.E., Surnina A.I., Pryanishnikov V.V. et al. Functional-technological and dietary properties of insoluble food fibers. All about meat. 2008. no. 3. pp. 24-28. (in Russian).

14 Voloshchenko L.V., Karaychentseva A.V., Kopylova N.Yu. The use of wheat fiber in the technology of semi-finished meat products. International Scientific and Research Journal. Available at: https://research-journal.org/technical/ispolzovanie-pshenichnoj-kletchatki-v-texnologii-myasnyx-polufabrikatov/ (in Russian).

15 Ananina V.A., Ahiba S.L., Lapshina V.T., Malgina R.M. et al. Collection of recipes for dishes and culinary products for public catering establishments. M: Hlebprodinform, 1996. 255 p. (in Russian).

16 Vasyukova A.T., Lyubimova K.V. Influence of changes in the composition of minced meat products on their fatty acid composition. Electronic collection of abstracts based on the results of the IV International Symposium "INNOVATIONS IN LIFE SCIENCES". Available at: https://ils2022.bsu.edu.ru/ils2022/ (in Russian).

17 Collection of recipes for dishes and culinary products for public catering establishments. St. Petersburg, Profiks, 2003. 584 p. (in Russian).

18 Vasyukova A.T., Pershakova T.V., Falin D.N., Yakovleva T.V. et al. Influence of enriching additives on the nutritional value of meat and fish products. Izvestia of higher educational institutions. Food technology. 2011. no. 2–3 (320–321). pp. 11–13. (in Russian).

19 Dracheva L.V., Zaitsev N.K., Zharikova O.A., Vasyukova A.T. Total antioxidant activity of plant extracts. Food industry. 2011. no. 9. pp. 44–45. (in Russian).

20 Pershakova T.V., Vasyukova A.T., Zhilina T.S., Yakovleva T.V. et al. The use of non-traditional raw materials in the recipes of culinary products. News of higher educational institutions. Food technology. 2011. no. 1 (319). pp. 36–37. (in Russian).

21 Skurikhin I.M., Tutelyan V.A. Table of the chemical composition and caloric content of Russian food products: a reference book. Moscow, Delhi, 2008. 356 p. (in Russian).

22 Vasyukova A.T., Bogonosova I.A., Bazhenov N.S. Rational nutrition of organized teams. Applied research and technology: a collection of works. M., MTI, 2019. pp. 28–31. (in Russian).

23 Eskin M., Robinson D.S. Food shelf life stability: chemical, biochemical, and microbiological changes. CRC Press, 2000.

24 Froning G. W., McKee S. R. Mechanical separation of poultry meat and its use in products. Poultry meat processing. CRC Press, 2000. pp. 253-266.

25 Roberfroid M.B. Global view on functional foods: European perspectives. British Journal of Nutrition. 2002. vol. 88. no. S2. pp. S133-S138. doi: 10.1079/BJN2002677

26 Veeman M. Policy development for novel foods: issues and challenges for functional food. Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue Canadienne d'agroeconomie. 2002. vol. 50. no. 4. pp. 527-539. doi: 10.1111/j.1744-7976.2002.tb00353.x

27 Jia Z., Xu W. Synthesis and antibacterial activities of quaternary ammonium salt of chitosan. Carbohydrate research. 2001. vol. 333. no. 1. pp. 1-6. doi: 10.1016/S0008-6215(01)00112-4

Сведения об авторах

Анна Т. Васюкова д.т.н., профессор, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, vasyukova-at@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-7374-4145

Ирина У. Кусова к.т.н., доцент, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, kusovaiu@mgupp.ru
https://orcid.org/0000-0001-8022-7229

Ростислав А. Эдварс аспирант, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, rostislave@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9290-8619

Кристина В. Любимова аспирант, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, kristinalyubimova83@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-5395-4540

Артем Э. Григорян магистр, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, araik0798@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-8750-8453

Information about authors

Anna T. Vasyukova Dr. Sci. (Engin.), professor, food industry, hotel business and service department, Moscow State University of Food Production, Volokolamskoe chose, 11, Moscow, 125080, Russia, vasyukova-at@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-7374-4145

Irina U. Kusova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food industry, hotel business and service department, Moscow State University of Food Production, Volokolamskoe chose, 11, Moscow, 125080, Russia, kusovaiu@mgupp.ru
https://orcid.org/0000-0001-8022-7229

Rostislav A. Edvars graduate student, food industry, hotel business and service department, Moscow State University of Food Production, Volokolamskoe chose, 11, Moscow, 125080, Russia, rostislave@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9290-8619

Kristina V. Lyubimova graduate student, food industry, hotel business and service department, Moscow State University of Food Production, Volokolamskoe chose, 11, Moscow, 125080, Russia, kristinalyubimova83@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-5395-4540

Artem E. Grigoryan master student, food industry, hotel business and service department, Moscow State University of Food Production, Volokolamskoe chose, 11, Moscow, 125080, Russia, araik0798@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-8750-8453

Наталья В. Василиевич к.х.н., доцент, кафедры цифровой нутрициологии, гостиничного и ресторанного сервиса, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, n.vasilievich@mgutm.ru
https://orcid.org/0000-0003-4184-3306

Natalia V. Vasilievich Cand. Sci. (Chem.), associate professor, digital nutrition, hotel and restaurant service department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (PKU), 73 Zemlyana Val str., Moscow, 109004, Russia, n.vasilievich@mgutm.ru
https://orcid.org/0000-0003-4184-3306

Вклад авторов

Анна Т. Васюкова корректировала выбор и обоснование пищевых добавок
Ирина У. Кусова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты
Ростислав А. Эдварс консультация в ходе исследования
Кристина В. Любимова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат
Артем Э. Григорян выполнял моделирование рецептур
Наталья В. Василиевич провела физико-химические исследования

Contribution

Anna T. Vasyukova corrected the choice and justification of food additives
Irina U. Kusova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Rostislav A. Edvars consultation during the study
Kristina V. Lyubimova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Artem E. Grigoryan performed recipe modeling
Natalia V. Vasilievich conducted physical and chemical studies

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/04/2022	**После редакции** 25/04/2022	**Принята в печать** 23/05/2022

Received 01/04/2022	**Accepted in revised** 25/04/2022	**Accepted** 23/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-78-83 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.32 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Выделение жира из печени минтая с помощью нового ферментного препарата на основе штамма Aspergillus oryzae

Алексей А. Голубев [1] alex.golubev@rgau-msha.ru 0000-0002-3847-6472
Анна С. Середа [2] as.sereda@gmail.com 0000-0001-9097-3946
Нина И. Дунченко [1] dunchenko.nina@ya.ru 0000-0002-6158-9854

1 Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Россия
2 ВНИИПБТ – филиал ФИЦ питания и биотехнологии, ул. Самокатная, 4б, г. Москва, 111033, Россия

Аннотация. Отличительной особенностью жиров рыб от жиров растений и наземных животных является наличие в их составе высоконенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот омега-3 (эйкозапентаеновая и докозагексаеновая кислоты), что обуславливает их высокую биологическую ценность. Типичным видом сырья для получения пищевого жира является печень трески, составляющая около 10% веса рыбы и содержащая в среднем около 50% липидов. Схожими характеристиками обладает печень минтая дальневосточного с высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот. С технологической точки зрения сложность извлечения этих биологически ценных компонентов обусловлена высокой чувствительностью липидов рыбьего жира к окислению. В статье рассматривается применение опытного образца ферментного препарата Проторизин-LAP, полученного во Всероссийском научно-исследовательском институте пищевой биотехнологии на основе штамма *Aspergillus oryzae* - продуцента комплекса экзо- и эндопептидаз с увеличенной активностью лейцинаминопептидазы. В качестве критериев эффективности ферментолиза учитывался выход жира (%) и кислотное число (мг КОН/ г жира). Представлены результаты оптимизации процесса ферментолиза печени минтая дальневосточного с применением полнофакторного эксперимента для двух факторов, установлены оптимальные значения факторов: дозировка ферментного препарата Проторизин-LAP (0,4 % к массе сырья) и продолжительность процесса ферментолиза (1 час). Исследование сравнительного ферментолиза печени минтая показало, что применение ферментного препарата «Проторизин LAP» в технологическом процессе переработки жиросодержащего рыбного. Лабораторный образец не уступает коммерческим аналогам по способности выделения жира из печени минтая и может быть перспективен в переработке другого сырья животного происхождения.
Ключевые слова: рыбий жир, ферментативный гидролиз, омега-3, жирные кислоты, минтай.

Pollock liver oil extraction using a new enzyme obtained from the Aspergillus oryzae strain

Alexey A. Golubev [1] alex.golubev@rgau-msha.ru 0000-0002-3847-6472
Anna S. Sereda [2] as.sereda@gmail.com 0000-0001-9097-3946
Nina I. Dunchenko [1] dunchenko.nina@ya.ru 0000-0002-6158-9854

1 Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya Str. 49, Moscow 127550, Russia
2 VNIIPBT – Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology branch, st. Samokatnaya 4b, Moscow,111033, Russia

Abstract. A distinctive feature of fish fats from fats of plants and terrestrial animals is the presence in their composition of highly unsaturated and polyunsaturated omega-3 fatty acids (eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids), which causes their high biological value. A typical type of raw material for obtaining edible fat is cod liver, which makes up about 10% of the weight of fish and contains an average of about 50% lipids. The Far Eastern pollock liver with a high content of polyunsaturated fatty acids has similar characteristics. From a technological point of view, the complexity of extracting these biologically valuable components is due to the high sensitivity of fish oil lipids to oxidation. The article discusses the use of new enzyme Protorizin-LAP obtained at Russian scientific research institute of food biotechnology using *Aspergillus oryzae* strain - a producer of a complex of exo- and endopeptidases with an increased activity of leucine aminopeptidase. Oil yield (%) and acid value (mg KOH/g oil) are considered as efficiency criteria for enzymatic hydrolysis. Optimization results of enzymatic hydrolysis of the pollock liver using a full-factorial experiment for two factors are presented. The optimal values of the factors are established: the dosage of the enzyme preparation Protorizin-LAP (0.4% by weight of the raw material) and the duration of the enzymatic hydrolysis process (1 hour). The study of the comparative enzymatic analysis of pollock liver showed that the use of the enzyme preparation "Protorizin LAP" in the technological process of processing fat-containing fish. The laboratory sample is not inferior to commercial analogues in terms of the ability to extract fat from pollock liver and may be promising in the processing of other raw materials of animal origin.
Keywords: fish oil, enzymatic hydrolysis, omega-3, fatty acids, pollock.

Введение

Важнейшей отличительной особенностью жиров рыб от жиров растений и наземных животных является наличие в их составе высоконенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот омега-3 (эйкозапентаеновая и докозагексаеновая кислоты), что обуславливает их высокую биологическую ценность.

Типичным видом сырья для получения пищевого жира является печень трески, составляющая около 10% веса рыбы и содержащая в среднем около 50% липидов [1]. Схожими характеристиками обладает печень минтая дальневосточного – популярное на Дальнем востоке России промысловое сырье с высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК).

Для цитирования
Голубев А.А., Середа А.С., Дунченко Н.И. Выделение жира из печени минтая с помощью нового ферментного препарата на основе штамма Aspergillus oryzae // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 78–83. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-78-83

For citation
Golubev A.A., Sereda A.S., Dunchenko N.I. Pollock liver oil extraction using a new enzyme obtained from the Aspergillus oryzae strain. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 78–83. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-78-83

© 2022, Голубев А.А. и др. / Golubev A.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

С технологической точки зрения сложность извлечения этих биологически ценных компонентов обусловлена высокой чувствительностью липидов рыбьего жира к окислению. Нагревание жиросодержащего сырья при контакте с воздухом приводит к запуску механизма образования перекисных соединений, имеющих высокую токсичность. Поэтому получение жира при щадящих температурных режимах является актуальной задачей для пищевой отрасли, решить которую возможно, используя ферментативный гидролиз.

Для извлечения жира из рыбного сырья энзиматическим способом в основном используют доступные коммерческие ферментные препараты экзо- и эндопептидаз, полученные на основе различных продуцентов [2–4]. В сравнительных исследованиях было отмечено, что многокомпонентные грибные протеазы могут быть эффективнее прочих препаратов [5, 6]. Результаты этих исследований показывают перспективность применения комплекса грибных протеаз для ферментолиза рыбного сырья с целью выделения жира. Во ВНИИПБТ на основе штамма *Aspergillus oryzae* с увеличенной активностью лейцинаминопептидазы был получен комплексный препарат протеолитического действия «Проторизин LAP». Основными компонентами ферментного комплекса продуцента являются кислая и щелочная протеазы, лейцинаминопептидаза, α-амилаза и ксиланаза [7].

Цель работы – установление оптимальных параметров ферментолиза печени минтая дальневосточного, обеспечивающих высокий уровень извлечения жира без негативного влияния на его качество.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись замороженная печень минтая дальневосточного (*Theragra chalcogramma*) и жир, полученный из печени ферментативным способом.

Отбор средних проб замороженной печени и их подготовку к физико-химическим анализам проводили в соответствии с ГОСТ 31339–2006 [8]. Физико-химические показатели устанавливали согласно ГОСТ 7636–85 [9]: *массовую долю влаги* – методом высушивания при температуре +100 °С; *активную кислотность* – потенциометрическим методом; *массовую долю жира* – экстракционно-весовым методом ВНИИКОП (ускоренным) по ГОСТ 8756.21–89 [10].

Для определения качества рыбьего жира определяли *кислотное число* по ГОСТ 7636–85.

Для обоснования целесообразности использования лабораторного ферментного препарата Проторизин LAP был проведен сравнительный ферментолиз при оптимальном диапазоне температур и pH для каждого из 3 коммерческих ферментных препаратов: Alcalase® 2,5 L (Novozymes, Дания); Neutrase 0,8 L (Novozymes, Дания); АцидоЛюкс-А (Сиббиофарм, Россия)

При проведении эксперимента в заранее измельченное до однородной консистенции сырье вносили воду в соотношении 1 : 1. Ферменты добавляли в количестве 0,2% к массе сырья, предварительно устанавливали оптимальное значение pH для каждого препарата (6,7 для образцов с Alcalase и Проторизин LAP; 5,05 для АцидоЛюкс-А, без изменения для Neutrase и контрольного образца). Контрольный образец выдерживался в тех же условиях для оценки действия нативных протеолитических ферментов печени. После ферментолиза в течение 2 часов полученные ферментолизаты нагревались до температуры 90 °С для инактивации ферментов и направлялись на центрифугирование (15 мин, 3000g). Выход жира, жидкой и твердой фракции гидролизата определялись методом взвешивания. Опыты проводились с двухкратной повторностью.

Для моделирования ферментолиза на основании предварительных экспериментов и анализа литературных данных были выделены два основных фактора, определяющие выход жира и его качество: массовая доля ферментного препарата (% к массе сырья) и продолжительность гидролиза (ч).

Для определения оптимальной дозировки ФП и продолжительности было использовано математическое моделирование на основе полнофакторного эксперимента. Дозировку (ω, %) варьировали от 0,1 до 0,3% к массе обрабатываемого сырья; продолжительность процесса (Т, ч) – от 0,5 до 1,5 ч при температуре 40–45 °С. В качестве показателей эффективности ферментолиза выбраны выход жира (ωж) и КЧ, обобщенные в единый параметр оптимизации (y) при 100% выходе и КЧ = 3,85 в качестве «идеалов» [11–20].

$$y = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{y_o - y_i}{y_i}\right)^2$$

План эксперимента представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Матрица и план эксперимента при моделировании процесса

Table 1.

Matrix and experiment design for process modeling

Опыт Experiment	План эксперимента | Experiment design			
	Массовая доля ФП | Enzyme mass fraction		Продолжительность | Duration	
	по матрице, a_1 matrix, a_1	натурально, ω, % naturally, ω, %	по матрице, a_2 matrix, a_2	натурально, Т, ч naturally, T, h
1	1	0,3	1	1,5
2	-1	0,1	1	1,5
3	1	0,3	-1	0,5
4	-1	0,1	-1	0,5

Связь кодированных и физических переменных определяется по формуле:

$$x_i = \left(\frac{x_n - x_o}{\Delta x}\right)$$

где x_i и x_n – соответственно кодированное и натуральное значения; x_o – значение фактора на нулевом уровне; Δx – значение интервала варьирования фактора.

Реализация опытов по матрице полнофакторного эксперимента позволяет получить линейную модель вида:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_1 x_1 \, a_2 x_2$$

где y – обобщенный параметр оптимизации; a_0, a_1, a_2 – неизвестные коэффициенты линейной модели; x_1, x_2 – изменяемые факторы процесса.

Проверку адекватности полученной в кодированном виде модели проводилась по тесту Фишера (F-критерий) при 95% доверительном интервале.

Математическое моделирование для определения оптимальных значений факторов процесса проводилось в программном пакете Excel.

Результаты и обсуждения

Результаты сравнительного ферментолиза печени минтая с применением разных ферментных препаратов представлены в таблице 2 и на рисунке 1.

Таблица 2.

Результаты ферментолиза с разными ферментными препаратами

Table 2.

Results of fermentolysis with different enzyme preparations

ФП Enzyme	темп., °С temp., °С	ω жидкой фракции, % ω liquid fracrion, %	ω твердой фракции, % ω solid fraction, %	ω жира, % ω oil, %	КЧ AV
Alcalase	45	50,1	32,1	17,8	4,09
	60	46,5	33,7	19,8	4,25
Протозин LAP Protozine LAP	45	47,8	29	23,2	4,35
	60	50,6	31,2	18,2	4,68
Neutrase	45	50,2	41,1	8,7	3,87
АцидоЛюкс-А AcidoLux-A	45	45,4	42	12,6	5,03
Контроль	45	49,7	44,7	5,6	3,91

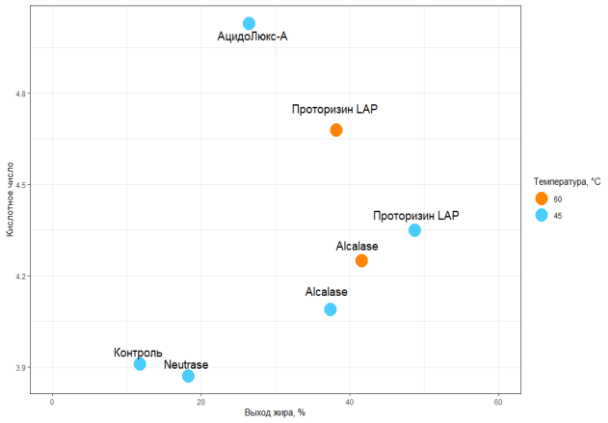


Рисунок 1. Точечная диаграмма по результатам ферментолиза с разными ФП (x – выход жира, y – кислотное число)

Figure 1. Scatter plot of enzymatic hydrolysis results with different enzymes (x – fat yield, y – acid number)

Исследуемый лабораторный ферментный комплекс показал самый высокий выход жира по сравнению с остальными ферментолизатами (23,2% при содержании жира в исходном сырье 47,64%). Как и ожидалось, наибольший выход жира при использовании коммерческих ФП показал вариант с Alcalase (19,8%). Разница между массовой долей жира, выделенного из ферментолизата с Протозином LAP и Alcalase статистически значима (t = 5,94; p <0,05).

По кислотному числу жир, выделенный с помощью Протозина LAP, незначительно уступает образцам с Alcalase.

Таким образом, данный ферментный препарат целесообразно использовать при ферментировании печени минтая дальневосточного, но необходимо установить оптимальные условия проведения процесса для более эффективного использования сырья.

Таблица 3.

План эксперимента и результаты его реализации

Table 3.

Experiment design and the results

Опыт Experiment	План эксперимента	experiment design			Частные отклики			Параметр оптимизации Optimization parameter
	Массовая доля ФП Enzyme mass fraction		Продолжительность Duration	Responses			
	по матрице, a_1 matrix, a_1	натурально, ω, % naturally, ω, %	по матрице, a_2 matrix, a_2	натурально, Т, ч naturally, T, h	$\omega_ж$(ср) ω_{oil}(mean)	КЧ(ср) AV(mean)	y(ср) y(mean)
1	1	0,3	1	1,5	66,77	5,10	0,2226
2	-1	0,1	1	1,5	39,22	4,95	0,4579
3	1	0,3	-1	0,5	51,23	4,68	0,2914
4	-1	0,1	-1	0,5	25,19	4,61	0,6057

В таблице 3 представлен план и результаты полнофакторного эксперимента с различными концентрациями ферментного препарата *Aspergillus oryzae* и продолжительностью ферментолиза.

По итогам выполнения эксперимента были рассчитаны коэффициенты модели процесса ферментолиза в кодированном виде (1) и в физических единицах измерения (2).

$$y = 0{,}3944 - 0{,}1374x_1 - 0{,}0541x_2 \quad (1)$$

$$y = 0{,}774 - 1{,}374\omega - 0{,}1082T \quad (2)$$

Проверка адекватности полученной математической модели показала, что расчетный критерий Фишера (F. = 2,77) меньше его табличного значения (F = 7,71). Следовательно, модель адекватна, то есть применима для анализа и оптимизации процесса.

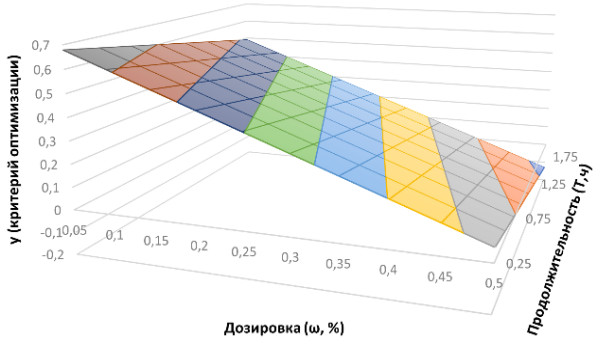


Рисунок 2. Геометрическая интерпретация модели

Figure 2. Surface response of the model

Расчетные оптимальные значения дозировки ФП и времени ферментолиза составили 0,4% и 1 ч соответственно. Апробация расчётных параметров ферментолиза показала высокий выход жира (65,42% от его содержания в сырье) при достаточно небольшом изменении кислотного числа (4,11 мг КОН / г при 3,85 мг КОН/г в исходном сырье).

Заключение

Исследование сравнительного ферментолиза печени минтая показало, что применение ферментного препарата «Проторизин LAP» в технологическом процессе переработки жиросодержащего рыбного. Лабораторный образец не уступает коммерческим аналогам по способности выделения жира из печени минтая и может быть перспективен в переработке другого сырья животного происхождения.

Наиболее важные факторы, влияющие на выход и качество жира печени минтая при ферментолизе – температура, дозировка ферментного препарата и продолжительность процесса. На основании полнофакторного эксперимента предложена модель, адекватно описывающая процесс ферментолиза печени минтая. Данная модель позволила рассчитать оптимальные параметры процесса ферментолиза: температура – 40…45 °С, массовая доля ферментного препарата – 0,4% и продолжительность – 1 час.

Благодарности

Научно-исследовательская работа проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания в рамках Программы Фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2022–2024 годы (тема № № 0410–2022–0006)

Литература

1 Bimbo A.P. Sources of omega-3 fatty acids //Food enrichment with omega-3 fatty acids. Woodhead Publishing, 2013. P. 27–107. doi: 10.1533/9780857098863.1.27

2 Hu Z., Chin Y., Liu J., Zhou J. et al. Optimization of fish oil extraction from Lophius litulon liver and fatty acid composition analysis // Fisheries and Aquatic Sciences. 2022. V. 25. №. 2. P. 76–89. doi: 10.47853/FAS.2022.e8

3 Aitta E., Marsol-Vall A., Damerau A., Yang B. Enzyme-assisted extraction of fish oil from whole fish and by-products of Baltic herring (Clupea harengus membras) // Foods. 2021. V. 10. №. 8. P. 1811. doi: 10.3390/foods10081811

4 Qi-Yuan L., Jun-Qing Q., Xiao-Ge W. Optimization of enzymatic fish oil extraction from mackerel viscera by response surface methodology // International Food Research Journal. 2016. V. 23. №. 3. P. 992.

5 Šližyte R., Daukšas E., Falch E., Storrø I. et al. Yield and composition of different fractions obtained after enzymatic hydrolysis of cod (Gadus morhua) by-products // Process Biochemistry. 2005. V. 40. №. 3–4. P. 1415–1424. doi: 10.1016/j.procbio.2004.06.033

6 Hathwar S.C., Bijinu B., Rai A.K., Narayan B. Simultaneous recovery of lipids and proteins by enzymatic hydrolysis of fish industry waste using different commercial proteases // Applied Biochemistry and Biotechnology. 2011. V. 164. №. 1. P. 115–124. doi:10.1007/s12010-010-9119-5

7 Пат. № 2315098, RU, C12N 1/14, 9/62, C12R 1/69. Штамм гриба Aspergillus oryzae – продуцент кислых и слабокислых протеаз / Римарева Л.В., Оверченко М.Б., Морозова К.А., Синицын А.П. №2006123547/13; Заявл. 04.07.2006; Опубл. 20.01.2008, Бюл. № 2.

8 ГОСТ 31339–2006 Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приемки и методы отбора проб. М., 2010. 12 с.

9 ГОСТ 7636–85 Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. М., 2010. 123 с.

10 ГОСТ 8756.21–89 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения жира М.: Стандартинформ, 2010. 12 с.

11 Агафонова С.В., Байдалинова Л.С. Оптимизация биотехнологического процесса выделения из рыбного сырья жира с повышенным содержанием ПНЖК // IV Международный балтийский морской форум. 2016. С. 1261–1264.

12 Shahidi F., Ambigaipalan P. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and their health benefits // Annual review of food science and technology. 2018. V. 9. P. 345-381. doi: 10.1146/annurev-food-111317-095850

13 Gutiérrez S., Svahn S.L., Johansson M.E. Effects of omega-3 fatty acids on immune cells // International journal of molecular sciences. 2019. V. 20. №. 20. P. 5028. doi: 10.3390/ijms20205028

14 Laviano A. Rianda S., Molfino A., Fanelli F.R. Omega-3 fatty acids in cancer // Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care. 2013. V. 16. №. 2. P. 156-161. doi: 10.1097/MCO.0b013e32835d2d99

15 Calder P. C. Omega-3 fatty acids and inflammatory processes: from molecules to man // Biochemical Society Transactions. 2017. V. 45. №. 5. P. 1105-1115. doi: 10.1042/BST20160474

16 Endo J., Arita M. Cardioprotective mechanism of omega-3 polyunsaturated fatty acids // Journal of cardiology. 2016. V. 67. №. 1. P. 22-27. doi: 10.1016/j.jjcc.2015.08.002

17 Adarme-Vega T.C., Thomas-Hall S.R., Schenk P.M. Towards sustainable sources for omega-3 fatty acids production // Current opinion in biotechnology. 2014. V. 26. P. 14-18. doi: 10.1016/j.copbio.2013.08.003

18 Bowen K.J., Harris W.S., Kris-Etherton P.M. Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: are there benefits? // Current treatment options in cardiovascular medicine. 2016. V. 18. №. 11. P. 1-16. doi: 10.1007/s11936-016-0487-1

19 Jain A.P., Aggarwal K.K., Zhang P.Y. Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease // Eur Rev Med Pharmacol Sci. 2015. V. 19. №. 3. P. 441-5.

20 Simopoulos A.P. An increase in the omega-6/omega-3 fatty acid ratio increases the risk for obesity // Nutrients. 2016. V. 8. №. 3. P. 128. doi: 10.3390/nu8030128

References

1 Bimbo A.P. Sources of omega 3 fatty acids. Food enrichment with omega 3 fatty acids. Woodhead Publishing, 2013. pp. 27–107. doi: 10.1533/9780857098863.1.27

2 Hu Z., Chin Y., Liu J., Zhou J. et al. Optimization of fish oil extraction from Lophius litulon liver and fatty acid composition analysis. Fisheries and Aquatic Sciences. 2022. vol. 25. no. 2. pp. 76–89. doi: 10.47853/FAS.2022.e8

3 Aitta E., Marsol-Vall A., Damerau A., Yang B. Enzyme-assisted extraction of fish oil from whole fish and by-products of Baltic herring (Clupea harengus membras). Foods. 2021. vol. 10. no. 8. pp. 1811. doi: 10.3390/foods10081811

4 Qi-Yuan L., Jun-Qing Q., Xiao-Ge W. Optimization of enzymatic fish oil extraction from mackerel viscera by response surface methodology. International Food Research Journal. 2016. vol. 23. no. 3. pp. 992.

5 Šližyte R., Daukšas E., Falch E., Storrø I. et al. Yield and composition of different fractions obtained after enzymatic hydrolysis of cod (Gadus morhua) by-products. Process Biochemistry. 2005. vol. 40. no. 3–4. pp. 1415–1424. doi: 10.1016/j.procbio.2004.06.033

6 Hathwar S.C., Bijinu B., Rai A.K., Narayan B. Simultaneous recovery of lipids and proteins by enzymatic hydrolysis of fish industry waste using different commercial proteases. Applied Biochemistry and Biotechnology. 2011. vol. 164. no. 1. pp. 115–124. doi:10.1007/s12010-010-9119-5

7 Rimareva L.V., Overchenko M.B., Morozova K.A., Sinitsyn A.P. The strain of the fungus Aspergillus oryzae is a producer of acidic and weakly acidic proteases. Patent RF, no. 2315098, 2008.

8 8. GOST 31339–2006 Fish, non-fish objects and products from them. Acceptance rules and sampling methods. Moscow, 2010. 12 p. (in Russian).

9 GOST 7636–85 Fish, marine mammals, marine invertebrates and products of their processing. Analysis methods. Moscow, 2010. 123 p. (in Russian).

10 GOST 8756.21–89 Processed products of fruits and vegetables. Fat determination methods Moscow, Standartinform, 2010. 12 p. (in Russian).

11 Agafonova S.V., Baydalinova L.S. Optimization of the biotechnological process of extracting fat from fish raw materials with a high content of polyunsaturated fatty acids. IV International Baltic Marine Forum. 2016. pp. 1261–1264. (in Russian).

12 Shahidi F., Ambigaipalan P. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and their health benefits. Annual review of food science and technology. 2018. vol. 9. pp. 345-381. doi: 10.1146/annurev-food-111317-095850

13 Gutiérrez S., Svahn S.L., Johansson M.E. Effects of omega-3 fatty acids on immune cells. International journal of molecular sciences. 2019. vol. 20. no. 20. pp. 5028. doi: 10.3390/ijms20205028

14 Laviano A. Rianda S., Molfino A., Fanelli F.R. Omega-3 fatty acids in cancer. Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care. 2013. vol. 16. no. 2. pp. 156-161. doi: 10.1097/MCO.0b013e32835d2d99

15 Calder P. C. Omega-3 fatty acids and inflammatory processes: from molecules to man. Biochemical Society Transactions. 2017. vol. 45. no. 5. pp. 1105-1115. doi: 10.1042/BST20160474

16 Endo J., Arita M. Cardioprotective mechanism of omega-3 polyunsaturated fatty acids. Journal of cardiology. 2016. vol. 67. no. 1. pp. 22-27. doi: 10.1016/j.jjcc.2015.08.002

17 Adarme-Vega T.C., Thomas-Hall S.R., Schenk P.M. Towards sustainable sources for omega-3 fatty acids production. Current opinion in biotechnology. 2014. vol. 26. pp. 14-18. doi: 10.1016/j.copbio.2013.08.003

18 Bowen K.J., Harris W.S., Kris-Etherton P.M. Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: are there benefits? Current treatment options in cardiovascular medicine. 2016. vol. 18. no. 11. pp. 1-16. doi: 10.1007/s11936-016-0487-1

19 Jain A.P., Aggarwal K.K., Zhang P.Y. Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease. Eur Rev Med Pharmacol Sci. 2015. vol. 19. no. 3. pp. 441-5.

20 Simopoulos A.P. An increase in the omega-6/omega-3 fatty acid ratio increases the risk for obesity. Nutrients. 2016. vol. 8. no. 3. pp. 128. doi: 10.3390/nu8030128

Сведения об авторах

Алексей А. Голубев магистрант, Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Россия, alex.golubev@rgau-msha.ru
https://orcid.org/0000-0002-3847-6472

Анна С. Середа к.т.н., ведущий научный сотрудник, лаборатория биотехнологии новых продуцентов гидролитических ферментов, ВНИИПБТ – филиал ФИЦ питания и биотехнологии, Самокатная ул., 4б, г. Москва, 111033, Россия, as.sereda@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-9097-3946

Нина И. Дунченко д.т.н., зав. кафедрой, профессор, кафедра управление качеством и товароведение продукции, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Россия, dunchenko.nina@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-6158-9854

Information about authors

Alexey A. Golubev master student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, st. Timiryazevskaya, 49, Moscow,127550 Russia, alex.golubev@rgau-msha.ru
https://orcid.org/0000-0002-3847-6472

Anna S. Sereda Cand. Sci. (Engin.)., leading researcher, laboratory of biotechnology of new producers of hydrolytic enzymes, VNIIPBT – Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology branch, st. Samokatnaya, 4b, Moscow, 111033, Russia, as.sereda@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-9097-3946

Nina I. Dunchenko Dr. Sci. (Engin.), head of department, commodity quality management and merchandizing department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, st. Timiryazevskaya, 49, Moscow,127550 Russia, dunchenko.nina@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-6158-9854

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 04/04/2022 **После редакции** 27/04/2022 **Принята в печать** 19/05/2022

Received 04/04/2022 **Accepted in revised** 27/04/2022 **Accepted** 19/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-84-92 Оригинальная статья/Research article
УДК 664 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Применение коллагена гидробионтов в производстве продукции на основе рыбного фарша

Виктор И. Воробьев [1] viktor.vorobev@klgtu.ru 0000-0001-8209-7851
Ольга П. Чернега [1] olga.chernega@klgtu.ru 0000-0002-4150-2731
Альбина Р. Берсенева [1] albinabers22@gmail.com 0000-0001-7053-7223

1 Калининградский государственный технический университет, пр-т Советский, 1, Калининград, Россия

Аннотация. Исследовано влияние определённых фракций рыбьей чешуи (судак), используемых в качестве добавки в фарши из филе минтая, а также из субпродуктов (хребты, хвосты, плавники) семги полученных способом сепарирования на физико-химические и органолептические свойства получаемых полуфабрикатов и готовой продукции (тефтели). Определено, что с увеличением % внесения добавок в фарш из минтая массовые потери тефтелей после запекания (пароконвектомат) по сравнению с контролем (46,25% - без добавок чешуи) уменьшались и составили (при 10%-ной добавке трех фракций чешуи) соответственно 29,50; 37,30 и 38,83%. Выявлено, что предварительное выдерживание (стабилизация) указанных полуфабрикатов в холодильной камере при температуре 4 °С в течение 90 минут с последующим запеканием способствовало более значительному снижению массовых потерь готовой продукции по сравнению с контролем (46,25%) и составило (при 10%-ной добавки трех фракций чешуи) соответственно 24,00; 18,7 и 24,39%. Аналогичное снижение массовых потерь готовой продукции происходило при изготовлении тефтелей из сепарированного фарша полученного из субпродуктов семги с добавлением определенных фракций рыбьей чешуи в количестве от 1 до 10% от массы сырья. Показано, что с увеличением % внесения в фарши добавки рыбьей чешуи, увеличивается предельное напряжение сдвига (ПНС) образующейся смеси, влагоудерживающая способность (ВУС), при концентрации добавки в фарше от 1 до 7% имеет тенденцию к снижению, а от 7 до 10% – к повышению по сравнению с контролем. Тефтели, полученные из фаршей минтая и семги с добавлением коллагеновой фракции чешуи (более 2,5 мм) в количестве 8 и 10% от массы сырья имели нежную консистенцию и менее выраженный рыбный вкус и запах.

Ключевые слова: фарш, филе минтая, фарш семги, рыбья чешуя, рыбные тефтели.

The use of hydrobiont collagen in the production of products based on minced fish

Viktor I. Vorobyov [1] viktor.vorobev@klgtu.ru 0000-0001-8209-7851
Olga P. Chernega [1] olga.chernega@klgtu.ru 0000-0002-4150-2731
Albina R. Berseneva [1] albinabers22@gmail.com 0000-0001-7053-7223

1 Kaliningrad State Technical University, Sovetskiy sv., 1, Kaliningrad, Russia

Abstract. The influence of certain fractions of fish scales (zander) used as an additive in minced meat from pollock fillets, as well as from by-products (backbones, tails, fins) of salmon obtained by separation on the physicochemical and organoleptic properties of the resulting semi-finished products and ready-to-eat – how products (meatballs). It was determined that with an increase in the percentage of adding additives to pollock minced meat, the mass loss of meatballs after baking (combi steamer) decreased compared to the control (46.25% – without adding scales) and amounted to (with a 10% addition of three fractions scales) respectively 29.50; 37.30 and 38.83%. It was revealed that the preliminary holding (stabilization) of these semi-finished products in a refrigerator at a temperature of 4 °C for 90 minutes, followed by baking, contributed to a more significant reduction in mass losses of finished products compared to the control (46.25%) and amounted to (at 10% addition of three scale fractions) respectively 24.00%, 18.7% and 24.39%. A similar reduction in mass losses of finished products occurred in the manufacture of meatballs from separated minced meat obtained from salmon by-products with the addition of certain fractions of fish scales in an amount of 1 to 10% by weight of raw materials. It is shown that with an increase in the percentage of addition of fish scale additives to minced meats, the ultimate shear stress (USS) of the resulting mixture increases, water-holding capacity (WHC), with an additive concentration in minced meat from 1 to 7% tends to decrease, and from 7 to 10% to increase in comparison with the control. Meatballs obtained from minced pollock and salmon with the addition of the collagen fraction of the scales (more than 2.5 mm) in the amount of 8 and 10% by weight of the raw material had a very delicate texture and a less pronounced fishy taste and smell.

Keywords: minced meat, pollock fillet, minced salmon, fish scales, fish meatballs.

Введение

Рыбья чешуя составляет в среднем 2–5% общей массы рыбы и является одной из проблем предприятий рыбной отрасли касающейся необходимости практического решения её промышленной переработки [1–4]. Исследования рыбных отходов показали, что рыбья чешуя имеет высокую биологическую ценность, что также подтверждается самой природой, где отдельные виды рыб на протяжении всей жизни питаются (лепидофагия) исключительно чешуёй [5,6]. Ключевыми компонентами чешуи являются протеины (40–84%), из которых более 70% представляет коллаген и минеральные вещества (16–59%) состоящие в основном из гидроксиапатита определяющие возможные пути её переработки и применения [7, 8]. Основным направлением использования чешуи в качестве сырья является малорентабельное производство

Для цитирования
Воробьев В.И., Чернега О.П., Берсенева А.Р. Применение коллагена гидробионтов в производстве продукции на основе рыбного фарша // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 84–92. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-84-92

For citation
Vorobyov V.I., Chernega O.P., Berseneva A.R. The use of hydrobiont collagen in the production of products based on minced fish. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 84–92. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-84-92

© 2022, Воробьев В.И. и др. / Vorobyov V.I. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

рыбной муки и кормовых добавок [9]. Одним из перспективных направлений использования чешуи является производство рыбного коллагена или желатина (около 1,5% от общего мирового производства коллагена) и продуктов его гидролиза (гидраты, желатин, пептидные гидролизаты) имеющих высокую добавленную стоимость и спрос для применения в различных отраслях промышленности (пища, косметика, медицина и др.) [9–11]. Необходимость применения значительного количества жидкостей с использованием кислот, щелочей и дорогостоящих ферментов (гидролиз рыбьей чешуи) с последующим удалением этих жидкостей (промывка сырья, фильтрация, концентрирование, сушка) при получении рыбного коллагена и продуктов его гидролиза, а также существенные потери сырья (деминерализация и удаление неколлагеновых белков) и соответственно низкий выход готовой продукции с высокой себестоимостью, ограничивает его промышленное производство. Кроме того, рыбный коллаген (желатин) обладают более низким показателем прочности геля (число Блум) по сравнению с коллагеном млекопитающих, являющимся одной из основных технологических характеристик готовой продукции. Отсутствие экономически приемлемых технологий переработки коллагенсодержащего рыбного сырья, приводит к тому, что ежегодно во всём мире сотни тысяч тонн рыбьей чешуи, образующейся на предприятиях в процессе рыбопереработки и вывозятся на специальные полигоны (где компостируются или сжигаются), приводя к образованию токсичного метана и неприятного запаха. Необходимо отметить, что снятие чешуи с рыбы является предварительной операцией, перед основной обработкой рыбного сырья, что позволяет осуществлять её сбор, аккумулирование и обработку отдельно от основной массы рыбных отходов. Ввиду отсутствия промышленного производства рыбного коллагена в России, весьма актуальным является разработка и внедрение экономически приемлемых способов переработки рыбьей чешуи и получение продукции, имеющей высокую добавленную стоимость. Это позволит уменьшить дефицит белка, расширить линейку новой пищевой продукции и снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

Цель работы – оценка возможности применения рыбной коллагеновой фракции, полученной из чешуи гидробионтов, в качестве добавки при производстве фаршевых изделий [12].

Материалы и методы

Материалом для исследований являлись фарши, полученные из филе минтая, а также из побочных продуктов (хребты, хвосты, плавники) образующихся при производстве филе семги. Кроме того, были исследованы определённые фракции рыбьей чешуи (судак), полученные по ранее разработанной технологии используемые в качестве добавки в фарш [12]. Изготовление опытных образцов фаршевых изделий (тефтели), а также получение фракций рыбьей чешуи и проведение химических анализов осуществлялось в лабораториях кафедры технологии продуктов питания и химии ФГБОУ ВО «КГТУ» (г. Калининград) и сертифицированной испытательной лаборатории ООО «Калининградский испытательный центр». Общий химический состав (включая фосфор, кальций и магний) определяли согласно следующей нормативной документации. Массовую долю влаги, жира, белка, кальция, золы в сырье и опытных образцах определяли по ГОСТ 7636–85 «Методы анализа» (пп. 3.3.1, 3.7.2, 8.9.1, 811.1, 11.6 соответственно), массовую долю углеводов согласно МУ № 4237–86 от 29.12.86 г. (расчетным методом), фосфора по ГОСТ Р 55503–2013, магния по ГОСТ ISO 8070/IDF 119–2014.

Предельное напряжение сдвига (ПНС) опытных образцов определяли по ГОСТ Р 50814–95 «Мясопродукты. Методы определения пенетрации конусом и игольчатым индентором». В качестве реометра применялся пенетрометр ПМДП-I с константой конуса с углом при вершине 60º, К=2,1 Н/кг. Методика определения ПНС основана на измерении погружения конуса при действии постоянной нагрузки в течении 180 сек в специально подготовленный образец. За результат измерений пенетрации фарша из филе минтая и сепарированного фарша семги принимали среднеарифметическое значение результатов трех параллельных измерений. Водоудерживающую способность (ВУС) образцов фарша определяли по ГОСТ 7636–85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа».

Для определения текстуры готовых изделий на основе фарша из минтая и семги с добавлением коллагеновой фракции чешуи (более 2,5 мм) были проведены испытания на аппарате Brookfield CT3 Texture Analyzer тип используемого теста – сжатие.

Результаты и обсуждение

Рыбный фарш (измельченная рыба с пищевыми добавками) является основой для широкого ассортимента рыбных полуфабрикатов.

Современная технология рыбного фарша с применением сепараторов является наиболее перспективным способом переработки гидробионтов, позволяющим использовать значительное видовое разнообразие рыбного сырья и способствующим увеличению выхода съедобной части по сравнению с производством рыбного филе.

С целью определения качественных и количественных показателей полуфабрикатов предварительно были изготовлены опытные образцы фарша из филе минтая с добавлением 1% соли и определенных высушенных фракций чешуи (судак), взятых в различном процентном отношении к массе рыбного сырья.

Из полученного фарша выработали тефтели массой от 50 до 60 г. (рисунок 1).

Часть тефтелей сразу после выработки была доведена до кулинарной готовности запеканием в пароконвектомате (пароконвекционная печь 6-уровней ПКА-1/В, (Россия)) при 180 °С в течении 20 минут до температуры в центре продукта 75 °С, другую часть опытных образцов перед термообработкой выдерживали в холодильной камере при температуре 4 °С в течение 90 минут с целью полного перераспределения и стабилизации компонентов фарша. Изменения массы опытных образцов тефтелей после запекания представлены в таблицах 1 и 2: образец 1 – фракция высушенной чешуи судака более 2,5 мм; образец 2 – фракция высушенной чешуи судака от 0,1 до 2,5 мм; образец 3 – фракция высушенной чешуи судака менее 0,1 мм.



Рисунок 1. Опытные образцы тефтелей из фарша минтая с различным процентным содержанием высушенных фракций рыбьей чешуи (судак)

Figure 1. Experimental samples of minced pollock meatballs with different percentages of dried fractions of fish scales (zander)

Таблица 1.

Изменение массы образцов тефтелей (из фарша минтая) после запекания (в пароконвектомате) в зависимости от% внесения в фарш определенных фракций рыбьей чешуи (судак)

Table 1.

Change in the mass of fishballs samples (from pollock mince) after baking (in a combi steamer) depending on the percentage of adding certain fractions of fish scales (zander) to minced meat

Массовая доля фракции чешуи судака в фарше из минтая, % Mass fraction of zander scale fraction in minced pollock, %	Образец | Sample								
	1			2			3		
	m_1, г m_1, g	m_2, г m_2, g	Потери, % Weight loss, %	m_1, г m_1, g	m_2, г m_2, g	Потери, % Weight loss, %	m_1, г m_1, g	m_2, г m_2, g	Потери% Weight loss, %
0	50,62	27,30	46,25	-	-	-	-	-	-
1	51,26	30,97	39,50	52,10	30,81	40,86	50,30	29,13	42,08
2	50,0	31,26	37,48	50,62	27,44	45,79	50,99	30,00	41,16
4	53,27	34,91	34,84	50,87	29,43	42,14	50,87	30,09	40,84
6	52,36	34,71	33,70	50,12	30,84	38,46	53,88	32,46	39,75
8	55,77	37,88	32,07	51,38	32,03	37,66	56,47	34,72	38,51
10	50,8	35,75	29,60	52,75	33,65	37,30	52,84	32,32	38,83
m_1 – масса до обработки, г; m_2 – масса после обработки, г m_1 – weight before processing, g; m_2 – weight after processing, g									

Как видно из таблицы 1, в образцах 1, 2 и 3-его вариантов с увеличением процента внесения фракций чешуи в рыбный фарш, потери после термообработки, по сравнению с контролем (46,25%), уменьшались и составили соответственно 29,50; 37,30 и 38,83%. Органолептические показатели запах и вкус были свойственны запеченному минтаю, консистенция сухая, свойственная мясу данного вида рыбы, цвет светло кремовый. Органолептические показатели во 2 и 3-ем вариантах, при увеличении процента внесения фракций чешуи, значительно ухудшались. Запах становился более выраженным, свойственным добавке и минтаю, консистенция жесткой и сухой, пища хуже пережевывалась. В 1-ом варианте с увеличением процента внесения фракции чешуи (более 2,5 мм) рыбные вкус и запах становились менее выраженными по сравнению с контролем, а консистенция становилась более нежной и сочной. Цвет всех образцов был светло кремовый.

Из таблицы 2, видно, что образцы 1, 2 и 3-его варианта с увеличением внесения фракций чешуи потери после термообработки по сравнению с контролем (46,25%) уменьшались и составили соответственно 24,00; 18,7 и 24,39%. Образцы 2 и 3-го вариантов при внесении фракций чешуи в количестве 8 и 10% от массы сырья имели непривлекательный серый цвет фарша после термообработки. С увеличением процента внесения фракций чешуи запах, вкус и особенно консистенция значительно ухудшались. В 1-ом варианте, наоборот, с увеличением количества фракции чешуи в фарше консистенция становилась более сочной и нежной, цвет идентичен контролю, а рыбный вкус и запах становились менее выраженными по сравнению с контролем.

Таблица 2.

Изменение массы образцов тефтелей (из фарша минтая), полученных с предварительной стабилизацией в течение 90 минут при температуре 4°С до термообработки, с последующем запеканием (пароконвектомат) в зависимости от % внесения в фарш определённых фракций чешуи (судак)

Table 2.

Change in the mass of fishballs samples (from minced pollock) obtained with preliminary stabilization for 90 minutes at a temperature of 4 C before heat treatment, followed by baking (combi steamer) depending on the% of adding certain fractions of scales (zander) to the minced meat

Массовая доля фракции чешуи судака в фарше из минтая, % Mass fraction of zander scale fraction in minced pollock, %	Образец | Sample								
	1			2			3		
	m_1, г m_1, g	m_2, г m_2, g	Потери, % Weight loss, %	m_1, г m_1, g	m_2, г m_2, g	Потери, % Weight loss, %	m_1, г m_1, g	m_2, г m_2, g	Потери, % Weight loss, %
0	50,62	27,30	**46,25**	-	-	-	-	-	-
1	51,43	34,03	33,83	50,0	36,30	27,40	51,95	32,84	36,78
2	53,96	34,99	35,15	53,15	37,61	29,23	51,22	31,43	38,63
4	51,96	34,12	33,11	52,85	39,17	25,88	54,45	37,98	30,24
6	55,01	38,38	30,23	57,04	44,54	21,91	53,04	37,02	30,20
8	54,63	39,80	27,14	56,88	45,78	19,50	52,94	39,39	25,59
10	53,05	40,69	**23,29**	57,27	46,52	**18,70**	59,45	44,95	**24,39**
m_1 – масса до обработки, г; m_2 – масса после обработки, г m_1 – weight before processing, g; m_2 – weight after processing, g									

Все образцы тефтелей из рыбного фарша с предварительной стабилизацией и последующей термообработкой имели меньшие потери по сравнению с изделиями, запеченными сразу после выработки. Следовательно, целесообразно перед термообработкой проводить стабилизацию опытных образцов тефтелей, так как происходит более равномерное перераспределение компонентов добавки с частичным набуханием коллагена чешуи в фарше, повышаются связующие и эластично-пластичные свойства смеси, способствующие в дальнейшем улучшению физико-химических и органолептических показателей получаемых готовых изделий. Однако, это различие не повлияло на органолептические показатели полученных партий опытных образцов, как с предварительной стабилизацией перед термообработкой, так и без нее. Наилучшие органолептические показатели – консистенция, вкус, запах и цвет были у опытных образцов 1-го варианта обеих партий, что связано с высоким содержанием белка (коллагена) и незначительным количеством минеральных веществ в добавленных в фарш фракций чешуи [12, 14–20]. Тефтели, полученные из фарша минтая с добавлением коллагеновой фракции чешуи (более 2,5 мм) в количестве 8 и 10% от массы сырья имели очень нежную консистенцию и менее выраженный рыбный вкус и запах.

Аналогично были изготовлены образцы фарша для тефтелей из семги. Опытную партию рыбного фарша из размороженного побочного сырья (хребты, хвосты, плавники – субпродукты) полученного при изготовлении филе атлантического лосося (семга) производили на РК «За Родину» (Калининградская область) с помощью сепаратора барабанного типа. Сырье загружали в приемную емкость сепаратора, где оно прокручивалось через перфорированный барабан с последующим отделением рыбного фарша (поступающего через отверстия внутрь барабана) от твердой части (хребтов и др., оставшихся снаружи барабана) (рисунок 2).



Рисунок 2. Получение фарша из рыбных субпродуктов (семга): сырье; процесс сепарирования; отсепарированный фарш

Figure 2. Obtaining minced meat from by-product thawed fish raw materials obtained during the production of fillets (salmon): raw materials; separation process; separated minced meat

При таком способе обработки фарш получается однородной консистенции. Сравнительный общий химический состав (включая содержание P, Ca и Mg) рыбных фаршей, полученных сепарированием из субпродуктов и из мышечных тканей (семга), представлен в таблице 3, где химический состав для фарша из мышечной ткани семги взят из справочных данных [13].

Таблица 3.

Общий химический состав (в том числе кальций, фосфор и магний) рыбных фаршей, полученных сепарированием из субпродуктов и из мышечной ткани (семга)

Table 3.

General chemical composition (including calcium, phosphorus and magnesium) of minced fish obtained by separation from offal and muscle tissue (salmon)

Рыбный фарш minced fish	Массовая доля, %| Mass fraction, %					мг/% | mg/%		
	Влага Moisture	Белок Protein	Жир Fat	Зола Ash	Углеводы Carbohydrates	P	Ca	Mg
Фарш из субпродуктов (семга) Minced meat from by-product fish (salmon)	75,6±0,7	14,0±0,3	8,3±0,7	1,9±0,01	0,2	260,0±0,05	75,6±8,4	11,8±1,31
Фарш из мышечной ткани семги Minced salmon muscle tissue	70,6	20,0	8,1	1,3	0,0	210,0	15,0	25,0

Из таблицы 3. видно, что рыбный фарш (семга), полученный из субпродуктов, имеет повышенную массовую долю золы при пониженном содержании белка по сравнению с мышечной тканью рыбы.

Из полученного фарша семги выработали опытную партию тефтелей с добавлением 1% соли и определенных высушенных фракций чешуи (судак), взятых в различном процентном отношении к массе рыбного сырья. С учетом ранее полученных экспериментальных данных (с фаршем минтая) аналогично в первом варианте были внесены фракции рыбьей чешуи в количестве 1; 2; 4; 6; 8 и 10%, а во втором и третьем вариантах только 1 и 2% от массы сырья.

Так как потери массы после термообработки (запекание) в образцах со стабилизацией фарша меньше, то опытные образцы тефтелей из фарша семги были направлены в холодильную камеру для стабилизации продукта на 90 минут при температуре 4 °С. Масса полученных тефтелей составила от 46 до 49 г. (рисунок 3).



Рисунок 3. Опытные образцы тефтелей из фарша семги с различным процентным содержанием определённых фракций чешуи

Figure 3. Experimental samples of minced salmon fishballs with different percentages of certain scale fractions

Тефтели запекали (пароконвектомат) при 180 °С в течении 20 минут до температуры в центре продукта 75 °С. Изменения массы опытных образцов после запекания представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Изменение массы образцов тефтелей (из фарша семги), полученных с предварительной стабилизацией в течении 90 минут при 4 °С до термообработки и последующим запеканием (пароконвектомат) в зависимости от% внесения в фарш определённых фракций рыбьей чешуи (судак)

Table 4.

Change in the mass of fishball samples (from minced salmon) obtained with preliminary stabilization for 90 minutes at 4 °C before heat treatment and subsequent baking (combi steamer) depending on the percentage of adding certain fractions of fish scales to the minced meat (zander)

Массовая доля фракции чешуи судака в фарше из субпродуктов семги, % Mass fraction of zander scale fraction in minced salmon by-products, %	Образец | Sample								
	1			2			3		
	m_1, г m_1, g	m_2, г m_2, g	Потери, % Weight loss, %	m_1, г m_1, g	m_2, г m_2, g	Потери, % Weight loss, %	m_1, г m_1, g	m_2, г m_2, g	Потери, % Weight loss, %
0	43,94	23,22	47,15	-	-	-	-	-	-
1	48,17	29,50	38,75	48,33	29,68	38,58	47,87	27,18	43,22
2	48,44	32,20	33,52	48,52	27,66	42,99	48,41	26,33	45,61
4	48,99	35,13	28,29	-	-	-	-	-	-
6	46,00	33,65	26,84	-	-	-	-	-	-
8	46,97	34,96	25,56	-	-	-	-	-	-
10	46,14	35,79	22,43	-	-	-	-	-	-
m_1 – масса до обработки, г; m_2 – масса после обработки, г m_1 – weight before processing, g; m_2 – weight after processing, g									

Определено (таблица 4), что также, как и с фаршем минтая в 1 варианте у тефтелей, полученных с предварительной стабилизацией перед термообработкой (таблица 2) с увеличением внесения массовой доли определённых фракций рыбьей чешуи в рецептуру фарша, потери после термообработки (запекание) значительно уменьшаются с 47,15% (контроль) до 22,43%.

Тефтели полученные из фарша семги с добавлением коллагеновой фракции чешуи (более 2,5 мм) в количестве 8% и 10% от массы сырья имели очень нежную консистенцию и менее выраженный рыбный вкус и запах.

Исследования по определению предельного напряжения сдвига (ПНС) и влагоудерживающей способности (ВУС, %) в зависимости от массовой доли фракции рыбьей чешуи (более 2,5 мм) в фаршах минтая и семги представлены на рисунок 4 и 5.

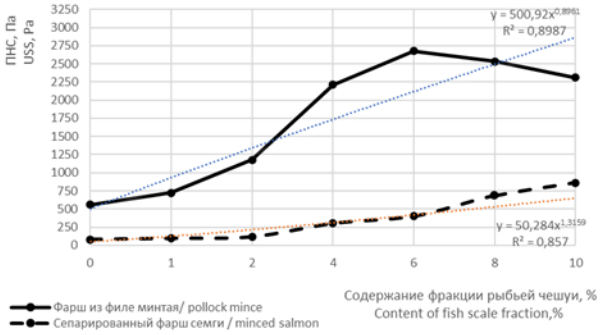


Рисунок 4. Динамика предельного напряжения сдвига (ПНС) в зависимости от содержания (в%) коллагеновой фракции чешуи судака (более 2,5 мм) в фаршах из филе минтая и сепарированного фарша семги

Figure 4. Dynamics of ultimate shear stress (USS) depending on the content (in %) of the collagen fraction of zander scales (more than 2.5 mm) in minced pollock fillet and separated minced salmon

Согласно рисунок 4 видно, что с увеличением содержания коллагеновой фракции чешуи судака (более 2,5 мм) в фаршах минтая и семги увеличивается показатель ПНС. Это говорит об увеличении прочности фарша, уплотнения его консистенции, а следовательно, и о его формующей способности, что важно для производства формованных полуфабрикатов на основе рыбного фарша.

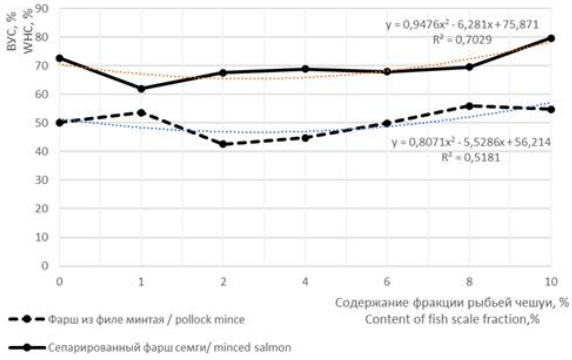


Рисунок 5. Динамика влагоудерживающий способности (ВУС) в зависимости от содержания (в%) коллагеновой фракции чешуи судака (более 2,5 мм) в фаршах из филе минтая и сепарированного фарша семги

Figure 5. Dynamics of water-retaining capacity (WHC) depending on the content (in%) of the collagen fraction of zander scales (more than 2.5 mm) in minced pollock fillet and separated minced salmon

Определено (рисунок 5), что показатель ВУС фаршей минтая и семги содержанием коллагеновой фракции рыбьей чешуи от 1 до 7% имеет тенденцию к снижению, а более 7% к повышению по сравнению с контролем (без чешуи).

Таблица 5.

Значения нагрузки (твердость, г) и трудоемкость по твердости (мДж) для готовых тефтелей из фарша минтая и семги в зависимости от содержания (в%) коллагеновой фракции чешуи судака (более 2,5 мм) в рецептурах фарша

Table 5.

Load values (hardness, g) and labor intensity in hardness (mJ) for ready-made meatballs from minced pollock and salmon, depending on the content (in %) of the collagen fraction of zander scales (more than 2.5 mm) in minced meat recipes

Содержание коллагеновой фракции The content of the collagen fraction	Номер образца Batch Name	Твердость Цикл 1 (г) Hardness Cycle 1 (g)	Трудоемкость по твердости (мДж) Hardness Work Cycle (mJ)
0	Контроль | Control	309,0	22,07
1	1	370,00	26,42
2	2	606,0	40,04
4	3	501,00	34,50
6	4	736,00	42,20
8	5	708,00	37,86
10	6	711,00	49,00
0	Контроль | Control	485,00	34,40
1	1	528,00	35,00
2	2	560,00	40,50
4	3	569,00	37,43
6	4	588,00	34,10
8	5	798,00	42,45
10	6	763,00	46,70

Для определения текстуры готовых изделий, влияющей на усилия необходимые человеческим зубам, чтобы укусить готовый продукт были проведены испытания на аппарате Brookfield CT3 Texture Analyzer. Данный тест сжимает тефтели на заданное расстояние и измеряет количество силы, необходимое для проникновения в готовый продукт.

Показатели твердости готового продукта контрольных и опытных образцов (тефтели на основе фарша из минтая и семги с добавлением коллагеновой фракции чешуи (более 2,5 мм) и выполненная работа (трудоемкость по твердости) представлены в таблице 5.

Максимальным значением силы является пиковая нагрузка, которая при добавлении коллагеновой фракции чешуи возрастает по сравнению с контролем (рисунок 6, 7).

Нагрузка необходимая для разрушения образца – это мера твердости образца. Чем выше значение, тем тверже готовый продукт. Чем выше пиковая нагрузка, тем больше работы требуется для разрушения образца. Проделанная работа по твердости является мерой того, сколько работы требуется для преодоления прочности связей внутри пищи. Согласно полученным данным наибольшей нагрузкой, а соответственно большей твердостью при укусе в сравнении с контрольными образцами обладали образцы с добавлением фракции рабьей чешуи от 6 до 10%. Проделанная работа по твердости достигает пика во время первого укуса готового продукта и составляет для образцов готовых изделий из фарша минтая с фракцией рабьей чешуи (более 2, 5 мм) при добавлении 6; 8 и 10% от массы сырья 42,20; 37,86 и 49,00 мДж соответственно, для образцов готовых изделий из сепарированного фарша семги с фракцией рабьей чешуи (более 2, 5 мм) при добавлении 6; 8 и 10% от массы сырья, 34,10; 42,45 и 46,70 мДж соответственно.

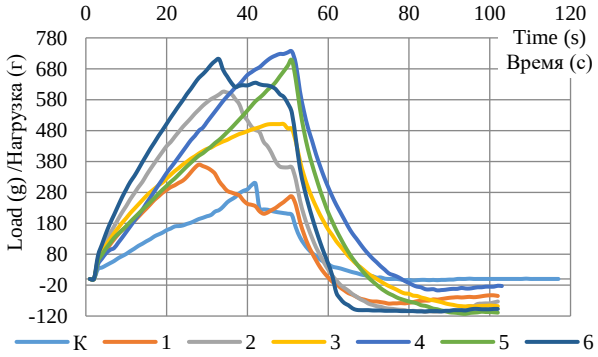


Рисунок 6. Изменение нагрузки (твердость) готовых изделий контрольных и опытных образцов с добавлением коллагеновой фракции чешуи судака (более 2, 5 мм) на основе фарша из минтая (в %): к – контроль, 1 – 1%; 2 – 2%; 3 – 4%; 4 – 6%; 5 – 8%, 6 – 10%

Figure 6. Change in the load (hardness) of finished products of control and experimental samples with the addition of the collagen fraction of zander scales (more than 2.5 mm) but on the basis of minced pollock (in%): k– control, 1 – 1%; 2 – 2%; 3 – 4%; 4 – 6%; 5 – 8%, 6 – 10%

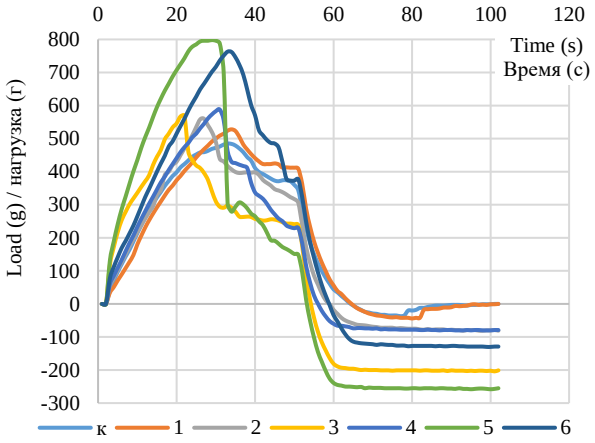


Рисунок 7. Изменение нагрузки (твердость) готовых изделий контрольных и опытных образцов с добавлением коллагеновой фракции рабьей чешуи (более 2, 5 мм) на основе фарша из субпродуктов семги (в %): к – контроль, 1 – 1%; 2 – 2%; 3 – 4%; 4 – 6%; 5 – 8%, 6 – 10%

Figure 7. Change in load (hardness) of finished products of control and experimental samples with the addition of the collagen fraction of zander scales (more than 2.5 mm) based on minced salmon by-products (in%): k – control, 1 – 1%; 2 – 2%; 3 – 4%; 4 – 6%; 5 – 8%, 6 – 10%

Заключение

При увеличении внесения добавки в рыбный фарш (из филе минтая) массовые потери сырья после запекания по сравнению с контролем (46,25% – без добавки) снижались и составили (при добавке трех фракций рыбьей чешуи в количестве 10% от массы сырья) соответственно 29,50; 37,30 и 38,83%.

Все опытные образцы тефтелей из рыбного фарша с предварительной стабилизацией перед термообработкой (выдержанные в холодильной камере при температуре 4 °С в течение 90 минут) с последующим запеканием, имели меньшие массовые потери по сравнению с образцами, запеченными сразу после выработки (без стабилизации).

При увеличении внесения добавки (фракций чешуи) в рыбный фарш увеличивается ПНС образовавшейся смеси.

Тефтели, полученные из фаршей минтая и семги с добавлением коллагеновой фракции чешуи судака (более 2,5 мм) в количестве 8% и 10% от массы сырья имели нежную консистенцию и менее выраженный рыбный вкус и запах.

Определены показатели твердости готового продукта контрольных и опытных образцов тефтелей на основе фарша из минтая и семги с добавлением коллагеновой фракции чешуи судака (более 2,5 мм) и выполненная работа (трудоемкость по твердости).

Литература

1 Harikrishna N., Mahalakshmi S., Kiran Kumar K., Reddy G. Fish scales as potential substrate for production of alkaline protease and amino acid rich aqua hydrolyzate by Bacillus altitudinis GVC11 // Indian journal of microbiology. 2017. V. 57. №. 3. P. 339–343. doi: 10.1007/s12088–017–0664–2

2 Rustad T., Storrø I., Slizyte R. Possibilities for the utilisation of marine by-products // International journal of food science & technology. 2011. V. 46. №. 10. P. 2001–2014. doi: 10.1111/j. 1365–2621.2011.02736.x

3 Torres J.A., Chen Y., Rodrigo-García J., Jaczynski J. Recovery of by-products from seafood processing streams // Maximising the value of marine by-products. Woodhead Publishing, 2007. P. 65–90. doi: 10.1533/9781845692087.1.65

4 Caruso G., Floris R., Serangeli C., Di Paola. Fishery wastes as a yet undiscovered treasure from the sea: Biomolecules sources, extraction methods and valorization // Marine Drugs. 2020. V. 18. №. 12. P. 622. doi: 10.3390/md18120622

5 Мезенова Н.Ю., Байдалинова Л.С., Мезенова О.Я. Активные пептиды рыбной чешуи в гейнерах для спортивного питания // Вестник Международной академии холода. 2014. №. 2. С. 47–52.

6 Бутова В.А., Карасёва А.Ю., Старцев А.В. Сравнительный анализ чешуи рыб семейства кефалиевые // Молодой исследователь Дона. 2018. №. 1 (10). С. 88-92.

7 Masood Z., Iqbal F., Haider M.S., MukhtarTarar O. et al. Evaluation of Crude Protein and Amino Acid Analysis in the Scales of A Rohu Species, Labeo rohita Collected from Korangi Fish Harbor, Pakistan // Global Veterinaria. 2015. V. 15. №. 3. P. 328–331. doi: 10.5829/idosi.gv.2015.15.03.9698

8 Majhooll A.A., Zainol I., Jaafar C.N.A., Mudhafar M. et al. Preparation of fish scales hydroxyapatite (FsHAp) for potential use as fillers in polymer // J. Chem. 2019. V. 13. P. 97–104. doi:10.17265/1934–7375/2019.03.002

9 Новикова И.В., Антипова Л.В., Романюк Т.И., Бовва О.А. и др. Разработка технологии напитков типа «Шорли» с коллагеном // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 3. С. 50–57. doi: 10.20914/2310–1202–2020 – 3–50–57

10 Состояние мирового рыболовства и аквакультуры 2016: вклад в обеспечение всеобщей продовольственной безопасности и питания. URL: http://www.fao.org/publications/sofia/2016

11 Jafari H., Lista A., Sikapen M.M., Ghaffari-Bohluli P. et al. Fish collagen: extraction, characterization, and applications for biomaterials engineering // Polymers. 2020. V. 12. №. 10. P. 2230. doi: 10.3390/polym12102230

12 Воробьев В.И., Нижникова Е.В. Получение фракций коллагена и гидроксиапатита из рыбьей чешуи // Известия КГТУ. 2021. № 62. С. 80–91. doi: 10.46845/1997-3071-2021-62-80-91

13 Скурихин И.М., Тутельян В.А. Химический состав российских продуктов питания. 2002.

14 Pivnenko T., Karpenko J., Krashchenko V. The Influence of Transglutaminase on Minced Muscular Fish Tissue Structure Formation After the Application of Various Protein Substrates // KnE Life Sciences. 2022. P. 285–289.

15 Okuskhanova E., Smolnikova F., Kassymov S., Zinina O. et al. Development of minced meatball composition for the population from unfavorable ecological regions // Annual Research & Review in Biology. 2017. P. 1-9. doi: 10.9734/ARRB/2017/33337

16 Kakimov A., Yessimbekov Z., Suychinov A., Kabdylzhar B. Chapter-7 Review of Meat Products Enriched with Biologically Active Ingredients // in Food Technology and Nutrition. V. 99. P. 159.

17 Ponomareva T., Timchenko M., Filippov M., Lapaev S. et al. Prospects of red king crab hepatopancreas processing: fundamental and applied biochemistry // Recycling. 2021. V. 6. №. 1. P. 3. doi: 10.3390/recycling6010003

18 Kuprina E., Filipov V., Yakkola A., Manuilov A. et al. Obtention of omega-3-fatty acids cryoconcentrated fish oil from by-products of preserves industry. 2021.

19 Lago A.M.T., Vidal A.C., Schiassi M.C., Reis T. et al. Influence of the addition of minced fish on the preparation of fish sausage: effects on sensory properties // Journal of food science. 2017. V. 82. №. 2. P. 492-499. doi: 10.1111/1750-3841.13586

20 Yang H., Chen Q., Cao H., Fan D. et al. Radiofrequency thawing of frozen minced fish based on the dielectric response mechanism // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2019. V. 52. P. 80-88. doi: 10.1016/j.ifset.2018.10.013

References

1 Harikrishna N., Mahalakshmi S., Kiran Kumar K., Reddy G. Fish scales as potential substrate for production of alkaline protease and amino acid rich aqua hydrolyzate by Bacillus altitudinis GVC11. Indian journal of microbiology. 2017. vol. 57. no. 3. pp. 339–343. doi: 10.1007/s12088–017–0664–2

2 Rustad T., Storrø I., Slizyte R. Possibilities for the utilisation of marine by-products. International journal of food science & technology. 2011. vol. 46. no. 10. pp. 2001–2014. doi: 10.1111/j. 1365–2621.2011.02736.x

3 Torres J.A., Chen Y., Rodrigo-García J., Jaczynski J. Recovery of by-products from seafood processing streams. Maximising the value of marine by-products. Woodhead Publishing, 2007. pp. 65–90. doi: 10.1533/9781845692087.1.65

4 Caruso G., Floris R., Serangeli C., Di Paola. Fishery wastes as a yet undiscovered treasure from the sea: Biomolecules sources, extraction methods and valorization. Marine Drugs. 2020. vol. 18. no. 12. pp. 622.

5 Mezenova N.Yu., Baydalinova L.S., Mezenova O.Ya. Active fish scale peptides in sports nutrition gainers. Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda. 2014. no. 2. pp. 47–52. (in Russian).

6 Butova V.A., Karaseva A.Yu., Startsev A.V. Comparative analysis of the scales of fish of the mullet family. Young researcher of the Don. 2018. no. 1 (10). pp. 88-92. (in Russian)

7 Masood Z., Iqbal F., Haider M.S., MukhtarTarar O. et al. Evaluation of Crude Protein and Amino Acid Analysis in the Scales of A Rohu Species, Labeo rohita Collected from Korangi Fish Harbor, Pakistan. Global Veterinaria. 2015. vol. 15. no. 3. pp. 328–331. doi: 10.5829/idosi.gv.2015.15.03.9698

8 Majhooll A.A., Zainol I., Jaafar C.N.A., Mudhafar M. et al. Preparation of fish scales hydroxyapatite (FsHAp) for potential use as fillers in polymer. J. Chem. 2019. vol. 13. pp. 97–104. doi:10.17265/1934–7375/2019.03.002

9 Novikova I.V., Antipova L.V., Romanyuk T.I., Bovva O.A. et al. Development of technology for drinks like "Shorley" with collagen. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 3. pp. 50–57. doi: 10.20914/2310–1202–2020 – 3–50–57 (in Russian).

10 The State of World Fisheries and Aquaculture 2016: Contributing to Shared Food Security and Nutrition. Available at: http://www.fao.org/publications/sofia/2016

11 Jafari H., Lista A., Sikapen M.M., Ghaffari-Bohluli P. et al. Fish collagen: extraction, characterization, and applications for biomaterials engineering. Polymers. 2020. vol. 12. no.10. pp. 2230. doi: 10.3390/polym12102230

12 Vorob'ev V.I., Nizhnikova E.V. Obtaining fractions of collagen and hydroxyapatite from fish scales. Izvestiya KGTU, 2021. no. 62. pp. 80–91. doi: 10.46845/1997-3071-2021-62-80-91 (in Russian)

13 Skurikhin I.M., Tutelyan V.A. Chemical composition of Russian food products. 2002. (in Russian).

14 Pivnenko T., Karpenko J., Krashchenko V. The Influence of Transglutaminase on Minced Muscular Fish Tissue Structure Formation After the Application of Various Protein Substrates. KnE Life Sciences. 2022. pp. 285–289.

15 Okuskhanova E., Smolnikova F., Kassymov S., Zinina O. et al. Development of minced meatball composition for the population from unfavorable ecological regions. Annual Research & Review in Biology. 2017. pp. 1-9. doi: 10.9734/ARRB/2017/33337

16 Kakimov A., Yessimbekov Z., Suychinov A., Kabdylzhar B. Chapter-7 Review of Meat Products Enriched with Biologically Active Ingredients. in Food Technology and Nutrition. vol. 99. pp. 159.

17 Ponomareva T., Timchenko M., Filippov M., Lapaev S. et al. Prospects of red king crab hepatopancreas processing: fundamental and applied biochemistry. Recycling. 2021. vol. 6. no. 1. pp. 3. doi: 10.3390/recycling6010003

18 Kuprina E., Filipov V., Yakkola A., Manuilov A. et al. Obtention of omega-3-fatty acids cryoconcentrated fish oil from by-products of preserves industry. 2021.

19 Lago A.M.T., Vidal A.C., Schiassi M.C., Reis T. et al. Influence of the addition of minced fish on the preparation of fish sausage: effects on sensory properties. Journal of food science. 2017. vol. 82. no. 2. pp. 492-499. doi: 10.1111/1750-3841.13586

20 Yang H., Chen Q., Cao H., Fan D. et al. Radiofrequency thawing of frozen minced fish based on the dielectric response mechanism. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2019. vol. 52. pp. 80-88. doi: 10.1016/j.ifset.2018.10.013

Сведения об авторах

Виктор И. Воробьев к.т.н., доцент, кафедра химии, Калининградский государственный технический университет, пр-т Советский, 1, Калининград, Россия, viktor.vorobev@klgtu.ru
https://orcid.org/0000-0001-8209-7851

Ольга П. Чернега к.т.н., доцент, кафедра технологии продуктов питания, Калининградский государственный технический университет, пр-т Советский, 1, Калининград, Россия, olga.chernega@klgtu.ru
https://orcid.org/0000-0002-4150-2731

Альбина Р. Берсенева магистр, кафедра технологии продуктов питания, Калининградский государственный технический университет, пр-т Советский, 1, Калининград, Россия, albinabers22@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-7053-7223

Information about authors

Viktor I. Vorobyov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemistry department, Kaliningrad State Technical University, Sovetskiy sv., 1, Kaliningrad, 236022, Russia, viktor.vorobev@klgtu.ru
https://orcid.org/0000-0001-8209-7851

Olga P. Chernega Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food technology department, Kaliningrad State Technical University, Sovetskiy sv., 1, Kaliningrad, 236022, Russia, olga.chernega@klgtu.ru
https://orcid.org/0000-0002-4150-2731

Albina R. Berseneva master student, food technology departament, Kaliningrad State Technical University, Sovetskiy sv.,1, Kaliningrad, 236022, Russia, albinabers22@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-7053-7223

Вклад авторов

Виктор И. Воробьев разработка способа и получение коллагеновой добавки

Ольга П. Чернега написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Альбина Р. Берсенева математическая обработка данных

Contribution

Viktor I. Vorobyov development of a method and production of a collagen supplement

Olga P. Chernega wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Albina R. Berseneva mathematical data processing

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 14/03/2022	**После редакции** 06/04/2022	**Принята в печать** 27/04/2022
Received 14/03/2022	**Accepted in revised** 06/04/2022	**Accepted** 27/04/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-93-100 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.6:614 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Применение экстракта ликопина как компонента функционального питания в хлебобулочных изделиях из дрожжевого теста

Светалана В. Смородинская [1] kler.smo@gmail.com 0000-0001-6490-0954
Вера А. Грибкова [1] v.gribkova@mail.ru 0000-0002-5079-8132
Александр Е. Алексеев [1] alekseevae@mgutm.ru 0000-0001-6832-3513
Ирина А. Глебова [1] i.glebova@mgutm.ru 0000-0001-8626-2357

1 МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ), 119049, Москва, Шаболовская 14, стр. 9

Аннотация. В статье показаны результаты включения пищевой добавки ликопина в рецептуру хлебобулочных изделий. Проведена оценка влияния вносимого функционального компонента ликопина на органолептические показатели тестового полуфабриката и готовых хлебобулочных изделий. В пищевой промышленности ликопин используется как натуральный каротиноидный пигмент, антиоксидант и усилитель вкуса некоторых продуктов, таких как: сливочное масло, молочные и макаронные изделия, а также в хлебопечении. Функциональное питание направлено на обогащение традиционных изделий функциональными пищевыми ингредиентами, полезными для здоровья человека. В настоящей работе применялись стандартные методы исследования свойств готовых изделий. На примере булочек для гамбургеров установлено, что ликопин равномерно распределяется по тестовой массе и не изменяет ее структуры, что подтверждается микрофотографиями теста. Добавление 5 мг ликопина привело к увеличению объема теста на 17% от контрольного значения за счет увеличения микробиологической активности дрожжей. Готовая хлебобулочная продукция отличалась высокими вкусовыми качествами и привлекательным внешним видом. Оценка органолептических свойств проводилась с привлечением 10 экспертов-дегустаторов. При оценке органолептических показателей наивысший балл получили хлебобулочные изделия с добавлением 5 мг ликопина на 100 г теста. Добавление ликопина достоверно не повлияло на срок хранения хлебобулочной продукции. Результаты данного исследования позволили предположить, что ликопин, богатый антиоксидантами и каротиноидами, можно использовать в качестве пищевого ингредиента в рецептуре булочек для гамбургеров, изготавливаемых для функционального питания людей с сердечно-сосудистыми, психическими заболеваниями и катарактой.

Ключевые слова: ликопин, компонент, функциональное питание, органолептические характеристики, антиоксидант, пигмент.

Lycopene extract as a functional nutrition component in yeast dough bakery

Svetlana V. Smorodinskaya [1] kler.smo@gmail.com 0000-0001-6490-0954
Vera A. Gribkova [1] v.gribkova@mail.ru 0000-0002-5079-8132
Alexander E. Alekseev [1] alekseevae@mgutm.ru 0000-0001-6832-3513
Irina A. Glebova [1] i.glebova@mgutm.ru 0000-0001-8626-2357

1 Moscow State University of Technology and Management K.G. Razumovsky (First Cossack University), 109004, Moscow, st. Zemlyanoy Val, 73, Russia

Abstract. The article shows the results of the inclusion of the food additive lycopene in the recipe of bakery products. The effect of the introduced functional component lycopene was assessed by organoleptic indicators of the dough semi-finished and finished bakery products. In the food industry lycopene is used as a natural carotenoid pigment, antioxidant and flavor enhancer in some products such as: butter, dairy products and pasta, as well as in baking. Functional nutrition is aimed at enriching traditional products with functional food ingredients useful for human health. In the present work used standard methods of research the properties of finished products. By the example of hamburger buns, it was found that lycopene is evenly distributed throughout the dough mass and does not change its structure, which is confirmed by microphotographs of the dough. The addition of 5 mg of lycopene resulted in a 17% increase in the dough volume from the control value due to an increase in the microbiological activity of the yeast. The finished bakery products were characterized by high taste qualities and attractive appearance. Evaluation of organoleptic properties was carried out with the involvement of 10 expert tasters. When evaluating the organoleptic characteristics, the highest score was given to bakery products with the addition of 5 mg lycopene per 100 g of dough. The addition of lycopene did not significantly affect the shelf life of bakery products. The results of this study suggested that lycopene, which is rich in antioxidants and carotenoids, could be used as a food ingredient in the recipe for hamburger buns made for functional foods for people with cardiovascular, mental illness and cataracts.

Keywords: lycopene, component, functional nutrition, organoleptic characteristics, antioxidant, pigment.

Введение

Ликопин является натуральным каротиноидным пигментом, синтезируемым растениями и некоторыми микроорганизмами. Данный пищевой ингредиент не синтезируется в организме, а поступает с пищевыми продуктами. Более 80% ликопина получают из переработанных томатных продуктов и томатного сока [1, 2]. Ликопин играет важную роль в подавлении воспалительной реакции, и его активность в этом

Для цитирования
Смородинская С.В., Грибкова В.А., Алексеев А.Е., Глебова И.А. Применение экстракта ликопина как компонента функционального питания в хлебобулочных изделиях из дрожжевого теста // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 93–100. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-93-100

For citation
Smorodinskaya S.V., Gribkova V.A., Alekseev A.E., Glebova I.A. Lycopene extract as a functional nutrition component in yeast dough bakery. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 93–100. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-93-100

© 2022, Смородинская С.В. и др. / Smorodinskaya S.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

направлении в первую очередь связана с подавлением его основных медиаторов, таких как активные формы кислорода (АФК). Кроме того, данное соединение ингибирует синтез и высвобождение провоспалительных цитокинов. Ликопин представляет собой каротиноид с молекулярной структурой C4OH56. Это каротин, нециклический изомер β-каротина. Ликопин представляет собой высоконенасыщенный углеводород с прямой цепью, содержащий 13 двойных связей, 11 из которых являются сопряженными. Данное соединение выполняет свою функциональную роль в организме в качестве антиоксиданта, оказывает противоопухолевое действие [3]. Например, употребление ликопина в составе рациона может способствовать профилактике рака груди, мужских половых органов, пищеварительного тракта и других раковых заболеваний, связанных с кожными покровами. У ликопина возможность блокировать свободные радикалы в 2 раза больше, чем у β-каротина и в 10 раз выше по сравнению с α-токоферолом [4]. Кроме того, ликопин усиливает клеточный иммунитет и иммунные (неспецифические) функции не только у человека, но и у животных. Данный эффект связан с его мембраностабилизирующими свойствами. Данный функциональный ингредиент увеличивает количество антиоксидантных ферментов, к которым относятся супероксиддисмутаза, каталаза и глутатионпероксидаза. Благодаря своим антиоксидантным свойствам ликопин также важен для защиты ДНК, липидов и других макромолекул, которые обеспечивают здоровое функционирование организма. Известно, что окислительный стресс приводит к дипертрофии сердца. Проведенные исследования in vitro и in vivo подтвердили, что ликопин способен снижать сердечную гипертрофию, вызванную перегрузкой давлением [5]. Кроме того, ликопин замедляет перекисные процессы в хрусталике глаза. Одно из исследований подтвердило, что существует обратная зависимость между содержанием ликопина в крови и риском развития катаракты [6, 7].

Для окраски пищевых продуктов в желтый и желто-оранжевый цвет широко используются каротиноиды. К несомненным достоинствам натуральных пигментов этой группы относится то, что они проявляют А-витаминную активность (ликопин) [8].

Помимо пигментной окраски в пищевой промышленности ликопин используется в качестве усилителя вкуса некоторых продуктов [9]. На текущий момент уже разработаны продукты питания, в состав которых входит данное вещество – мясные продукты, томатные пасты и др [10–12].

Однообразное питание, выбираемое как взрослым человеком, так и школьником, может в дальнейшей перспективе негативно сказаться на обмене веществ [13]. Функциональное питание нашло широкое применение в пищевой промышленности, так как с его помощью можно восполнить недостаток основных пищевых нутриентов, минеральных веществ и витаминов, пищевых волокон, про-, пребиотиков [14]. Функциональные ингредиенты можно добавлять в продукт в количестве от 10 до 50% в зависимости от суточной потребности человека. По сравнению с биологически активными добавками данные продукты исключают возможность передозировок, имеют привлекательный для потребления вид (не лекарственная форма) и могут употребляться регулярно.

Одной из категорий людей, нуждающихся в применении функциональных продуктов, обогащенных ликопином (например, хлебобулочных изделий), являются жители городов с неблагоприятной экологической обстановкой. К таким городам можно отнести более половины населенных пунктов РФ, например, Челябинскую область [15]. Ежедневно подвергаясь действию загрязненного атмосферного воздуха, потребляя несбалансированное питание и воду низкого качества, они подвергаются риску развития алиментарных заболеваний и повышенному риску развития неоплазий.

Добавление в пищу ингредиентов с антиоксидантными свойствами позволит снизить окислительный стресс, возникающий в организме человека под влиянием стресс факторов [16]. В данном случае, добавление ликопина в хлебобулочные изделия является одним из эффективных способов снижения стрессового воздействия от неблагоприятных факторов среды.

Ученые из Великобритании в одном из экспериментов формировали рационы, содержащие продукты, обогащенные ликопином. При этом, дневной рацион составил: 21–23% от общей нормы потребления ликопина – хлеб, 16–17% – сухие завтраки, 7–15% – безалкогольные ароматизированные напитки [17].

Задачей данной работы являлось установление максимальной дозы внесения ликопина, как функциональной пищевой добавки, в тесто хлебобулочных изделий индивидуального потребления. А также определить воздействие различных концентраций экстракта ликопина по органолептическим методам качественного анализа тестового полуфабриката и готового продукта.

Материалы и методы

Суточная норма потребления человеком ликопина определена в Российской Федерации на уровне 5 мг/сутки дневного рациона при верхнем допустимом уровне (ВДУ) 10 мг/сутки [17, 18]. В процессе термической обработки может происходить деструкция части активного вещества, поэтому опытные концентрации вносимого ликопина составляли 50, 100 и 200% от верхнего порогового значения (ВДУ), что соответствует 5; 10; 20 мг. Такое количество экстракта вносилось в 100 гр. теста. Предполагалось, что после употребления одной булочки человек сможет восполнить суточную потребность в ликопин [19, 20].

Так как ликопин является жирорастворимым соединением, его целесообразно вносить в тесто в момент приготовления жидкой молочной опары.

Производилась оценка органолептических свойств теста и изучение его микроструктуры согласно стандартным методикам. Также оценивалась скорость расстойки теста при температуре 40 °С в течение 50 минут. Тесто выпекалось при 200 °С в течение 25 минут. Готовые изделия охлаждались и проводилась оценка органолептических свойств (внешний вид, состояние мякиша, вкус, запах) с привлечением 12 человек.

Качество хлебобулочных изделий зависит от различных факторов и процессов, которые участвуют в формировании свойств готовой продукции и определяют сохранность их потребительских характеристик в процессе хранения [21]. В рамках настоящих исследований проводилась органолептическая оценка качества хлебобулочных изделий с добавлением ликопина.

Согласно СанПиН 2.3.2.1078, органолептические свойства пищевых продуктов определяются показателями вкуса, цвета, запаха и консистенции, характерными для каждого вида продукции, и должны удовлетворять традиционно сложившимся вкусам и привычкам населения. Органолептические свойства пищевых продуктов не должны изменяться при их хранении, транспортировке и в процессе реализации.

Органолептическая оценка хлебобулочных изделий осуществляется комиссией, состоящей из экспертов-дегустаторов. Данные специалисты предварительно проходят проверку на сенсорную чувствительность. В органолептической оценке важны органы чувств человека, в зависимости от которых методы подразделяется на четыре основные подгруппы: визуальный, осязательный, обонятельный, вкусовой методы.

Визуальный метод – это метод, в основе которого лежит восприятие внешнего вида и / или цвета объекта с помощью зрения.

Осязательный метод – метод, имеющий в качестве основания восприятие консистенции или состояния поверхности с помощью тактильных ощущений.

Обонятельный метод применяется при оценке запаха всех хлебобулочных изделий.

Вкусовой метод – общий и обязательный метод для оценки всех хлебобулочных изделий.

Полученные результаты органолептической оценки позволили определить целесообразность добавления ликопина в рецептуру продуктов массового потребления, в т. ч. в хлебобулочные изделия.

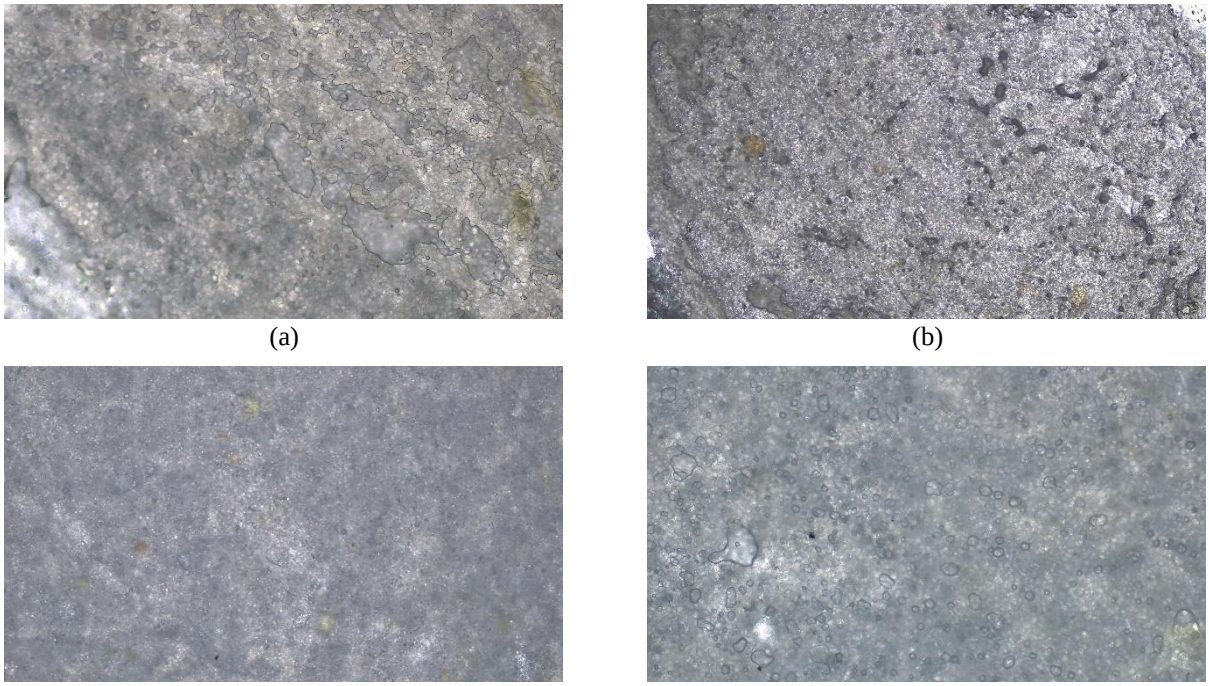
Результаты и обсуждение

Опыты по внесению ликопина в тестовую массу показали равномерное распределение его между крахмальными зернами. Добавление в тесто исследуемого вещества придавало ему красноватый оттенок. В таком случае, стоит отметить, что некоторые производители для улучшения внешней привлекательности продукта прибегают к добавлению искусственных добавок, не несущих функциональных свойств. Внесение добавки не повлияло на технологический процесс: качество теста соответствовало стандарту, и его текстура не изменялась. Влияние ликопина на микробиологическую активность дрожжей оценивалось по скорости подъёма теста и показало отсутствие выраженного воздействия на данный показатель.

Результаты исследования микроструктуры теста представлены на рисунке 1. Фазовый состав исследуемой суспензии, показанный на фотографиях микроструктуры, представляет собой раствор пшеничного крахмала и белков молока с включением ликопина. Жидкой средой во всех образцах служило цельное молоко 2,5% жирности. Добавление ликопина мало повлияло на морфологию дрожжевого теста.

На фотографиях четко видно, что ликопин равномерно распределился по всей массе теста, не образуя гранул и не изменяя фазовую структуру.

Добавление ликопина в исследуемых концентрациях не оказывало негативного воздействия, а наоборот, способствовало увеличению объёма теста. Больше всего это проявлялось при минимальной используемой концентрации 5 мг/ 100гр. Увеличение объёма в этом случае составляло 17% от контрольного значения. Возможно, это связано с положительным влиянием ликопина на микробиологическую активность используемых дрожжей. В остальных концентрациях эффект проявлялся слабее – 8% в 10 мг/100 гр и 3% в 20 мг / 100 гр соответственно.



(a) (b) (c) (d)

Рисунок 1. Фотографии микроструктуры образцов дрожжевого теста с добавлением ликопина и контрольного образца: (a) – контроль; (b) – ликопин 5 мг; (c) – ликопин 10 мг; (d) – ликопин 20 мг

Figure 1. Figure 1. Photos of the microstructure of yeast dough samples with lycopene addition and the control sample: (a) – control; (b) – lycopene 5 mg; (c) – lycopene 10 mg; (d) – lycopene 20 mg

После выпекания при 200 °С готовый продукт всесторонне исследовался.

Высота поднятия теста является ключевым фактором качества готового продукта. Фотографии, сделанные после 50 минут расстойки, представлены на рисунке 3.

После охлаждения исследуемых образцов до комнатной температуры проверяли: внешний вид изделия, его цвет, состояние мякиша (пропеченность, промес, пористость), запах и вкус. Результаты оценки представлены в таблице № 1 и на радиальной диаграмме (рисунок 2).

Таблица 1.

Оценка органолептических показателей готовых хлебобулочных изделий с / без добавления ликопина

Table 1.

Evaluation of organoleptic characteristics of finished bakery products with/without added lycopene

Показатель Indicator	Контроль Control	Lic 5 мг	Lic 10 мг	Lic 20 мг
1	2	3	4	5
Внешний вид | Appearance				
Форма Shape	Округлая Rounded	Округлая Rounded	Округлая Rounded	Округлая Rounded
Поверхность Surface	Гладкая поверхность с легкой мучнистостью Smooth surface with slight flouriness	Гладкая поверхность Smooth surface	Бугристая поверхность с небольшими трещинами Rough surface with small cracks	Бугристая поверхность с большими трещинами Rough surface with large cracks
Цвет Color	Свойственный выпечным изделиям Peculiar to baked goods	Светло-желтый Light yellow	Оранжевый Orange	Оранжево-красный Orange red
Состояние мякиша | State of the crumb				
Пропеченность Bakedness	Пропечённый, не влажный на ощупь, эластичный Baked, not moist to the touch, elastic	Пропечённый, не влажный на ощупь, эластичный Baked, not moist to the touch, elastic	Пропечённый, не влажный, более плотный мякиш Baked, not moist, denser crumb	Пропечённый, не влажный, более плотный мякиш Baked, not moist, denser crumb
Промес Promes	Без комочков и следов непромеса Without lumps and traces of unmixed	Видны следы неравномерного замеса Visible traces of uneven kneading	Без комочков и следов непромеса Without lumps and traces of unmixed	Без комочков и следов непромеса Without lumps and traces of unmixed

Продолжение таблицы 1 | Continuation of table 1 |

1	2	3	4	5
Пористость Porosity	Развитая, без пустот и уплотнений Developed, without voids and seals	С мелкими порами With small pores	С включением пор большого диаметра Including large pores	С большим количеством мелких пор With many small pores
Вкус Taste	Без постороннего привкуса No foreign taste	Кисловато-дрожжевой Sour yeast	Нейтральный Neutral	Солоноватый вкус, с привкусом томата Salty taste, with a hint of tomato
Запах Smell	Дрожжевой Yeast	Дрожжевой Yeast	Дрожжевой Yeast	Дрожжевой и томатный Yeast and tomato
Экспертный балл Expert score	9	8	7	8

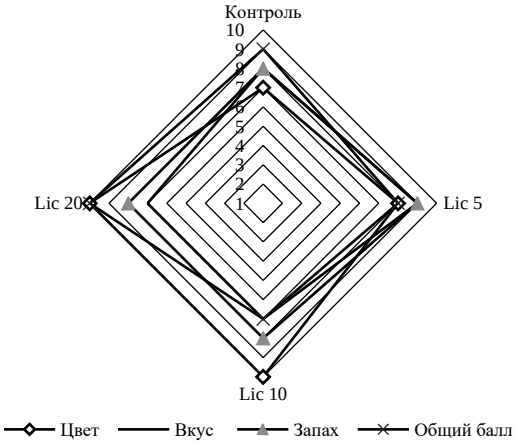


Рисунок 2. Радиальная диаграмма органолептических показателей хлебобулочных изделий

Figure 2. Radial diagram of organoleptic indicators of bakery products

По результатам органолептической оценки в таблице 1 и на рисунке 2 показаны экспертные баллы для различных характеристик белых булочек (контроль) и булочек с добавлением ликопина. Все виды булочек были приемлемыми, хотя участники дискуссии предпочли белые изделия без добавок, которые получили наивысший балл за общую приемлемость.

Для оценки потребительских свойств было привлечено 12 дегустаторов, задачей которых было объективно оценить органолептические свойства булочек с добавлением ликопина и дать экспертную оценку готовым изделиям.

Выявлены низкие показатели качества для изделий с добавлением 10 мг ликопина, вероятно, из-за заметных различий в цвете, вкусе и запахе этих булочек. Было установлено, что изделия с добавлением 5 мг ликопина являются более приемлемыми по сравнению с булочками с добавлением 10 мг ликопина из-за более традиционного вкуса. Различия в цвете были замечены как в мякише, так и в корке, причем все три вида изделий с добавками имели различный оттенок по сравнению с контрольным продуктом (от желтого до оранжево-красного) (рисунок 4). Кроме того, более темный цвет корки можно отнести к красновато-коричневому цвету жидкого ликопина и более частому возникновению реакций Майяра между восстанавливающими сахарами и аминокислотами.



(a)



(b)



(c)

Рисунок 3. Выпечные изделия до и после термической обработки: (a) – образцы теста, включая опытные и контрольную группы; (b) – образцы после термической обработки; (c) – поперечный срез выпечных изделий

Figure 3. Baked products before and after heat treatment: (a) – samples of dough, including experimental and control groups; (b) – samples after heat treatment; (c) – cross-section of baked products

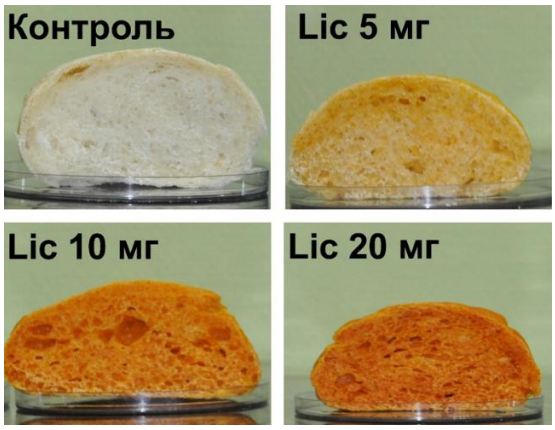


Рисунок 4. Состояние мякиша полученных выпечных изделий

Figure 4. Condition of the crumb of the obtained baked products

Из литературных данных известно, что ликопин ингибирует рост патогенных микроорганизмов – Listeria monocytogenes, Salmonella spp [22, 23]. Для проверки данного заключения готовые изделия хранились в течение 7 дней при комнатной температуре. В процессе наблюдения за изделиями признаков порчи не наблюдалось.

Не было обнаружено значительных различий между контрольными образцами и образцами с добавками по всем сенсорным характеристикам. Цвет мякиша и вкус, по-видимому, являются причинами, по которым эксперты считают булочки с добавлением ликопина в низких концентрациях более предпочтительными.

Заключение

Проведенный эксперимент подтверждает возможность использования натурального функционального пищевого ингредиента ликопина в качестве сильнейшего антиоксиданта и пигмента каротиноидной природы для изготовления хлебобулочных изделий. Включение в состав данных выпечных изделий ликопина в количестве 20 мг на 100 г. теста обеспечивало не только насыщенный оранжевый цвет, но и обогащало их необходимыми витаминами и пищевыми волокнами. Добавление ликопина в количестве 5 мг на 100 г. теста повышало микробиологическую активность дрожжей, что проявлялось в лучшем подъеме теста и положительно сказывалось на качестве готового продукта. Экстракт ликопина равномерно распределялся по всему объему тестовой суспензии, не нарушая его реологических свойств. Ряд экспертов отмечали высокую привлекательность готового продукта с высоким содержанием ликопина.

По мнению авторов, хлебобулочные изделия с добавлением 5 мг ликопина являются оптимальными и могут быть рекомендованы для употребления взрослыми людьми в составе ежедневных рационов при сердечно-сосудистых заболеваниях, когнитивных нарушениях, заболеваниях глаз и воспалительных патологиях желудочно-кишечного тракта, а также при воздействии стрессовых факторов различной природы.

Литература

1 Япаров А.Э. и др. Влияние ликопина и других каротиноидов на когнитивную функцию // Международный студенческий научный вестник. 2020. №. 3. С. 59–59.

2 Кирпиченкова Е.В. и др. Гигиеническая оценка основных пищевых источников и уровней поступления ликопина у мужчин и женщин // Вопросы питания. 2018. Т. 87. №. 5.

3 Visioli F., Riso P., Grande S., Galli C. et al. Protective activity of tomato products on in vivo markers of lipid oxidation // Eur J Nutr. 2003. V. 42. № 4. P. 201–206. doi: 10.1007/s00394-003-0415-5

4 Дадали В.А., Тутельян В.А., Дадали Ю.В., Кравченко Л.В Каротиноиды. Биологическая активность // Вопросы питания. 2011. Т. 80. № 4. С. 4–18.

5 Zeng J., Zhao J., Dong B., Cai X. et al. Lycopene protects against pressure overload-induced cardiac hypertrophy by attenuating oxidative stress // J. Nutr. Biochem. 2019. V. 66. P. 70–78. doi: 10.1016/j.jnutbio.2019.01.002

6 Dawood M.A.O., Abdel-Tawwab M., Abdel-Latif H.M.R. Lycopene reduces the impacts of aquatic environmental pollutants and physical stressors in fish // Reviews in Aquaculture. 2020. V. 12. №. 4. P. 2511–2526. doi: 10.1111/raq.12455

7 Dherani M. Blood levels of vitamin C, carotenoids and retinol are inversely associated with cataract in a North Indian population // Invest Ophthalmol Vis Sci. 2008. V. 49. №. 8. P. 3328-3335. doi: 10.1167/iovs.07-1202

8 Белоус И.В., Гиро Т.М. Технологические улучшители и сырьевые добавки: краткий курс лекций. 2018.

9 Arballo J., Amengual J., Erdman J.W. Lycopene: A critical review of digestion, absorption, metabolism, and excretion // Antioxidants. 2021. V. 10. №. 3. P. 342. doi: 10.3390/antiox10030342

10 Гаджиева А.М., Алиева М.Г., Резникова Ю.В. Свойства ликопина как природного антиоксиданта // Неделя науки-2017. 2017. С. 200–202.

11 Marzocco S., Singla R.K., Capasso A. Multifaceted effects of lycopene: a boulevard to the multitarget-based treatment for cancer // Molecules. 2021. V. 26. №. 17. P. 5333. doi: 10.3390/molecules26175333

12 Тукова А.А. Разработка рецептуры мясного продукта для лечебно-профилактического питания с использованием антиоксиданта ликопин // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2019. №. 21. С. 263–266.

13 Saini R.K. et al. Chemical stability of lycopene in processed products: a review of the effects of processing methods and modern preservation strategies // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2019. V. 68. №. 3. P. 712–726. doi: 10.1021/acs.jafc.9b06669

14 Marzocco S., Singla R.K., Capasso A. Multifaceted effects of lycopene: a boulevard to the multitarget-based treatment for cancer // Molecules. 2021. V. 26. №. 17. P. 5333. doi: 10.3390/molecules26175333

15 Мартынович А.Д. Использование природного биоантиоксиданта ликопина в производстве полуфабрикатов из мяса птицы // Новая экономика, бизнес и общество. 2017. С. 901–904.

16 Симаков Ю.Г., Ливинская С.А., Смородинская С.В., Пурцхванидзе В.А. Оценка микроядерным тестом стабильности генома школьников при их различных пищевых предпочтениях // Товаровед продовольственных товаров. 2021. №. 2. С. 138-142.

17 Шевченко Н.П. и др. Функциональные продукты питания: от теории к практике. 2020.

18 Жаркова А.Ю., Алпацкая Е.Г. Экологические проблемы Челябинской области и пути их решения // Печатается по решению редакционно-издательского совета Челябинского государственного университета. 2018. С. 65.

19 Seidel C. et al. Influence of prebiotics and antioxidants in bread on the immune system, antioxidative status and antioxidative capacity in male smokers and non-smokers // British Journal of Nutrition. 2007. V. 97. №. 2. P. 349–356. doi: 10.1017/S0007114507328626

20 European Food Safety Authority. Revised exposure assessment for lycopene as a food colour // EFSA Journal. 2010. V. 8. №. 1. P. 1444. doi: 10.2903/j.efsa.2010.1444

21 Nour V., Ionica M.E., Trandafir I. Bread enriched in lycopene and other bioactive compounds by addition of dry tomato waste // Journal of food science and technology. 2015. V. 52. №. 12. P. 8260–8267. doi: 10.1007/s13197-015-1934-9

22 Ситун Н.В. и др. Бактериостатические свойства пищевой добавки ликопин // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности. 2016. С. 498–499.

23 МР 2.3.1.1915–04. Методические рекомендации. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ. М.: 2004, 36 с.

References

1 Yaparov A.E. et al. Effect of lycopene and other carotenoids on cognitive function. International Student Scientific Bulletin. 2020. no. 3. pp. 59–59. (in Russian).

2 Kirpichenkova E.V. et al. Hygienic assessment of the main food sources and intake levels of lycopene in men and women. Questions of Nutrition. 2018. no. 87(5). (in Russian)

3 Visioli F., Riso P., Grande S., Galli C. et al. Protective activity of tomato products on in vivo markers of lipid oxidation. Eur J Nutr. 2003. vol. 42. no. 4. pp. 201–206. doi: 10.1007/s00394-003-0415-5

4 Dadali V.A., Tutelyan V.A., Dadali Yu.V., Kravchenko L.V. Carotenoids. Biological activity. Issues of nutrition. 2011. vol. 80. no. 4. pp. 4–18. (in Russian).

5 Zeng J., Zhao J., Dong B., Cai X. et al. Lycopene protects against pressure overload-induced cardiac hypertrophy by attenuating oxidative stress. J. Nutr. Biochem. 2019. vol. 66. pp. 70–78. doi: 10.1016/j.jnutbio.2019.01.002

6 Dawood M.A.O., Abdel-Tawwab M., Abdel-Latif H.M.R. Lycopene reduces the impacts of aquatic environmental pollutants and physical stressors in fish. Reviews in Aquaculture. 2020. vol. 12. no. 4. pp. 2511–2526. doi: 10.1111/raq.12455

7 Dherani M. Blood levels of vitamin C, carotenoids and retinol are inversely associated with cataract in a North Indian population. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2008. vol. 49. no. 8. pp. 3328-3335. doi: 10.1167/iovs.07-1202

8 Belous I.V., Giro T.M. Technological improvers and raw material additives: a short course of lectures. 2018. (in Russian).

9 Arballo J., Amengual J., Erdman J.W. Lycopene: A critical review of digestion, absorption, metabolism, and excretion. Antioxidants. 2021. vol. 10. no. 3. pp. 342. doi: 10.3390/antiox10030342

10 Gadzhieva A.M., Alieva M.G., Reznikova Yu.V. Properties of lycopene as a natural antioxidant. Science Week 2017. 2017. pp. 200–202. (in Russian).

11 Marzocco S., Singla R.K., Capasso A. Multifaceted effects of lycopene: a boulevard to the multitarget-based treatment for cancer. Molecules. 2021. vol. 26. no. 17. pp. 5333. doi: 10.3390/molecules26175333

12 Tukova A.A. Development of a recipe for a meat product for therapeutic and preventive nutrition using the antioxidant lycopene. Actual issues of improving the technology of production and processing of agricultural products. 2019. no. 21. pp. 263–266. (in Russian).

13 Saini R.K. et al. Chemical stability of lycopene in processed products: a review of the effects of processing methods and modern preservation strategies. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2019. vol. 68. no. 3. pp. 712–726. doi: 10.1021/acs.jafc.9b06669

14 Marzocco S., Singla R.K., Capasso A. Multifaceted effects of lycopene: a boulevard to the multitarget-based treatment for cancer. Molecules. 2021. vol. 26. no. 17. pp. 5333. doi: 10.3390/molecules26175333

15 Martynovich A.D. The use of natural bioantioxidant lycopene in the production of semi-finished products from poultry meat. New Economics, Business and Society. 2017. pp. 901–904. (in Russian).

16 Simakov Yu.G., Livinskaya S.A., Smorodinskaya S.V., Purtskhvanidze V.A. Evaluation of schoolchildren's genome stability by micronucleus test with their different food preferences. 2021. no. 2. pp. 138-142. (in Russian).

17 Shevchenko N.P. Functional food products: from theory to practice. 2020. (in Russian).

18 Zharkova A.Yu., Alpatskaya E.G. Ecological problems of the Chelyabinsk region and ways to solve them. Published by decision of the editorial and publishing council of the Chelyabinsk State University. 2018. pp. 65. (in Russian).

19 Seidel C. et al. Influence of prebiotics and antioxidants in bread on the immune system, antioxidative status and antioxidative capacity in male smokers and non-smokers. British Journal of Nutrition. 2007. vol. 97. no. 2. pp. 349–356. doi:10.1017/S0007114507328626

20 European Food Safety Authority. Revised exposure assessment for lycopene as a food colour. EFSA Journal. 2010. vol. 8. no. 1. pp. 1444. doi: 10.2903/j.efsa.2010.1444

21 Nour V., Ionica M.E., Trandafir I. Bread enriched in lycopene and other bioactive compounds by addition of dry tomato waste. Journal of food science and technology. 2015. vol. 52. no. 12. pp. 8260–8267. doi: 10.1007/s13197-015-1934-9

22 Situn N.V. Bacteriostatic properties of the food additive lycopene. Technologies and equipment of the chemical, biotechnological and food industries. 2016. pp. 498–499. (in Russian).

23 MR 2.3.1.1915–04. Guidelines. Recommended levels of consumption of food and biologically active substances. Moscow, 2004. 36 p. (in Russian).

Сведения об авторах

Светалана В. Смородинская аспирант, факультет биотехнологий и рыбного хозяйства, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной Вал, 73, Москва, 109004, Россия, kler.smo@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-6490-0954

Вера А. Грибкова к.т.н., доцент, факультет пищевых технологий и биоинженерии, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной Вал, 73, Москва, 109004, Россия, v.gribkova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5079-8132

Александр Е. Алексеев проректор по экономическому развитию региональной сети, экономический департамент, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной Вал, 73, Москва, 109004, Россия, alekseevae@mgutm.ru
https://orcid.org/0000-0001-6832-3513

Ирина А. Глебова доцент, факультет биотехнологий и рыбного хозяйства, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной Вал, 73, Москва, 109004, Россия, i.glebova@mgutm.ru
https://orcid.org/0000-0001-8626-2357

Information about authors

Svetlana V. Smorodinskaya graduate student, biotechnology and fisheries department, Moscow State University of Technology and Management K.G. Razumovsky (First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, 109004, Moscow, Russia, kler.smo@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-6490-0954

Vera A. Gribkova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food technology and bioengineering faculty, Moscow State University of Technology and Management K.G. Razumovsky (First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, 109004, Moscow, Russia, v.gribkova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5079-8132

Alexander E. Alekseev vice-rector for economic development of the regional network, economics department, Moscow State University of Technology and Management K.G. Razumovsky (First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, 109004, Moscow, Russia, alekseevae@mgutm.ru
https://orcid.org/0000-0001-6832-3513

Irina A. Glebova associate professor, biotechnology and fisheries faculty, Moscow State University of Technology and Management K.G. Razumovsky (First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, 109004, Moscow, Russia, i.glebova@mgutm.ru
https://orcid.org/0000-0001-8626-2357

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 20/04/2022	**После редакции** 13/05/2022	**Принята в печать** 03/06/2022
Received 20/04/2022	**Accepted in revised** 13/05/2022	**Accepted** 03/06/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-101-109 Оригинальная статья/Research article
УДК 615.076.7 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Влияние биологически активных веществ тимьяна обыкновенного (*Thymus vulgaris L.*) на рост дрожжевых клеток

Анастасия М. Федорова [1] anastasija.fedorova-af2014@ya.ru 0000-0002-8071-4411
Маргарита Ю. Дроздова [1] drozdowa.margarita.00@ya.ru 0000-0002-9499-9470
Ирина С. Милентьева [1] irazumnikova@mail.ru 0000-0002-3536-562X
Варвара И. Минина [1] vminina@mail.ru 0000-0003-3485-9123

1 Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия

Аннотация. Продление продолжительности жизни и улучшение фенотипов, непосредственно связанных с процессом старения, были объектами многих исследований. Некоторые из известных методов увеличения продолжительности жизни, включая ограничения рациона питания и генетические манипуляции, трудно применить ко всем людям, также их побочные эффекты трудно предсказать. Именно по данной причине становится важно найти те биологически активные соединения, которые могут выступать как антивозрастные средства или могут индуцировать продление жизни за счет различных процессов метаболизма внутри клетки. Лекарственное растение СФО тимьян обыкновенный (*Thymus vulgaris* L.) является источником многих активных соединений, которые могут повлиять на биомассу дрожжей. Настоящие исследование проведено для оценки влияния биологически активных соединений экстракта каллусной культуры *Thymus vulgaris* L., высушенного с помощью распылительного высушивания при разных температурных режимах (60 ℃, 90 ℃, 120 ℃), на рост экспериментальной модели *Saccharomyces cerevisiae* Y-564. Антивозрастной эффект сухого экстракта каллусной культуры *Thymus vulgaris* L. с концентрацией 0,25 мг/мл, 0,50 мг/мл и 1,00 мг/мл на модельном организме дрожжей оценивали с помощью увеличения биомассы дрожжевых клеток. Результаты исследований показали, что наилучший вариант влияния ростовых свойств биомассы дрожжевой суспензии *S. cerevisiae* Y-564 показал экстракт каллусной культуры *Thymus vulgaris* L., высушенный при температуре 90 ℃, с концентрацией 0,50 мг/мл. Именно при таких условиях наблюдался стимулирующий прирост биомассы тест-культуры. Данные результаты настоящего исследования дают новые представления о механизмах, с помощью которых биологически активные соединения, извлеченные из каллусной культуры *Thymus vulgaris* L., могут замедлять процесс старения.

Ключевые слова: Thymus vulgaris L., каллусные культуры, Saccharomyces cerevisiae, антивозраствное средство, биологически активные вещества.

The effect of biologically active substances of thyme (*Thymus vulgaris L.*) on the growth of yeast cells

Anastasia M. Fedorova [1] anastasija.fedorova-af2014@ya.ru 0000-0002-8071-4411
Margarita Yu. Drozdova [1] drozdowa.margarita.00@ya.ru 0000-0002-9499-9470
Irina S. Milentyeva [1] irazumnikova@mail.ru 0000-0002-3536-562X
Varvara I. Minina [1] vminina@mail.ru 0000-0003-3485-9123

1 Kemerovo State University, Krasnaya str., 6, Kemerovo, 650000, Russia

Abstract. Prolongation of life expectancy and improvement of phenotypes directly related to the aging process have been the objects of many studies. Some of the known methods of increasing life expectancy, including dietary restrictions and genetic manipulation, are difficult to apply to all people, and their side effects are difficult to predict. It is for this reason that it becomes important to find those biologically active compounds that can act as anti-aging agents or can induce prolongation of life due to various metabolic processes inside the cell. The medicinal plant SFO thyme (*Thymus vulgaris* L.) is a source of many active compounds that can affect life expectancy. The present study was conducted to evaluate the effect of biologically active compounds of the extract of the callus culture of *Thymus vulgaris* L., dried by spray drying at different temperature conditions (60 ℃, 90 ℃, 120 ℃), on the growth of the experimental model *Saccharomyces cerevisiae* Y-564. Anti-aging effect of dry extract of callus culture *Thymus vulgaris* L. with concentrations of 0.25 mg/ml, 0.50 mg/ml and 1.00 mg/ml on a model yeast organism, the yeast cells were evaluated by increasing the biomass of yeast cells. The results of the studies showed that the best variant of the effect of the growth properties of the biomass of the yeast suspension *S. cerevisiae* Y-564 showed an extract of the callus culture *Thymus vulgaris* L., dried at a temperature of 90 ℃, with a concentration of 0.50 mg / ml. It was under such conditions that a stimulating increase in the biomass of the test culture was observed. These results of this study provide new insights into the mechanisms by which biologically active compounds extracted from the callus culture of *Thymus vulgaris* L. can slow down the aging process.

Keywords: Thymus vulgaris L., callus cultures, Saccharomyces cerevisiae, anti-aging agent, biologically active substances..

Для цитирования

Федорова А.М, Дроздова М.Ю., Милентьева И.С., Минина В.И. Влияние биологически активных веществ тимьяна обыкновенного (Thymus vulgaris L.) на рост дрожжевых клеток // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 101–109. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-101-109

For citation

Fedorova A.M., Drozdova M.Yu., Milentyeva I.S., Minina V.I. The effect of biologically active substances of thyme (Thymus vulgaris L.) on the growth of yeast cells. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 101–109. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-101-109

© 2022, Федорова А.М и др. / Fedorova A.M..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 население пожилого возраста увеличивается во всем мире. Прогнозируют, что людей с возрастом старше 60 лет станет около двух миллиардов к 2050 году. Несмотря на то, что количество людей в пожилом возрасте растет, сам процесс старения описывают как постепенную утрату физиологического контроля, при котором происходят различные нарушения в организме: появление мутаций в геноме, дисфункции теломер, повреждение белковых молекул, митохондриальная дисфункция, клеточное старение. В результате этого возникает риск различных заболеваний, среди которых сердечно-сосудистые и нейродегенеративные, а также рак [1].

Изменять клеточные процессы, а также повреждать ДНК способны активные формы кислорода (АФК), которые накапливаются в процессе старения. К таким формам кислорода относят супероксид (O_2-), пероксид водорода (H_2O_2), пероксильный радикал (OH^-), перекиси липидов. Небольшое их количество способствует регулированию клеточной передаче сигналов. При различных сбоях в организме происходит их увеличение, которые негативно влияют на функции белка, изменяя цепи аминокислот [2]. Данный процесс, при котором антиоксидантная система организма не может подавить рост свободных избыточных радикалов, назвали окислительным стрессом.

Снижение окислительного стресса можно осуществлять с помощью антиоксидантов синтетического и природного происхождения, при этом использование синтетических антиоксидантов нежелательно, в связи с побочными эффектами. Среди экзогенных антиоксидантов самыми известными являются витамин С (аскорбиновая кислота), витамин Е, полифенолы, а также каротиноиды. Данные вещества содержатся в различных фруктах и овощах, крупах и других продуктах [3]. В последние годы традиционные лекарственные растения становятся популярными источниками биологически активных веществ (БАВ) с антиоксидантными свойствами. При этом из растений извлекают как индивидуальные вещества, так и комплексы (экстракты) [4].

Растительное сырье Сибирского федерального округа (СФО) является потенциальным источником антиоксидантных БАВ, которые могут помочь в борьбе с АФК. Так, лекарственное растение тимьян обыкновенный (*Thymus vulgaris L.*) содержит в себе ряд вторичных метаболитов, обладающих антиоксидантными свойствами. Тимьян обыкновенный (*Thymus vulgaris L.*) имеет широкое применение в пищевой, косметической и фармацевтической промышленности. Лекарственное растение тимьян обыкновенный (*Thymus vulgaris L.*) содержит в себе: эфирное масло (примерно 0,6%), в состав которого входит тимол (до 42%), карвакрол, n-цимол, α-терпинеол, борнеол, гераниол [5]; дубильные вещества; горечи; камедь; тритерпеновые соединения – урсоловая и олеаноловая кислоты; флавоноиды – апигенин (2,770 мг/г), нарингенин (0,121 мг/г), цинарозид, космоссиин, скутеллярин; минеральные соли; пигменты – зеаксантин, лютеин, лютеолин (0,84 мг/г) [6]; сахара – глюкозу, галактозу, арабинозу, рамнозу, ксилозу, глюкуроновая кислота, галактуроновая кислота [7]; аминокислоты – цистин, аланин, лейцин; жирные кислоты – пальмитиновая, линолевая, линоленовая кислоты; органические кислоты – лимонная, яблочная, малоновая, щавелевая кислоты [8, 9]. Также экстракты на основе тимьяна обыкновенного (*Thymus vulgaris L.*) имеют галловую, гидроксибензойную, хлорогеновую, сиринговую, кумаровую, бензойную, коричную и розмариновую кислоту. Благодаря наличию данных веществ тимьян обыкновенный (*Thymus vulgaris L.*) обладает противовоспалительной, антимикробной, болеутоляющей и антиоксидантной активностью.

На сегодняшний день существуют экспериментальные модели, такие как нематоды (*Caenorhabditis elegans*), плодовые мухи (*Drosophila melanogaster*), дрожжи (*Saccharomyces cerevisiae*), короткоживущие рыбы (*Nothobranchius furzeri*) или грызуны (мыши и крысы), которые позволяют изучить влияние биологически активных веществ растительного происхождения на процесс старения [10]. Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* являются часто изучаемыми, при этом легко анализируемыми простейшими эукариотами, обеспечивающие понимание молекулярных путей, которые лежат в основе некоторых нейродегенеративных расстройств человеческого организма, а также одной из наиболее широко используемых модельных систем для изучения процесса старения [11]. Из-за достаточно продолжительной человеческой жизни человека и неизвестных побочных эффектов потенциальных омолаживающих соединений, почкование дрожжей является полезной отправной точкой для исследования долголетия. Кроме того, *S. cerevisiae* имеет относительно короткую и легко измеримую продолжительность жизни [12].

Поскольку антивозрастные химические вещества воспринимаются как кратчайший путь к долгой и здоровой жизни, на протяжении десятилетий было выявлено и изучено бесчисленное множество соединений на предмет их потенциальных свойств. Главной целью настоящего исследования является изучение непосредственное влияние биологически активных соединений, полученных из биомассы каллусной культуры тимьяна обыкновенного (*Thymus vulgaris L.*), на рост дрожжевых клеток S. *cerevisiae*.

Материалы и методы

Объектом исследования служил высушенный экстракт каллусной культуры тимьяна обыкновенного (*Thymus vulgaris L.*). Биомассу каллусной культуры тимьяна обыкновенного выращивали в условиях *in vitro* на плотных питательных средах следующего минерального и гормонального состава: макросоли B5 × 20–50,00 мл; микросоли B5 – 10,00 мл; Fe-ЭДТА – 5,00 мл; тиамин – 10,00 мг; пиридоксин – 1,00 мг; никотиновая кислота – 1,00 мг; сахароза – 30,00 г.; инозит – 100,00 мг; кинетин – 2,00 мг; 6-бензиламинопурин – 0,10 мг; р-индолилуксусная кислота – 2,00 мг; 2,4 – дихлорфеноксиуксусная кислота – 2,00 мг; агар – 20,00 г.; дистиллированная вода – 1000 мл. Цикл выращивания каллусной культуры *Thymus vulgaris L.* составлял 4–5 недель.

Экстракт получали методом водно-спиртовой экстракции при обработки измельчённой биомассы каллусной культуры *Thymus vulgaris L.* до 1 мм 70% этиловым спиртом в течение 4 ч при температуре 70 °С, для экстракции использовали водяную баню (Elmasonic S60H, Германия) с восходящим холодильником в соотношение растительное сырье / экстрагент: 1:86. Высушивание экстракта осуществлялось на распылительной сушилке Mini 51 Spray Dryer B-290 (Buchi, Швейцария) при температурных режимах 60 °С, 90 °С и 120 °С, скорости потока воздуха (аспирации) 100 $м^3$/ч и скорости подачи раствора в распылительную установку 7 мл/мин.

Рассматривали количественное содержание биологически активных соединений сухого водно-спиртового экстракта каллусной культуры тимьяна обыкновенного (*Thymus vulgaris L.*). Для этого применяли высоко-эффективную жидкостную хроматографию (ВЭЖХ). Анализ проводили на жидкостном хроматографе (LC-20 Shimadzu Prominence, Япония). Использовалась хроматографическая колонка Kromasil 5 мкм C18, 250 • 4,6 мм; предколонка Security Guard Gartridge (C18) Phenomenex (США), объём инжекции 20 мкл. Температура колонки составляла 30 °С Режим элюирования изократический, ПФ состоит – AcCN: ИПС : H_2O – H_3PO_4 (20:5:75 pH 3,5). Пробу готовили путем проведения гидролиза сухого экстракта в соляной кислоте (1,5 М). Для гидролиза сухого экстракта, высушенного при 60 °С брали 1,0 г, для 90 и 120 °С – 0,1 г. Гидролиз сухих экстрактов проводили на водяной бане в течение 1 ч, используя обратный холодильник. После pH гидролизатов доводили до нейтральной среды раствором гидроксида натрия.

Для оценки влияния биологически активных веществ сухого экстракта каллусной культуры тимьяна обыкновенного (*Thymus vulgaris L.*) на рост дрожжевых клеток применяли метод оценки прироста биомассы модельного организма *Saccharomyces cerevisiae*, используя показатели оптической плотности суспензионных культур [13]. В качестве модельного организма применяли штамм *Saccharomyces cerevisiae* Y-564. Штамм получен из ВКПМ ФГУП ГосНИИГенетика, Россия и предварительно выращен на питательной среде YEPD при температурном режиме 30 °С в течение 24 ч. Рост биомассы *Saccharomyces cerevisiae* Y-564 контролировали в кварцевых кюветах спектрофотометра UV 1800 (Shimadzu, Япония). Культивирование штамма дрожжей осуществлялось при температуре 30 °С, оптической плотности 600 нм, в аэробных условиях с интервалом 1 ч, продолжительностью 72 ч и различной вариации концентрации экстракта каллусной культуры тимьяна обыкновенного (*Thymus vulgaris L.*) – 0,25 мг/мл, 0,50 мг/мл и 1,00 мг/мл. Доза внесения экстрактов каллусной культуры тимьяна обыкновенного (*Thymus vulgaris*) в суспензионную культуру дрожжей составляла 1%.

Результаты и обсуждения

Результаты изучения количественного и качественного состава биологически активных веществ в сухом экстракте каллусной культуры *Thymus vulgaris L.* при различной вариации температурного режима высушивания экстракта (60; 90 и 120 °С), представлены на рисунках 1–3 и таблицах 1–3.

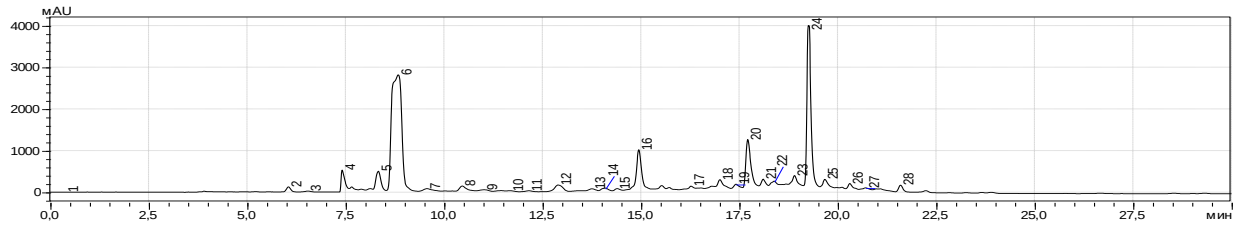


Рисунок 1. ВЭЖХ хроматограмма экстракта каллусной культуры *Thymus vulgaris* L., высушенного при 60 °С: 4 – галловая кислота, 6 – апигенин-7-глюкозид, 8 – 3,4-диметоксибензойная кислота, 16 – кофейная кислота, 17 – хлорогеновая кислота, 24 – апигенин, 26 – тимол, 27 – карвакрол, 28 – кемпферол-d-глюкозид

Figure 1. HPLC chromatogram of *Thymus vulgaris L.* callus culture extract dried at 60 °C: 4 – gallic acid, 6 – apigenin-7-glucoside, 8 – 3,4-dimethoxybenzoic acid, 16 – caffeic acid, 17 – chlorogenic acid, 24 – apigenin, 26 – thymol, 27 – carvacrol, 28 – kaempferol-d-glucoside

Таблица 1.

Компонентный состав экстракта каллусной культуры *Thymus vulgaris L.* по данным ВЭЖХ (60 °С)

Table 1.

Component composition of *Thymus vulgaris L.* callus culture extract according to HPLC data (60 °C)

№ пика Peak number	Время удерживания, мин Holding time, min	Наименование компонента Name of the component	Количественное содержание, мг/г Quantitative content, mg/g
4	7,46	Галловая кислота | Gallic acid	0,546 ± 0,56
6	8,84	Апигенин-7-глюкозид | Apigenin 7 glucoside	4,064 ± 0,28
8	10,46	3,4-диметоксибензойная кислота | 3,4-dimethoxybenzoic acid	0,303 ± 0,12
16	14,96	Кофейная кислота | Caffeic acid	1,269 ± 0,89
17	16,27	Хлорогеновая кислота | Chlorogenic acid	0,222 ± 0,11
24	19,26	Апигенин | Apigenin	2,490 ± 0,39
26	20,31	Тимол | Thymol	0,221 ± 0,27
27	21,20	Карвакрол | Carvacrol	0,163 ± 0,23
28	21,59	Кемпферол-d-глюкозид | Kaempferol-d glucoside	0,146 ± 0,87

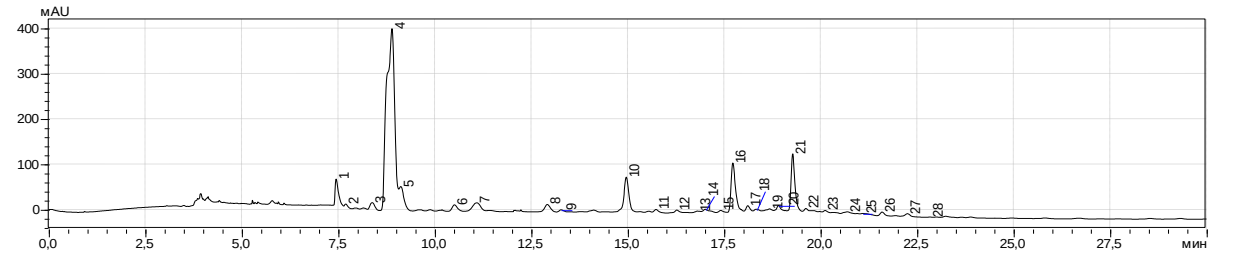


Рисунок 2. ВЭЖХ хроматограмма экстракта каллусной культуры *Thymus vulgaris* L., высушенного при 90 °С: 1 – галловая кислота, 4 – апигенин-7-глюкозид, 6 – 3,4-диметоксибензойная кислота, 10 – кофейная кислота, 12 – хлорогеновая кислота, 21 – апигенин, 23 – тимол, 24 – карвакрол, 26 – кемпферол-d-глюкозид

Figure 2. HPLC chromatogram of *Thymus vulgaris L.* callus culture extract dried at 90 °C: 1 – gallic acid, 4 – apigenin-7-glucoside, 6 – 3,4-dimethoxybenzoic acid, 10 – caffeic acid, 12 – chlorogenic acid, 21 – apigenin, 23 – thymol, 24 – carvacrol, 26 – kaempferol-d-glucoside

Таблица 2.

Компонентный состав экстракта каллусной культуры *Thymus vulgaris L.* по данным ВЭЖХ (90 °С)

Table 2.

Component composition of *Thymus vulgaris L.* callus culture extract according to HPLC data (90 °C)

№ пика Peak number	Время удерживания, мин Holding time, min	Компонент Component	Содержание, мг/г Content, mg/g
1	7,48	Галловая кислота | Gallic acid	0,759 ± 0,81
4	8,90	Апигенин-7-глюкозид | Apigenin 7 glucoside	9,058 ± 0,14
6	10,51	3,4-диметоксибензойная кислота | 3,4-dimethoxybenzoic acid	0,215 ± 0,29
10	14,97	Кофейная кислота | Caffeic acid	1,358 ± 0,58
12	16,28	Хлорогеновая кислота | Chlorogenic acid	0,278 ± 0,27
21	18,91	Апигенин | Apigenin	2,176 ± 0,02
23	19,62	Тимол | Thymol	0,043 ± 0,78
24	20,12	Карвакрол | Carvacrol	0,230 ± 0,93
26	21,10	Кемпферол-d-глюкозид | Kaempferol-d glucoside	0,450 ± 0,22

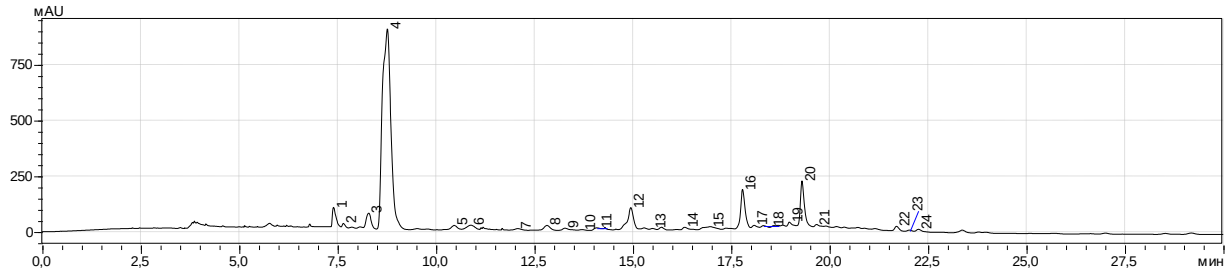


Рисунок 3. ВЭЖХ хроматограмма экстракта каллусной культуры *Thymus vulgaris* L., высушенного при 120 ℃: 1 – галловая кислота, 4 – апигенин-7-глюкозид, 5 – 3,4-диметоксибензойная кислота, 12 – кофейная кислота, 14 – хлорогеновая кислота, 20 – апигенин, 22 – кемпферол-d-глюкозид

Figure 3. HPLC chromatogram of *Thymus vulgaris L.* callus culture extract dried at 120 ℃: 1 – gallic acid, 4 – apigenin-7-glucoside, 5 – 3,4-dimethoxybenzoic acid, 12 – caffeic acid, 14 – chlorogenic acid, 20 – apigenin, 22 – kaempferol-d-glucoside

Таблица 3.

Компонентный состав экстракта каллусной культуры *Thymus vulgaris L.* по данным ВЭЖХ (120 ℃)

Table 3.

Component composition of *Thymus vulgaris L.* callus culture extract according to HPLC data (120 °C)

№ пика Peak number	Время удерживания, мин Holding time, min	Компонент Component	Содержание, мг/г Content, mg/g
1	7,35	Галловая кислота | Gallic acid	0,125 ± 0,10
4	8,77	Апигенин-7-глюкозид | Apigenin 7 glucoside	11,505 ± 0,65
5	10,46	3,4-диметоксибензойная кислота | 3,4-dimethoxybenzoic acid	0,161 ± 0,07
12	14,95	Кофейная кислота | Caffeic acid	0,806 ± 0,27
14	16,32	Хлорогеновая кислота | Chlorogenic acid	0,053 ± 0,55
20	19,30	Апигенин | Apigenin	1,183 ± 0,27
22	21,70	Кемпферол-d-глюкозид | Kaempferol-d glucoside	0,107 ± 0,13

Исходя из проведенного хроматографического анализа видно, что максимальное количество биологически активных веществ сосредоточенно в экстракте *Thymus vulgaris L.*, высушенного при 60 и 90 ℃. Также хроматографический анализ показал наличие широкого содержания биологически активных веществ, которые могут способствовать росту биомассы дрожжей: галловая, хлорогенновая и кофейная кислота и флавоноид – апегенин и его производные.

Результаты анализа влияния БАВ сухого экстракта каллусной культуры *Thymus vulgaris L.* на рост дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae* Y-564 при различных температурных параметрах распылительного высушивания (60; 90; 120 ℃) представлены на рисунках 4–6.

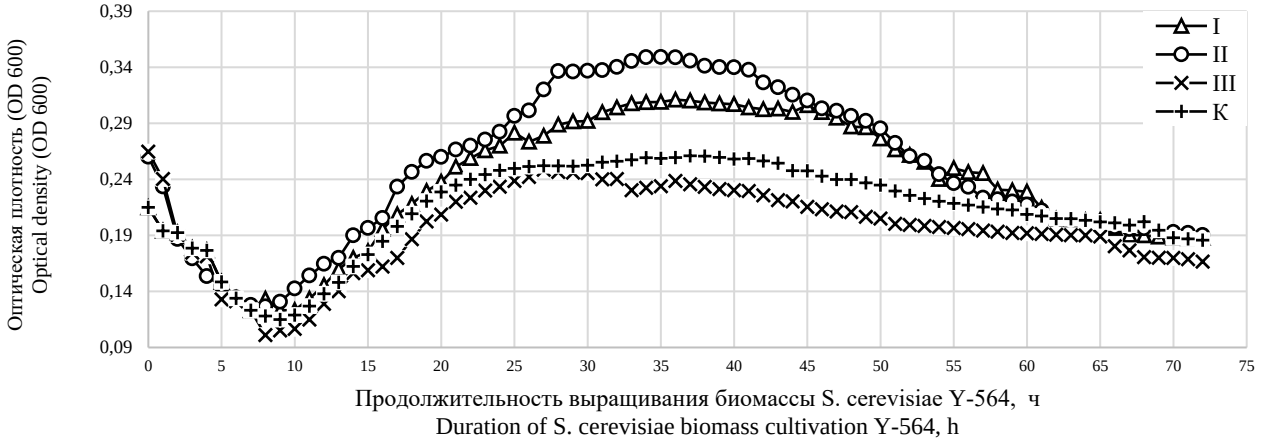


Рисунок 4. Изменение значения оптической плотности (OD) дрожжевой суспензии *S. cerevisiae Y-564* во времени при разных значениях концентрации сухого экстракта каллусной культуры тимьяна обыкновенного (*Thymus vulgaris* L.), высушенного при 60 ℃: I – 0,25 мг/мл; II – 0,50 мг/мл; III – 1,00 мг/мл; К – контроль – 0,00 мг/мл

Figure 4. Change in the optical density (OD) of S. cerevisiae Y-564 yeast suspension over time at different concentrations of dry extract of callus culture of thyme (Thymus vulgaris L.) dried at 60 °C: I – 0.25 mg/ml; II – 0.50 mg/ml; III – 1.00 mg/ml; K – control – 0.00 mg/ml

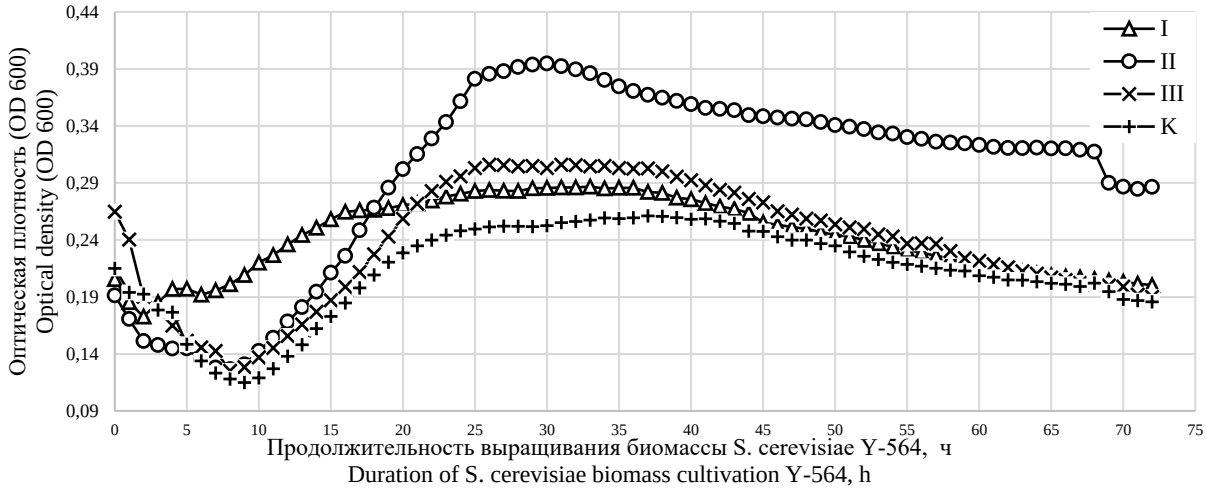


Рисунок 5. Изменение значения оптической плотности (OD) дрожжевой суспензии *S. cerevisiae Y-564* во времени при разных значениях концентрации сухого экстракта каллусной культуры тимьяна обыкновенного (*Thymus vulgaris* L.), высушенного при 90 °С: I – 0,25 мг/мл; II – 0,50 мг/мл; III – 1,00 мг/мл; К – контроль – 0,00 мг/мл

Figure 5. Change in the optical density (OD) of S. cerevisiae Y-564 yeast suspension over time at different concentrations of dry extract of callus culture of thyme (Thymus vulgaris L.) dried at 90 °C: I – 0.25 mg/ml; II – 0.50 mg/ml; III – 1.00 mg/ml; K – control – 0.00 mg/ml

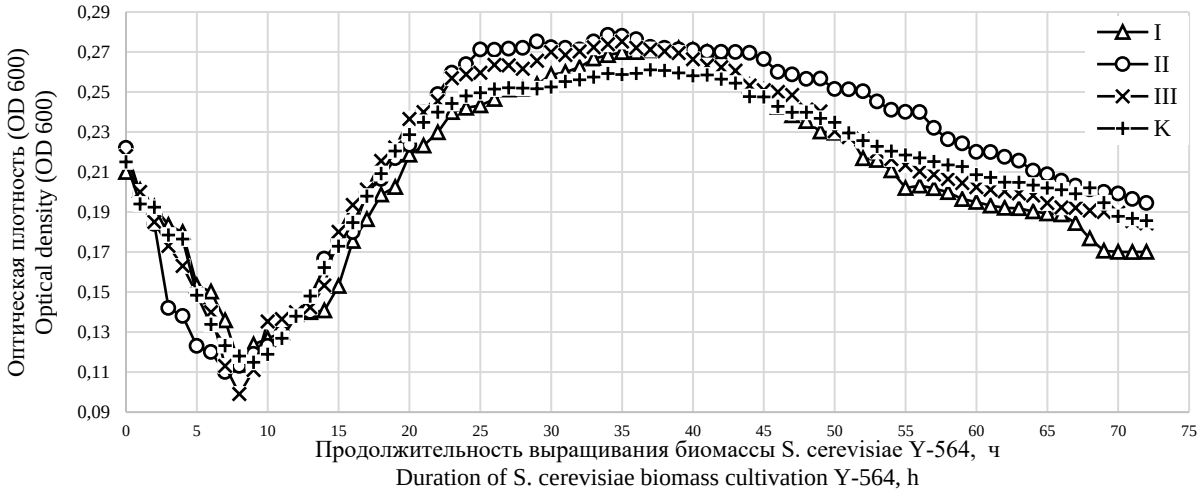


Рисунок 6. Изменение значения оптической плотности (OD) дрожжевой суспензии *S. cerevisiae Y-564* во времени при разных значениях концентрации сухого экстракта каллусной культуры тимьяна обыкновенного (*Thymus vulgaris L.*), высушенного при 120 °С: I – 0,25 мг/мл; II – 0,50 мг/мл; III – 1,00 мг/мл; К – контроль – 0,00 мг/мл

Figure 6. Change in the optical density (OD) of S. cerevisiae Y-564 yeast suspension over time at different concentrations of dry extract of callus culture of thyme (*Thymus vulgaris L.*) dried at 120 °C: I – 0.25 mg/ml; II – 0.50 mg/ml; III – 1.00 mg/ml; K – control – 0.00 mg/ml

Результаты исследования, представленные на рисунке 4, говорят о том, что экстракт каллусной культуры *Thymus vulgaris L.* высушенный при температуре 60 °С с концентрацией 0,50 мг/мл имеет наивысшею активность, при такой концентрации биомасса дрожжевых клеток S. *cerevisiae* Y-564 имеет максимальную фазу роста в сравнении с контрольным образцом дрожжей. Концентрация 0,25 мг/мл экстракта каллусной культуры *Thymus vulgaris L.* также стимулирует рост дрожжей, но в меньшей степени в сравнении с концентрацией 0,50 мг/мл. При концентрации в 1,00 мг/мл экстракта каллусной культуры *Thymus vulgaris L.* происходило угнетение фазы роста дрожжей.

В результате проведенного анализа, представленного на рисунке 5, видно, что при различной вариации концентрации (0,25 мг/мл, 0,50 мг/мл и 1,00 мг/мл) экстракта каллусной культуры *Thymus vulgaris* L., высушенного при температуре 90 °С, происходило стимулирование роста биомассы S. *cerevisiae Y-564.* Максимальное стимулирование роста биомассы S. *cerevisiae Y-564* наблюдалось при концентрации 0,50 мг/мл экстракта каллусной культуры *Thymus vulgaris L.*

Исходя из результатов исследования (рисунок 6) фактического стимулирования роста биомассы дрожжевой суспензии S. *cerevisiae Y-564* экстрактом каллусной культуры *Thymus vulgaris L.*, высушенного при температуре 120 °С, нет. Ни одна концентрация (0,25 мг/мл, 0,50 мг/мл и 1,00 мг/мл) экстракта не оказывала значительного влияния на рост модельного организма дрожжей. Но при некоторых режимах концентрирования (0,50 мг/мл и 1,00 мг/мл) на ограниченном временном промежутке (23–45 ч) наблюдалось значимое отличие роста дрожжевой суспензии S. *cerevisiae Y-564*.

Заключение

Для применения сухого экстракта каллусной культуры *Thymus vulgaris L.* в качестве антивозрастной биологически активной добавки необходимо получить концентрат, который подвергался распылительному высушиванию при разных температурных параметрах (60; 90; 120 °С). Каждый высушенный экстракт исследован на качественный и количественный состав биологически активных веществ. Так, в сухих экстрактах каллусной культуры *Thymus vulgaris L.*, присутствуют такие БАВ, как: галловая кислота, апигенин-7-глюкозид, 3,4-диметоксибензойная кислота, кофейная кислота, хлорогеновая кислота, апигенин, тимол, карвакрол, и кемпферол-d-глюкозид. В экстракте, высушенном при температуре 60 °С наблюдалось максимальное присутствие таких соединений как: апигенин-7-глюкозид (4,064 мг/г), апигенин (2,490 мг/г), кофейная кислота (1,269 мг/г), галловая кислота (0,546 мг/г), 3,4-диметоксибензойная кислота (0,303 мг/г) хлорогеновая кислота (0,222 мг/г). В экстракте, который высушен при 90 °С установлено следующее количественное содержание активных соединений: апигенин-7-глюкозид (9,058 мг/г), апигенин (2,176 мг/г), кофейная кислота (1,358 мг/г), галловая кислота (0,759 мг/г), хлорогеновая кислота (0,278 мг/г). При температурном режиме высушивания 120 °С экстракт отличался наименьшем содержанием биологически активных соединений. В результате оптимальными температурными режимами распылительного высушивания экстракта каллусной культуры *Thymus vulgaris L.* являются 60 и 90 °С.

Также настоящие исследование подтвердило непосредственное влияние БАВ сухого экстракта каллусной культуры *Thymus vulgaris L.* на рост биомассы модельного штамма S. *cerevisiae Y-564*. Наилучший результат влияния ростовых свойств биомассы дрожжевой суспензии S. *cerevisiae Y-564* показал экстракт каллусной культуры *Thymus vulgaris* L., высушенный при температуре 90 °С, с концентрацией 0,50 мг/мл. Именно при таких условиях наблюдался высокий прирост тест-культуры. Основываясь на данных результатах, биологическую активную добавку, содержащею 0,5 мг/мл экстракта каллусной культуры *Thymus vulgaris* L., можно использовать как ценный ресурс для выделения антивозрастного соединения (соединений).

Основываясь на полученных данных возможно предположить, что на рост дрожжевых клеток влияют такие БАВ, как галловая кислота, хлорогеновая кислота, кофейная кислота и флавоноид – апигенин и его производные.

Однако необходимы дальнейшие исследования на мышиных моделях с подробными исследованиями токсичности, для того чтобы в конечном итоге определить потенциал данного лекарственного растения в качестве антивозрастного средства, которое способно замедлять процессы старения и продлевать продолжительность жизни.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Скрининг биологически активных веществ растительного происхождения, обладающих геропротекторными свойствами, и разработка технологии получения нутрицевтиков, замедляющих старение» (проект FZSR-2020-0006).

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Инструментальные методы анализа в области прикладной биотехнологии» на базе КемГУ.

Литература

1. Khan A.H, Zou Z., Xiang Y., Chen S. et al. Conserved signaling pathways genetically associated with longevity across the species // Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Molecular Basis of Disease. 2019. V. 1865. №. 7. P. 1745–1755.

2. Harris I.S., DeNicola G.M. The complex interplay between antioxidants and ROS in cancer // Trends in cell biology. 2020. V. 30. №. 6. P. 440–451.

3. Lourenço S.C., Moldão-Martins M., Alves V.D. Antioxidants of natural plant origins: From sources to food industry applications // Molecules. 2019. V. 24. №. 22. P. 4132.

4. Dyshlyuk S., Vesnina A.D., Dmitrieva A.I., Kozlova O.V., Prosekov A.Y. Optimization of parameters for obtaining callus, suspension, and root cultures of meadowsweet (filipendula ulmaria) to isolate the largest number of biologically active substances with geroprotective properties // Brazilian journal of biology. 2022. V. 84. P. e257074. doi: 10.1590/1519–6984.257074

5. Gedikolu A., Sökmen M., Çivit A. Evaluation of *Thymus vulgaris* and *Thymbra spicata* essential oils and plant extracts for chemical composition, antioxidant, and antimicrobial properties // Food Sci Nutr. 2019. P. 1704–1714. doi: 10.1002/fsn3.1007.

6. Масленников П.В., Чупахина Г.Н., Скрыпник Л.Н., Федураеви П.В., Селедцов В.И. Экологический анализ активности накопления биофлавоноидов в лекарственных растениях // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2014. № 7. С. 110–120.

7. Dauqan E.M.A., Abdullah A. Medicinal and functional values of thyme (Thymus vulgaris L.) herb // Journal of Applied Biology & Biotechnology. 2017. №. 2 (5). P. 17–22. doi: 10.7324/JABB.2017.50203.

8. Базарнова Ю.Г., Иванченко О.Б. Исследование состава биологически активных веществ экстрактов дикорастущих растений // Вопросы питания. 2016. № 5 (85). С. 100–107.

9. Свириденко В.Г., Пырх О.В. Лекарственные растения флоры гомельской области как источник антиоксидантов // Агропромышленные технологии Центральной России. 2016. № 1. С. 81–86.

10. Folch J., Busquets O., Ettcheto M., Sanchez-Lopez E. et al. Experimental Models for Aging and their Potential for Novel Drug Discovery // Current Neuropharmacology. 2018. № 16. P. 1466–1483. doi: 10.2174/1570159X15666170707155345

11. Alugoju P., Subramanian S., Periyasamy L., Dyavaiah M. et al. Quercetin Protects Yeast Saccharomyces cerevisiae pep4 Mutant from Oxidative and Apoptotic Stress and Extends Chronological Lifespan // Current Microbiology. 2018. № 5. P. 519–530. doi: 10.1007/s00284–017–1412-x

12. Lutchman V., Madkour Y., Samson E., Arlia-Common A. et al. Discovery of plant extracts that greatly delay yeast chronological aging and have different effects on longevity-defining cellular processes // Oncotarget. 2016. № 13. P. 16542–16566. doi: 10.18632/oncotarget.7665

13. Tabasco R., Sanchez-Patan F., Monagas M., Bartolome B. et al. Effect of grape polyphenols on lactic acid bacteria and bifidobacteria growth: resistance and metabolism // Food microbiology. 2011. V. 28. №. 7. P. 1345–1352. doi: 10.1016/j.fm.2011.06.005

14. Assiri A.M.A., Elbanna K., Abulreesh H.H., Ramadan M.F. Bioactive compounds of cold-pressed thyme (Thymus vulgaris) oil with antioxidant and antimicrobial properties // Journal of oleo science. 2016. V. 65. №. 8. P. 629-640. doi: 10.5650/jos.ess16042

15. Scalas D., Mandras N., Roana J., Tardugno R. et al. Use of Pinus sylvestris L.(Pinaceae), Origanum vulgare L.(Lamiaceae), and Thymus vulgaris L.(Lamiaceae) essential oils and their main components to enhance itraconazole activity against azole susceptible/not-susceptible Cryptococcus neoformans strains // BMC complementary and alternative medicine. 2018. V. 18. №. 1. P. 1-13. doi: 10.1186/s12906-018-2219-4

16. Baj T., Biernasiuk A., Wróbel R., Malm A. Chemical composition and in vitro activity of Origanum vulgare L., Satureja hortensis L., Thymus serpyllum L. and Thymus vulgaris L. essential oils towards oral isolates of Candida albicans and Candida glabrata // Open Chemistry. 2020. V. 18. №. 1. P. 108-118. doi: 10.1515/chem-2020-0011

17. Pinto L., Bonifacio M.A., De Giglio E., Cometa S. et al. Unravelling the antifungal effect of red thyme oil (Thymus vulgaris L.) compounds in vapor phase // Molecules. 2020. V. 25. №. 20. P. 4761. doi: 10.3390/molecules25204761

18. Yalcin S., Handan E.S.E.R., Onbaşilar İ., Yalcin S. Effects of dried thyme (Thymus vulgaris L.) leaves on performance, some egg quality traits and immunity in laying hens // Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi. 2020. V. 67. №. 3. P. 303-311. doi: 10.33988/auvfd.677150

19. Jafri H., Ahmad I. Thymus vulgaris essential oil and thymol inhibit biofilms and interact synergistically with antifungal drugs against drug resistant strains of Candida albicans and Candida tropicalis // Journal de mycologie Medicale. 2020. V. 30. №. 1. P. 100911. doi: 10.1016/j.mycmed.2019.100911

20. Alexa E., Sumalan R.M., Danciu C., Obistioiu D. et al. Synergistic antifungal, allelopatic and anti-proliferative potential of Salvia officinalis L., and Thymus vulgaris L. essential oils // Molecules. 2018. V. 23. №. 1. P. 185. doi: 10.3390/molecules23010185

References

1. Khan A.H, Zou Z., Xiang Y., Chen S. et al. Conserved signaling pathways genetically associated with longevity across the species. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Molecular Basis of Disease. 2019. vol. 1865. no. 7. pp. 1745–1755.

2. Harris I.S., DeNicola G.M. The complex interplay between antioxidants and ROS in cancer. Trends in cell biology. 2020. vol. 30. no. 6. pp. 440–451.

3. Lourenço S.C., Moldão-Martins M., Alves V.D. Antioxidants of natural plant origins: From sources to food industry applications. Molecules. 2019. vol. 24. no. 22. pp. 4132.

4. Dyshlyuk S., Vesnina A.D., Dmitrieva A.I., Kozlova O.V. et al. Optimization of parameters for obtaining callus, suspension, and root cultures of meadowsweet (filipendula ulmaria) to isolate the largest number of biologically active substances with geroprotective properties. Brazilian journal of biology. 2022. vol. 84. pp. e257074. doi: 10.1590/1519–6984.257074

5. Gedikolu A., Sökmen M., Çivit A. Evaluation of *Thymus vulgaris* and *Thymbra spicata* essential oils and plant extracts for chemical composition, antioxidant, and antimicrobial properties. Food Sci Nutr. 2019. pp. 1704–1714. doi: 10.1002/fsn3.1007

6. Maslennikov P.V., Chupakhina G.N., Skrypnik L.N., Feduraev P.V. et al. Ecological analysis of bioflavonoid accumulation activity in medicinal plants. Bulletin of the Baltic Federal University named after I. Kant. 2014. no. 7. pp. 110–120. (in Russian).

7. Dauqan E.M.A., Abdullah A. Medicinal and functional values of thyme (Thymus vulgaris L.) herb. Journal of Applied Biology & Biotechnology. 2017. no. 2 (5). pp. 17–22. doi: 10.7324/JABB.2017.50203

8. Bazarnova Yu. G., Ivanchenko O.B. Investigation of the composition of biologically active substances of extracts of wild plants. Nutrition issues. 2016. no. 5 (85). pp. 100–107. (in Russian).

9. Sviridenko V.G., Pyrkh O.V. Medicinal plants of the flora of the Gomel region as a source of antioxidants. Agro-industrial technologies of Central Russia. 2016. no. 1. pp. 81–86. (in Russian).

10. Folch J., Busquets O., Ettcheto M., Sánchez-Lopez E. et al. Experimental Models for Aging and their Potential for Novel Drug Discovery. Current Neuropharmacology. 2018. no. 16. pp. 1466–1483. doi: 10.2174/1570159X15666170707155345

11. Alugoju P., Subramanian S., Periyasamy L., Dyavaiah M. et al. Quercetin Protects Yeast Saccharomyces cerevisiae pep4 Mutant from Oxidative and Apoptotic Stress and Extends Chronological Lifespan. Current Microbiology. 2018. no. 5. pp. 519–530. doi: 10.1007/s00284–017–1412-x

12. Lutchman V., Madkour Y., Samson E., Arlia-Common A. et al. Discovery of plant extracts that greatly delay yeast chronological aging and have different effects on longevity-defining cellular processes. Oncotarget. 2016. no. 13. pp. 16542–16566. doi: 10.18632/oncotarget.7665

13. Tabasco R., Sanchez-Patan F., Monagas M., Bartolome B. et al. Effect of grape polyphenols on lactic acid bacteria and bifidobacteria growth: resistance and metabolism. Food microbiology. 2011. vol. 28. no. 7. pp. 1345–1352. doi: 10.1016/j.fm.2011.06.005

14. Assiri A.M.A., Elbanna K., Abulreesh H.H., Ramadan M.F. Bioactive compounds of cold-pressed thyme (Thymus vulgaris) oil with antioxidant and antimicrobial properties. Journal of oleo science. 2016. vol. 65. no. 8. pp. 629-640. doi: 10.5650/jos.ess16042

15. Scalas D., Mandras N., Roana J., Tardugno R. et al. Use of Pinus sylvestris L.(Pinaceae), Origanum vulgare L.(Lamiaceae), and Thymus vulgaris L.(Lamiaceae) essential oils and their main components to enhance itraconazole activity against azole susceptible/not-susceptible Cryptococcus neoformans strains. BMC complementary and alternative medicine. 2018. vol. 18. no. 1. pp. 1-13. doi: 10.1186/s12906-018-2219-4

16. Baj T., Biernasiuk A., Wróbel R., Malm A. Chemical composition and in vitro activity of Origanum vulgare L., Satureja hortensis L., Thymus serpyllum L. and Thymus vulgaris L. essential oils towards oral isolates of Candida albicans and Candida glabrata. Open Chemistry. 2020. vol. 18. no. 1. pp. 108-118. doi: 10.1515/chem-2020-0011

17. Pinto L., Bonifacio M.A., De Giglio E., Cometa S. et al. Unravelling the antifungal effect of red thyme oil (Thymus vulgaris L.) compounds in vapor phase. Molecules. 2020. vol. 25. no. 20. pp. 4761. doi: 10.3390/molecules25204761

18. Yalcin S., Handan E.S.E.R., Onbaşilar İ., Yalcin S. Effects of dried thyme (Thymus vulgaris L.) leaves on performance, some egg quality traits and immunity in laying hens. Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi. 2020. vol. 67. no. 3. pp. 303-311. doi: 10.33988/auvfd.677150

19. Jafri H., Ahmad I. Thymus vulgaris essential oil and thymol inhibit biofilms and interact synergistically with antifungal drugs against drug resistant strains of Candida albicans and Candida tropicalis. Journal de mycologie Medicale. 2020. vol. 30. no. 1. pp. 100911. doi: 10.1016/j.mycmed.2019.100911

20. Alexa E., Sumalan R.M., Danciu C., Obistioiu D. et al. Synergistic antifungal, allelopatic and anti-proliferative potential of Salvia officinalis L., and Thymus vulgaris L. essential oils. Molecules. 2018. vol. 23. no. 1. pp. 185. doi: 10.3390/molecules23010185

Сведения об авторах

Анастасия М. Федорова младший научный сотрудник, кафедра бионанотехнология, Кемеровский государственный университет, Б-р Строителей, 47, г. Кемерово, 650000, Россия, anastasija.fedorova-af2014@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-8071-4411

Маргарита Ю. Дроздова младший научный сотрудник, кафедра бионанотехнология, Кемеровский государственный университет, Б-р Строителей, 47, г. Кемерово, 650000, Россия,, drozdowa.margarita.00@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-9499-9470

Ирина С. Милентьева д.т.н, доцент, кафедра бионанотехнология, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия,, irazumnikova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3536-562X

Варвара И. Минина д.б.н, доцент, кафедра генетики и фундаментальной медицины, Кемеровский государственный университет, пр-т Советский, д.73, г. Кемерово, 650000, Россия, vminina@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3485-9123

Information about authors

Anastasia M. Fedorova junior researcher, bionanotechnology department, Kemerovo State University, B-r Stroiteley, 47, Kemerovo, 650000, Russia, anastasija.fedorova-af2014@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-8071-4411

Margarita Yu. Drozdova junior researcher, bionanotechnology department, Kemerovo State University, B-r Stroiteley, 47, Kemerovo, 650000, Russia, drozdowa.margarita.00@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-9499-9470

Irina S. Milentyeva Dr. Sci. (Engin.), associate professor, bionanotechnology department, Kemerovo State University, Krasnaya str., 6, Kemerovo, 650000, Russia, irazumnikova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3536-562X

Varvara I. Minina Dr. Sci. (Biol.), associate professor, genetics and fundamental medicine department, Kemerovo State University, 73 Sovetsky Ave., Kemerovo, 650000, Russia, vminina@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3485-9123

Вклад авторов

Анастасия М. Федорова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент
Маргарита Ю. Дроздова провела обработку эксперимента
Ирина С. Милентьева консультация в ходе исследования
Варвара И. Минина написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Contribution

Anastasia M. Fedorova review of literature sources on the problem under study, conducted an experiment
Margarita Yu. Drozdova conducted the processing of the experiment
Irina S. Milentyeva consultation during the study
Varvara I. Minina 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 01/04/2022	**После редакции** 29/04/2022	**Принята в печать** 27/05/2022

Received 01/04/2022	**Accepted in revised** 29/04/2022	**Accepted** 27/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-110-114 Краткое сообщение/Short message
УДК 613.2.03 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Роль правильного питания в жизни студента

Виктор А. Питкин [1] irvik25@mail.ru 0000-0001-6356-6501
Ольга В. Синько [1] olgasinko73@yandex.ru 0000-0001-8784-7279
Ирина А. Хрипко [1] xripkoia@mail.ru 0000-0001-8192-3605

1 Кубанский государственный технологический университет, улица Московская,2, г. Краснодар, 350072, Россия

Аннотация. В данной статье исследуется проблема правильного питания в жизни современного студента. Эта проблема особенно актуальна в настоящее время, ведь современный студент стал еще более целеустремленным и активным. А это значит, что на данный момент правильное питание молодежи является важнейшей проблемой, которую необходимо решать. Важнейшим условием сохранения и улучшения здоровья является здоровый образ жизни, формирование которого составляет основу первичной профилактики многих заболеваний. На организм студентов, особенно младших курсов, большое влияние оказывает изменение привычного уклада жизни. Увеличение объема информации, новая по сравнению со школой форма ее подачи, необходимость самостоятельно распределять время и организовывать свой быт (особенно для иногородних студентов) повышают нагрузку на психоэмоциональную сферу. Для нормального функционирования организма в этот непростой и ответственный период питание играет далеко не последнюю роль. В данной статье проведен анализ правильного питания студентов в режиме рабочего дня, обучающихся в вузах города Краснодара. В процессе исследования проведено анонимное анкетирование на базе 2, 3 курсов специальности Экономическая безопасность, которое проводилось в течение одной рабочей недели. Участие в нем приняли 113 студентов в возрасте 19–20 лет. Все студенты обучаются на очном отделении университета. По данным проведенного исследования было установлено, что большинство студентов не соблюдают правильное питание, а также у них выявлено преобладание употребления углеводно-жировой пищи, у некоторых студентов есть жалобы на свое питание, образ жизни и здоровье. В статье также обозначено соотношение основных составляющих здорового образа жизни. Также представлены основные функции правильного питания для студентов.

Ключевые слова: правильное питание, студент, образ жизни, здоровье, сбалансированное питание.

The role of nutrition in student life

Victor A. Pitkin [1] irvik25@mail.ru 0000-0001-6356-6501
Olga V. Sinko [1] olgasinko73@yandex.ru 0000-0001-8784-7279
Irina A. Khripko [1] xripkoia@mail.ru 0000-0001-8192-3605

1 Kuban State Technological University, Moskovskaya str., 2. Krasnodar. 350072, Russia

Abstract. This article explores the problem of proper nutrition in the life of a modern student. This problem is especially relevant at the present time, because the modern student has become even more purposeful and active. And this means that at the moment, proper nutrition of young people is the most important problem that needs to be addressed. The most important condition for maintaining and improving health is a healthy lifestyle, the formation of which forms the basis for the primary prevention of many diseases. The body of students, especially junior students, is greatly influenced by a change in the usual way of life. An increase in the volume of information, a new form of its presentation compared to school, the need to independently allocate time and organize one's life (especially for students from other cities) increase the load on the psycho-emotional sphere. For the normal functioning of the body in this difficult and responsible period, nutrition plays an important role. This article analyzes the proper nutrition of students in the working day, studying at universities in the city of Krasnodar. In the course of the study, an anonymous survey was conducted on the basis of 2, 3 courses of the specialty Economic Security, which was conducted within one working week. 113 students aged 19–20 took part in it. All students study full-time at the university. According to the study, it was found that most students do not follow proper nutrition, and they also have a predominance of carbohydrate-fat foods, some students have complaints about their diet, lifestyle and health. The article also indicates the ratio of the main components of a healthy lifestyle. The main functions of proper nutrition for students are also presented.

Keywords: proper nutrition, student, lifestyle, health, balanced diet.

Введение

Первое с чего стоит начать рассматривать любой вопрос – это его сущность и основные понятия его составных частей. Правильное питание является одной из основных составляющих здорового образа жизни. Проблема здорового образа жизни студентов, на данный момент оказалась несправедливо обойденной вниманием со стороны исследователей [18]. Здоровый образ жизни студентов уже долгое время является актуальной темой для научных исследований. Несмотря на значительное количество работ, публикуемых авторами, проблему нельзя назвать полностью решенной [12]. При наличии большого количества информации, находящейся в общем доступе, различных видах и способах пропаганды здорового образа жизни (ЗОЖ), осознания важности его ведения, образ жизни современной молодежи далек от идеальной

Для цитирования
Питкин В.А., Синько О.В., Хрипко И.А. Роль правильного питания в жизни студента // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 110–114. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-110-114

For citation
Pitkin V.A., Sinko O.V., Khripko I.A. The role of nutrition in student life. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 110–114. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-110-114

© 2022, Питкин В.А. и др. / Pitkin V.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

модели. Конечно, в силу ряда обстоятельств (финансовых, сильной загруженности по учебным дисциплинам и др.) требовать от студентов полного соблюдения принципов ЗОЖ не приходится возможным. Одним из принципов ЗОЖ, соблюдать который имеет возможность большинство студенческой молодежи, является рациональное питание [1]. Именно этот аспект мы решили рассмотреть в своей работе. Питание является одним из важнейших факторов, определяющих здоровье населения. Правильное питание обеспечивает нормальный рост и развитие детей, способствует профилактике заболеваний, продлению жизни людей, повышению работоспособности и создает условия для адекватной адаптации к окружающей среде.

Материалы и методы

По результатам опроса вторых, третьих курсов Кубанского государственного технологического университета (КубГТУ) именно правильное питание (55% опрошенных) названо главным в соотношении основных составляющих здорового образа жизни. Физические нагрузки (27% опрошенных) заняли второе место в этом списке, здоровый сон занял третью позицию (18% опрошенных)

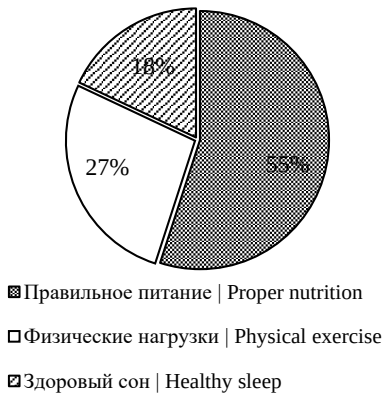


Рисунок 1. Соотношение основных составляющих здорового образа жизни

Figure 1. The ratio of the main components of a healthy lifestyle

Углеводы, жиры, белки, микроэлементы, витамины должны сбалансировано поступать в организм для обеспечения здоровья жизнедеятельности организма [17]. Должно быть соответствие между индивидуальными особенностями организма (возраст, рост, вес, степени различных нагрузок) и энергетическими затратами человека [2]. Разнообразие полезных продуктов является обязательным принципом организации питания. Цель – сбалансированное поступление в организм жиров, белков, углеводов. Яйца, мясо, рыба, бобовые, морепродукты, молочные продукты – основные источники белка. Белок играет роль строительного материала, способствует росту и восстановлению клеток в организме. Жиры правильнее применять в виде растительных масел для приготовления разнообразных салатов [11]. Употребление рыбы обязательно для улучшения деятельности головного мозга и для профилактики. Картофель, хлеб, сахар, кондитерские изделия, каши – это основные источники углеводов, которые при избытке переходят в жиры, становясь жировыми отложениями. Например, 100 г. карамели дают организму около 300–400 ккал, а выпечка, торты и т. д. – еще больше [9]. Избыток таких «пустых» калорий может привести не только к увеличению веса, но и к ухудшению памяти. Фрукты, овощи, зелень – это источники витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон, их лучше употреблять в сыром виде в салатах. Например, 100 г. овощей дают всего лишь 20–40 ккал [3]. Система питания – это оптимальное соотношение групп потребляемых питательных веществ, а именно белков, жиров и углеводов. Для здорового функционирования организма необходимо равномерное поступление всех необходимых веществ. Общее состояние организма, работоспособность, активность, общее состояние организма зависят от режима питания [14]. Прием пищи необходимо осуществлять не реже 3–4 раз в сутки, желательно в одно и то же время.

Завтракать нужно обязательно, завтрак должен быть достаточно плотным.

Обед должен быть представлен полноценной горячей пищей, вредно вместо полноценной еды употреблять продукты быстрого приготовления (вермишель, картофельное пюре и разнообразные пакетированные супы) [4].

На ужин хорошо употреблять легкоусвояемые молочные, крупяные или овощные блюда. Мясо, а также крепкий чай, кофе, принимать вечером нежелательно [20].

Для того чтобы питание отвечало требованиям здорового образа жизни, оно должно обеспечивать организм всеми необходимыми пищевыми элементами в необходимом количестве и нужном сочетании. Человеческий организм — сложный механизм. Здоровье человека зависит от того, сколько человек получает энергии и сколько он ее расходует и как гармонично при этом работают все его органы, обеспечивая необходимый уровень жизнедеятельности. Одним из критериев оценки этого состояния может служить масса тела человека, определяемая с учетом его роста. Негативное влияние на организм оказывает избыточное или недостаточное питание.

При чрезмерном питании в значительной мере увеличивается масса тела, что может привести к ожирению, а, в конечном счете, к различным заболеваниям сердечно-сосудистой системы, диабету, нарушениям обмена веществ и т. п. При недостаточном питании человек резко худеет, ухудшается его самочувствие, падает работоспособность, снижается иммунитет. Вот почему так важно соблюдать правила рационального, сбалансированного и полноценного питания [15].

Во время экзаменов в пищевой рацион можно внести некоторые изменения: употребление в этот период дополнительно 10–15 г. растительного масла в свежем виде в салатах значительно увеличивает концентрацию внимания и улучшает работоспособность. Молочный белок (при употреблении творога, сыра, кисломолочных напитков) снижает уровень стресса. С переутомлением помогает бороться стакан зеленого чая с ложкой меда и соком половинки лимона. В зимний период нужно не забывать включать в свой рацион сухофрукты [5].

Для оценки питания использовался метод опроса. Опрос проводился несколько дней, в период с 8 по 13 ноября, среди студентов КубГТУ в возрасте 19–20 лет, было опрошено 113 респондентов. Можно сделать вывод, проведя анализ ответов, что студенты в основном не соблюдают режим питания, не следят за правильностью питания и употребляют в пищу вредные продукты, вредя своему здоровью.

Таблица 1.

Результаты опроса студентов за период исследования

Table 1.

The results of the survey of students for the period of the study

Вопрос/Ответ (%) | Question/answer (%)	Всегда | Always	Часто | Often	Иногда | Sometimes	Редко | Rarely	Никогда | Never
Часто ли Вы употребляете не здоровую пищу? How often do you eat unhealthy food?	71	20	6	3	0
Завтракаете ли вы по утрам? Do you have breakfast in the morning?	47	15	20	8	10
Занимаетесь ли Вы спортом? Do you play sports?	55	14	20	6	5

Из собранных данных следует, что 71 % студентов употребляют нездоровую пищу, 5 % вообще не занимаются спортом, а 55 % студентов почти не уделяют спорту внимания, 47 % опрошенных не завтракают по утрам, что приводит к замедленному развитию организма, сердечнососудистым, кишечным и даже онкологическим заболеваниям.

Результаты и обсуждение

Основные причины отказа студентов от рационального питания: переезд из привычной домашней обстановки молодых людей в общежития и съемное жилье, нехватка времени на перерывах для полноценного обеда; отсутствие грамотно предоставленной устной и письменной наглядной информации о правильном питании студентам; отсутствие блюд, приготовленных из полезных продуктов в правильном соотношении полезных составляющих [19]. Больше внимания необходимо уделять удовлетворению физиологических потребностей студентов в пищевых веществах, часто являющихся дефицитными, а именно в витаминах: С, А, В, В2, В12, а также соблюдению рекомендуемых соотношений кальция и фосфора (1:1,5) [6]. Нужно избегать частого употребления блюд и продуктов, содержащих много поваренной соли (соления, копчености, маринады, соленая рыба). В качестве источников витамина С необходимо использовать отвар шиповника, зеленый лук, капусту белокочанную в сыром виде, а также цитрусовые [13]. Необходимо использовать отвар шиповника, зеленый лук, капусту белокочанную в сыром виде, а также цитрусовые как источники витаминов. Помимо продуктов животного происхождения, необходимо систематически употреблять источники бета-каротина, такие, например, как морковь (с жирами) для обеспечения организма витамином А [10]. Чтобы пополнить запасы кобаламинов, следует есть рыбу. Сардина, скумбрия, моллюски и лосось – вот некоторые виды, которые способны обеспечить суточную дозу этого витамина. Печень говядины – это богатейший источник витаминов группы В, включая В1, В2, В3, В5, В6, В9. Также эти витамины содержатся в курице, бананах, шпинате, орехах и семенах, бобах [7].

По окончанию проведенной работы можно заключить, что если студент хочет что-то изменить в своем образе жизни, то ему придётся приготовится к серьезным вложениям в свое питание и выделять приличное количество и так ограниченного времени на занятия в спортзале и вне его стен [16].

Питание составляет основу здорового образа жизни. В молодом возрасте по статистике видны нарушения питания, особенно у студентов. Они могут быть вызваны рядом причин (например, причиной гастрита может стать неправильное питание, нервное истощение, курение, а причиной колита — несбалансированное питание). Причиной поражения собственной ткани почек, нефрозов и нефритов, может стать как пьянство, наркотическое пристрастие, токсикомания, так и чрезмерное употребление острой, копченой и маринованной пищи. Во избежание серьезных проблем со здоровьем в среднем и зрелом возрасте следует заботится об этом смолоду, да бы не создавать проблемы себе и будущему поколению [8].

Заключение

В результате проведенного исследования необходимо отметить, что анализ рациона студентов позволил установить тот факт, что их питание является неполноценным как в качественном, так и в количественном отношении. Исследование выявило, что большинство студентов питаются неправильно, что в дальнейшем может привести к появлению различных заболеваний.

Основная задача при организации здорового питания студентов: обеспечение энергией и нутриентами в соответствие с возрастной физиологической потребностью организма студентов путем потребления качественной и безопасной продукции. Для реализации поставленной задачи необходимо взаимодействие представителей различных уровней исполнительной власти, управленческих и педагогических кадров, ученых и производителей питания. Алгоритм действий для совершенствования питания студентов: рациональная организация питания студентов в университете на территории всех структурных подразделений, разработка программ культуры здорового питания и включение их в образовательный процесс, информационно-просветительная работа. При организации питания студентов следует руководствоваться действующими нормативно-правовыми и методическими документами.

Литература

1 Питкин В.А., Третьяк И.А., Холодная Л.А., Гришко Т.А. и др. Взаимодействие правильного питания с физическими нагрузками // Глобальный научный потенциал. 2019. №. 3. С. 96.

2 Whitney E.N., Rolfes S.R. Understanding nutrition. Cengage learning, 2015.

3 Зименкова Ф.Н. Питание и здоровье. М., 2016.

4 Сычева О.В., Омаров Р.С. Основы рационального питания. СПб., 2021.

5 Лапкин М.М., Пешкова Г.П. Основы рационального питания. М., 2017.

6 Питание – один из важнейших процессов в жизни человека. URL: https://www.syl.ru/article/295208/

7 Правильное питание студентов. URL: http://firsthealth.ru/pravilnoe-pitanie/

8 Кашаева О.И., Крижанаускайте Г.А., Щепельков А.А. Изучение качества питания студенческой молодёжи // NovaInfo. Ru. 2014. №24. С 3-7.

9 Питание в жизни человека // Волшебный храм. 2018. URL: https://magictemple.ru/pitanie-v-zhizni-cheloveka/

10 Алексеева Н.Д., Зиновьев А.Н., Святченко П.Б., Ивачев А.А. Оценка рациональности питания студентов технического вуза как элемента здорового образа жизни // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2018. № 5 (159). С. 17–19.

11 Зиновьев Н.А. Соотношение у студентов мотивации и готовности к соблюдению принципов здорового образа жизни // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2013. № 3 (97). С. 67–71.

12 Питкин В.А., Холодная Л.А. Питание студентов в режиме рабочего дня // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 2. С. 67–71. doi: 10.20914/2310-1202-2021-2-67-71

13 Еременко В.Н., Питкин В.А., Синько О.В., Дорошенко В.В. и др. Биологически активные добавки и их влияние на организм студента // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 3. С. 68–72. doi:10.20914/2310–1202–2021–3–68–72

14 Лапкин М.М. Основы рационального питания. М., 2017.

15 Insel P.M. Nutrition. Jones & Bartlett Publishers, 2014.

16 Ravasco P. Nutrition in cancer patients // Journal of clinical medicine. 2019. V. 8. №. 8. P. 1211.

17 Проблемы питания современных студентов. URL: http://mirznanii

18 Теория рационального питания. URL: https://www.bestreferat.ru/referat-43417

19 Berdanier C.D. Advanced nutrition: macronutrients. CRC press, 2018.

20 Lambers H., Oliveira R.S. Mineral nutrition // Plant physiological ecology. Springer, Cham, 2019. P. 301-384. doi: 10.1007/978-3-030-29639-1_9

References

1 Pitkin V.A., Tretiak I.A., Kholodnaya L.A., Grishko T.A. et al. Interaction of proper nutrition with physical loads. Global Scientific Potential. 2019. no. 3. pp. 96. (in Russian).

2 Whitney E.N., Rolfes S.R. Understanding nutrition. Cengage learning, 2015.

3 Zimenkova F.N. Nutrition and health. M., 2016. (in Russian).

4 Sycheva O.V., Omarov R.S. Fundamentals of rational nutrition. SPb., 2021. (in Russian).

5 Lapkin M.M., Peshkova G.P. Fundamentals of rational nutrition. M., 2017. (in Russian).

6 Nutrition is one of the most important processes in human life. Available at: https://www.syl.ru/article/295208/ (in Russian).

7 Proper nutrition of students. Available at: http://firsthealth.ru/pravilnoe-pitanie/ (in Russian).

8 Kashaeva O.I., Krizhanauskaite G.A., Schepelkov A.A. Studying the quality of nutrition of student youth. NovaInfo. Ru. 2014. no. 24. pp. 3-7. (in Russian).

9 Nutrition in human life. Magic Temple. 2018. Available at: https://magictemple.ru/pitanie-v-zhizni-cheloveka/ (in Russian).

10 Alekseeva N.D., Zinoviev A.N., Svyatchenko P.B., Ivachev A.A. Evaluation of the rationality of nutrition of students of a technical university as an element of a healthy lifestyle. Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgaft. 2018. no. 5 (159). pp. 17–19. (in Russian).

11 Zinoviev N.A. The ratio among students of motivation and readiness to comply with the principles of a healthy lifestyle. Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgaft. 2013. no. 3 (97). pp. 67–71. (in Russian).

12 Pitkin V.A., Kholodnaya L.A. Nutrition of students during the working day. Proceedings of VSUET. 2021. vol. 83. no. 2. pp. 67–71. doi: 10.20914/2310-1202-2021-2-67-71 (in Russian).

13 Eremenko V.N., Pitkin V.A., Sinko O.V., Doroshenko V.V. Biologically active additives and their influence on the student's body. Proceedings of VSUET. 2021. vol. 83. no. 3. pp. 68–72. doi:10.20914/2310–1202–2021–3–68–72 (in Russian).

14 Lapkin M.M. Fundamentals of rational nutrition. M., 2017. (in Russian).

15 Insel P.M. Nutrition. Jones & Bartlett Publishers, 2014.

16 Ravasco P. Nutrition in cancer patients. Journal of clinical medicine. 2019. vol. 8. no. 8. pp. 1211.

17 Nutrition problems of modern students. Available at: http://mirznanii (in Russian).

18 Theory of rational nutrition. Available at: https://www.bestreferat.ru/referat 43417 (in Russian).

19 Berdanier C.D. Advanced nutrition: macronutrients. CRC press, 2018.

20 Lambers H., Oliveira R.S. Mineral nutrition. Plant physiological ecology. Springer, Cham, 2019. pp. 301-384. doi: 10.1007/978-3-030-29639-1_9

Сведения об авторах

Виктор А. Питкин ст. преподаватель, кафедра физического воспитания и спорта, Кубанский государственный технологический университет, улица Московская, 2, г. Краснодар, 3520072, Россия, irvik25@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6356-6501

Ольга В. Синько ст. преподаватель, кафедра физического воспитания и спорта, Кубанский государственный технологический университет, Московская, 2, г. Краснодар, 3520072, Россия, olgasinko73@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-8784-7279

Ирина А. Хрипко к.т.н., доцент, кафедра технологии продуктов питания животного происхождения, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 3520072, Россия, xripkoia@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-8192-3605

Information about authors

Victor A. Pitkin senior lecturer, physical education and sports department, Kuban State Technological University, Moscow st., 2, Krasnodar, 3520072, Russia, irvik25@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6356-6501

Olga V. Sinko senior lecturer, physical education and sports department, Kuban State Technological University, Moscow st., 2, Krasnodar, 3520072, Russia, olgasinko73@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-8784-7279

Irina A. Khripko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food technology of animal origin department, Kuban State Technological University, Moscow st., 2, Krasnodar, 3520072, Russia, xripkoia@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-8192-3605

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 30/03/2022	**После редакции** 25/04/2022	**Принята в печать** 12/05/2022

Received 30/03/2022	**Accepted in revised** 25/04/2022	**Accepted** 12/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-1-115-121 Оригинальная статья/Research article
УДК 637.521.47:663.051/052 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Разработка рецептуры комбинированных полуфабрикатов из мяса птицы

Ирина А. Долматова [1] dl.alina@rambler.ru 0000-0002-3736-193X
Ольга В. Горелик [2] olgao205en@ya.ru 0000-0002-9546-2069
Татьяна Н. Зайцева [1] tatyananick@mail.ru 0000-0003-4238-9774
Юлия А. Бессонова [1] 74bessonova96@mail.ru 0000-0001-8027-3567
Вера Ф. Рябова [1] vera_ryabova1@mail.ru 0000-0002-9635-4924

1 Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова, пр-т Ленина, 38, г. Магнитогорск, 455000, Россия
2 Уральский государственный аграрный университет, ул Карла Либкнехта, 42, г. Екатеринбург, 620075, Россия

Аннотация. Полуфабрикаты из мяса сельскохозяйственной птицы пользуются широкой популярностью среди разных слоев населения России. Особое место занимают изделия из рубленой мясной массы. В настоящее время возникла необходимость в разработке рецептур комбинированных рубленых изделий с более низкой себестоимостью, хорошими органолептическими и физико-химическими показателями. Традиционная рецептура приготовления изделий из рубленой массы мяса сельскохозяйственной птицы предусматривает использование мяса кур ручной обвалки. Мясо птицы механической обвалки отличается от мяса ручной обвалки меньшим содержанием влаги и белка, большим содержанием жира, что обусловливает перспективность его использования. Авторами экспериментально установлена лучшая комбинация традиционного сырья и мяса механической обвалки (90:10) для приготовления изделий из рубленой массы мяса сельскохозяйственной птицы. Данное соотношение было определено как наилучшее при определении органолептических (вид на разрезе, запах, вкус, консистенция) и физико-химических (массовая доля общей золы, влажность, кислотность, массовая доля углеводов) показателей. Модельный образец комбинированного мясного полуфабриката в готовом виде имел ровную поверхность, плотную и упругую консистенцию, однородную структуру мясного фарша, приятный куриный вкус и аромат. Авторами отмечается, что в изделиях из рубленой массы мяса сельскохозяйственной птицы возможна частичная замена мяса кур на мясо механической обвалки путем выбора оптимальной рецептуры. При этом качественные показатели готового, комбинированного продукта не ухудшаются, продукт сохраняет традиционные органолептические характеристики, сбалансирован по основным нутриентам и обладает высокой пищевой и биологической ценностью.

Ключевые слова: полуфабрикаты, мясо птицы, механическая обвалка, комбинированный продукт, органолептические показатели, физико-химические показатели

Combined semi-finished poultry meat products formulation

Irina A. Dolmatova [1] dl.alina@rambler.ru 0000-0002-3736-193X
Olga V. Gorelik [2] olgao205en@ya.ru 0000-0002-9546-2069
Tatiana N. Zaitseva [1] tatyananick@mail.ru 0000-0003-4238-9774
Julia A. Bessonova [1] 74bessonova96@mail.ru 0000-0001-8027-3567
Vera F. Ryabova [1] vera_ryabova1@mail.ru 0000-0002-9635-4924

1 Nosov Magnitogorsk State Technical University, Lenin Av., 38 Magnitogorsk, 455000, Russia
2 Ural State Agrarian University, Karl Liebknecht street, 42, Ekaterinburg, 620075, Russia

Abstract. Semi-finished products made from poultry meat are widely popular among different segments of the Russian population. A special place belongs to products made from minced meat mass. Currently, there is a need to develop recipes for combined minced products with a lower cost, good organoleptic and physicochemical characteristics. The traditional recipe for the preparation of products from the minced poultry meat mass involves the use of hand-boned chicken meat. Mechanically deboned poultry meat differs from manual deboned meat by a lower moisture and protein content, a higher fat content, which makes its usage promising. The authors experimentally establish the most appropriate combination of traditional raw materials and mechanically deboned meat (90:10) for the preparation of products from the chopped poultry meat mass. This ratio was acknowledged as the best while determining organoleptic (sectional view, smell, taste, consistency) and physicochemical (mass fraction of total ash, moisture, acidity, mass fraction of carbohydrates) indicators. A model sample of a prepared combined semi-finished meat product had a flat surface, dense and elastic consistency, a homogeneous minced meat structure, a pleasant chicken taste and aroma. The authors note that within completion of products made from minced poultry meat mass, there is a possibility to partially replace chicken meat with mechanically deboned meat by picking the optimal recipe. In such event, the quality indicators of the finished, combined product do not deteriorate, the product retains traditional organoleptic characteristics, is balanced in the main nutrients and has a high nutritional and biological value.

Keywords: semi-finished products, poultry meat, mechanical deboning, combined product, organoleptic characteristics, physical and chemical parameters

Для цитирования
Долматова И.А., Горелик О.В., Зайцева Т.Н., Бессонова Ю.А., Рябова В.Ф. Разработка рецептуры комбинированных полуфабрикатов из мяса птицы // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 1. С. 115–121. doi:10.20914/2310-1202-2022-1-115-121

For citation
Dolmatova I.A., Gorelik O.V., Zaitseva T.N., Bessonova Ju.A., Ryabova V.F. Combined semi-finished poultry meat products formulation. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 1. pp. 115–121. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-1-115-121

© 2022, Долматова И.А. и др. / Dolmatova I.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Птицеперерабатывающая отрасль является одной из самых динамично развивающихся отраслей агропромышленного комплекса Российской Федерации. В общем объеме потребления мясной продукции более трети объема приходится на продукцию, выработанную из мяса птицы. Это обусловлено, прежде всего высокой скороспелостью цыплят, более низкими материальными, трудовыми затратами на их выращивание по сравнению с крупным и мелким рогатым скотом, низкой в сравнении с другими видами мяса ценой на готовую продукцию [1, 2]. Согласно статическим данным для российского потребителя наиболее популярным видом мясной продукции являются рубленые полуфабрикаты – котлеты, биточки, фрикадельки [3, 4].

Основным принципом в производстве мясных полуфабрикатов является оптимальное ограничение издержек на их производство и применение ресурсосберегающих технологий. Одним из таких направлений является разработка рецептур, предполагающих замену мяса птицы ручной обвалки на мясо кур механической обвалки.

Рациональное применение мяса кур механической обвалки в производстве рубленых полуфабрикатов позволит снизить себестоимость готовой продукции, повысить их пищевую и биологическую ценность, обеспечит экономию мясного сырья, улучшит реологические характеристики мясного фарша [7–9].

Мясо кур механической обвалки является сырьем, которое по микробиологическим, органолептическим и физико-химическим показателям, а также по пищевой и биологической ценности удовлетворяют медико-биологическим требованиям. Однако его реологические характеристики отличаются от мясного фарша из сельскохозяйственной птицы, полученного при ручном способе производства. В связи с чем, возникает необходимость в дополнительных исследованиях качественных показателей изделий из рубленой массы мяса сельскохозяйственной птицы для решения вопроса о его рациональном применении [6].

Цель исследования – разработка рецептуры и исследование качественных показателей комбированных изделий из рубленой массы мяса сельскохозяйственной птицы видоизмененного состава.

Материалы и методы

Исследования были проведены на кафедре химии Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, а также на базе предприятия общественного питания г. Магнитогорска «Ланч кафе».

Объектами исследований явились котлеты рубленые из птицы, вырабатываемые по традиционным унифицированным рецептурам, представленным в Сборнике технических нормативов.

Контроль – котлеты рубленые из мяса кур, по традиционной рецептуре и технологии.

Все модельные образцы котлет рубленых изготовлены из мяса кур и мяса механической обвалки в следующих соотношениях:

- модельный образец 1 – 90:10;
- модельный образец 2 – 80:20;
- модельный образец 3 – 70:30;
- модельный образец 4 – 60:40.

В ходе эксперимента было изучено и подобрано сырье, составлена рецептура для производства котлет рубленых из мяса сельскохозяйственной птицы. Для приготовления опытных образцов использовалось куриное мясо, мясо кур механической обвалки производства ОАО «Аргаяшская птицефабрика», Челябинская область, Аргаяшский район, поселок Ишалино. Мясное сырье, используемое для приготовления опытных образцов котлет рубленых из мяса сельскохозяйственной птицы по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям соответствовали требованиям нормативных документов, заявленных производителем.

Исследования проводились по следующему плану:

— обоснование выбора добавки в виде мяса механической обвалки;

— подбор рецептуры для приготовления котлет рубленых из мяса сельскохозяйственной птицы;

— пробная жарка в условиях лаборатории с различной дозировкой в количестве 10; 20; 30; 40% заменой куриного фарша на мясо механической обвалки;

— определение качественных показателей опытных образцов;

— расчет пищевой ценности котлет рубленых из птицы с добавлением мяса механической обвалки.

Для исследования качественных показателей опытных образцов в работе применялись современные методы исследования (регистрационный метод, метод наблюдения, математическая обработка данных). При проведении оценки качества рубленых изделий применялись традиционные методы [5, 10–20].

Исследование показателей качества котлет рубленых из мяса сельскохозяйственной птицы проводили с применением органолептических и физико-химических методов. При определении пищевой ценности применялся расчетный метод.

Органолептическими методами определяли следующие показатели – внешний вид, сохранность формы изделия, консистенцию, вид на разрезе, вкус и запах.

Внешний вид изделий определяли, осматривая их при дневном рассеянном свете.

Вид на разрезе определяли визуально, на только что сделанных поперечном и продольных разрезах котлет.

Запах и вкус определяли, пробуя изделия, нарезанные на ломтики. При этом акцентируя внимание на наличие специфического аромата и вкуса и на наличие или отсутствие постороннего запаха, привкуса и / или послевкусия.

Консистенцию определяли надавливанием, разрезанием, разжевыванием.

Физико-химическими методами определяли массовую долю общей золы, влажность, кислотность и массовую долю углеводов. При определении физико-химических показателей применяли общепринятые арбитражные методы исследования.

Расчетным методом определяли содержание жира и белков.

Массовую долю золы определяли по ГОСТ 31727–2012 «Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли общей золы» высушиванием, обугливанием, а затем озолением при температуре (550±25) °С.

Влажность определяли по ГОСТ 4288–76 «Изделия кулинарные и полуфабрикаты из рубленого мяса. Правила приёмки и методы испытаний». Основан данный метод на способности отдавать гигроскопическую влагу при помещении его в сушильный аппарат при температуре 130 °С.

Кислотность определяли по ГОСТ 31470–2012 «Мясо птицы, субпродукты и полуфабрикаты из мяса птицы. Методы органолептических и физико-химических исследований». Суть метода заключается в том, что водную вытяжку из исследуемого продукта титруют раствором щелочи.

Массовую долю углеводов также определяли по ГОСТ 31470–2012. Мясо птицы, субпродукты и полуфабрикаты из мяса птицы. Методы органолептических и физико-химических исследований».

В таблице 1 представлены рецептуры рубленых котлет из мяса сельскохозяйственной птицы, приготовленные по традиционной рецептуре и с частичной заменой мяса кур на мясо птицы механической обвалки.

Таблица 1.

Рецептуры рубленых котлет из мяса сельскохозяйственной птицы

Table 1.

Recipes of chopped cutlets from poultry meat

Наименование Name	Количество сырья, % на 100 кг | Quantity of raw materials, % per 100 kg				
	традиционная рецептура traditional recipe	модельные образцы | model samples			
		10%	20%	30%	40%
Курица | Chicken	154	126	117	102,34	86,63
Мясо птицы механической обвалки Poultry meat of mechanical deboning	–	6,72	14,05	21,07	27,75
Хлеб пшеничный | Wheat bread	18	18	18	18	18
Молоко | Milk	26	26	26	26	26
Сухари | Crackers	10	10	10	10	10
Масло подсолнечное | Sunflower oil	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6

При исследовании готовых рубленых котлет из мяса сельскохозяйственной птицы, полученных путем жарки традиционным способом была применена балльная оценка качества. Органолептические показатели оценивали по 5-балльной шкале. Были определены следующие базовые значения оценочной шкалы: «5» – отличного качества, «4» – хорошего, «3» – удовлетворительного, «2» – плохого, «1» – очень плохого качества. Общая балльная оценка проводилась отдельно по каждому образцу.

Органолептическая оценка проводилась путем дегустации готовых рубленых котлет. В дегустации принимали участие преподаватели, обучающиеся кафедры химии МГТУ им Г.И. Носова, персонал предприятия общественного питания «Ланч кафе».

Результаты и обсуждение

Для приготовления рубленых полуфабрикатов мясо птицы механической обвалки является нестандартным сырьем.

Оценка органолептических показателей образцов рубленых котлет из мяса сельскохозяйственной птицы, приготовленных по традиционной технологии и видоизменной рецептуры представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Балльная оценка органолептических показателей качества рубленых котлет из мяса сельскохозяйственной птицы

Table 2.

Score assessment of organoleptic quality indicators of chopped cutlets from poultry meat

Образец | Sample	Оценка образцов по 5-балльной шкале | Evaluation of samples on a 5-point scale			
	Внешний вид и цвет| Appearance and color	Структура и консистенция | Structure and consistency	Запах, вкус и аромат готовых изделий| Smell, taste and aroma of finished products	Общая оценка, баллы | Overall score, points
Контроль | Control	49	48	48	145
1	48	46	48	142
2	45	40	39	124
3	40	36	32	108
4	40	34	30	104

Органолептические показатели определяли в готовых котлетах, обжаренных с обеих сторон, и доведенных до готовности в жарочном шкафу (рисунок 1).

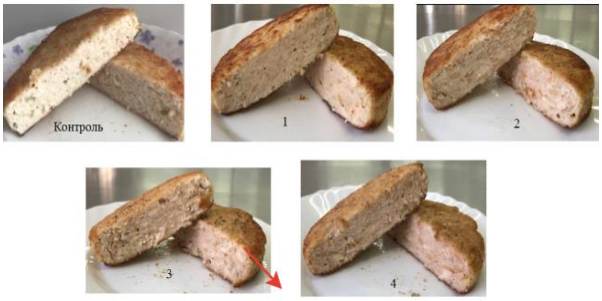


Рисунок 1. Внешний вид модельных образцов котлет рубленых

Figure 1. Appearance of model samples of chopped cutlets

В результате органолептической оценки модельных образцов было установлено, что максимальное количество баллов имеет образец 1. Модельный образец 1 имеет ровную без трещин поверхность, плотную и упругую консистенцию, с однородной структурой мясного фарша на разрезе. Модельный образец 1 отличается приятным куриным вкусом. Тогда как образец под номером 2, 3 и 4 имеет значительные трещины в панировке, консистенция фарша рыхлая. Все образцы без постороннего запаха, однако, в контрольном, первом и втором образцах отмечается куриный вкус, в третьем он становится приглушенным и появляется незначительная горечь, а модельный образец 4 имеет явно выраженный вкус мяса механической обвалки.

Результаты физико-химических показателей качества контрольного и модельных образцов представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Физико-химические показатели качества рубленых котлет из мяса сельскохозяйственной птицы

Table 3.

Score assessment of organoleptic quality indicators of chopped cutlets from poultry meat

Показатель Indicator	Модельные образцы | Model samples				
	Контроль | Control	1	2	3	4
Массовая доля общей золы | Mass fraction of total ash, %	2	2,34	2,34	2,67	2,67
Массовая доля влаги | Mass fraction of moisture, %	59,1	56,9	55,4	56,4	56,0
Общая кислотность | Total acidity, ◦T	3,6	3,5	3,2	3,2	3,0
Массовая доля углеводов | Mass fraction of carbohydrates, %	4,95	5,1	5,125	5,15	5,175
Массовая доля жира, | Mass fraction of fat%	16,11	17,32	17,54	21,76	22,99
Массовая доля белка, | Mass fraction of protein%	29,37	27,93	26,49	25,04	23,6

Анализируя данные таблицы 3 можно сказать, что при увеличении замены мяса кур на мясо птицы механической обвалки в рецептурах рубленых котлет происходит увеличение массовой доли зольных элементов. Считаем, что это связано, прежде всего, с наличием в мясе механической обвалки остатка костной ткани, который характеризуется более высоким по сравнению с фаршем, полученным при ручной обвалке содержанием кальция и других минеральных веществ. Поэтому с увеличением закладки мяса механической обвалки, увеличивается и содержание золы.

Также при увеличении закладки мяса механической обвалки уменьшается влажность изделий. Считаем, что связано это с соотношением

калия-натрия в мясном фарше. Так, при получении мясного фарша ручной обвалки содержание калия больше, а натрия меньше. При получении мясного фарша механической обвалки это соотношение меняется в противоположную сторону. Таким образом, при увеличении в рецептуре закладки мясного фарша изменяется влагоудерживающая способность.

Изменение кислотности в модельных образцах связано это с тем, что с увеличением доли содержания соединительной ткани, в которой имеется гидрооксипролин, количество незаменимых аминокислот уменьшается.

По полученным результатам видно, что с увеличение замены куриного фарша на мясо механической обвалки, увеличивается и содержание углеводов. Это происходит по причине того, что при механической обвалке в фарш переходит костная ткань и её компоненты. А мясо птицы содержит небольшое количество полисахарида гликогена и не является источником углеводов в питании человека.

Большее содержание жира было обнаружено в модульном образце 4. Это обусловлено тем, что в приготовлении котлет использовалась грудинка, которая входит в состав мышечной ткани и отличается низким содержанием жира. А в мясе механической обвалки жира больше, так как при обвалке компоненты костной ткани переходят в мышечную.

Содержание белков снижается по мере добавления фарша механической обвалки. Связано это с тем, что состав мяса курицы отличается от состава мяса механической обвалки большим содержание белков. В процессе получения мяса механической обвалки в готовый фарш переходит костный мозг, который содержит гемовые пигменты, костный жир. В результате в мясном полуфабрикате увеличивается содержание жира, и снижает количество общего белка. При этом, биологическая ценность белков мясного фарша механической и ручной обвалки значительно не отличается. Модельные образцы 3 и 4 имеют высокие показатели по массовой доли жира, что не допускается требованиями нормативных документов.

Заключение

В ходе проведенных исследований установили, что частичная замена мяса кур на мясо механической обвалки способствует:

— улучшению органолептических, структурно-механических характеристик мясного фарша и готовых изделий;

— повышению пищевой и биологической ценности рубленых полуфабрикатов;

— снижению себестоимости мясных полуфабрикатов из мяса сельскохозяйственной птицы.

Оптимальная дозировка замены в рубленых полуфабрикатах части мяса кур на мясо механической обвалки составляет 10%.

Литература

1 Gorelik O.V., Kharlap S.Yu., Derkho M.A., Dolmatova I.A. et al. Influence of transport stress on the adaptation potential of chicken /// Ukrainian Journal of Ecology. 2020. V. 10. № 2. P. 260–263.

2 Stanik R., Lucas P., Langkamp A., Modler N. et al. Influence of heat pretreatment on cross-linking behavior and thermal properties of thermoset semi-finished products with powder resin systems // Composites Theory and Practice. 2017. V. 17. №. 2. P. 114–118.

3 Асенова Б.К., Жуманова Г.Т., Ребезов М.Б., Вайтанис М.А. и др. Способ производства мясных полуфабрикатов. 2018.

4 Горелик О.В., Долматова И.А. Развитие птицеводства в Российской Федерации // Актуальные вопросы развития современного общества // Сборник научных статей 10-й Всероссийской научно-практической конференции. 2020. С. 139–143.

5 ГОСТ 9959–2015. Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценки. М.: Стандартинформ, 2016.

6 ГОСТ Р 52349–2005. Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения.

7 Клычкова М.В., Кичко Ю.С., Романко М.Д., Мирошникова Е.П. Разработка новых видов рубленых полуфабрикатов // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. №. 2. С. 70–75. doi: 10.20914/2310–1202–2019–2–70–75

8 Лаврёнова З.И., Назарова Н.Е. Разработка технологии производства продуктов из мяса птицы профилактического назначения (копчено-запеченный галантин из мяса кур с болгарским перцем) // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 3. С. 272–277. doi:10.20914/2310–1202–2018–3–272–277

9 Назарова Н.Е. Инновации в технологии производства продуктов здорового питания // Современная наука: инновации, гипотезы, открытия: материалы и доклады всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Княгинино: Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, 2017. С. 222–225.

10 Ребезов Я.М. Показатели качества блюд из мяса индейки в зависимости от способа тепловой обработки // Качество продукции, технологий и образования. 2018. С. 124–128.

11 Zhumanova G., Rebezov M., Assenova B., Okuskhanova E. Prospects of using Poultry by-Products in the technology of chopped semi-finished products // International Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018. V. 7. №. 3.34. P. 495-498. doi: 10.14419/ijet.v7i3.34.19367

12 Borisova V.L., Terentyev S.E., Stefanova I.L., Sazonova E.A. et al. Effective use of meat of meat-and-egg chicken and eggs for the production of specialized semi-finished products // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. V. 699. №. 1. P. 012022.

13 Abdullaeva A.M., Seryogin I.G., Nikitchenko V.E. Microbiological monitoring of commercial poultry meat semi-finished products // RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2017. V. 12. №. 4. P. 350-358.

14 Timakova R.T., Tikhonov S.L., Tikhonova N.Y.V., Gorlov I.F. Effect of various doses of ionizing radiation on the safety of meat semi-finished products // Foods and Raw materials. 2018. V. 6. №. 1. P. 120.

15 Sofos J.N. Meat and meat products // Food safety management. Academic Press, 2014. P. 119-162. doi: 10.1016/B978-0-12-381504-0.00006-8

16 Cobos A., Díaz O. Chemical composition of meat and meat products // Handbook of food chemistry. 2015. P. 1-32. doi: 10.1007/978-3-642-36605-5_6

17 Petracci M., Bianchi M., Mudalal S., Cavani C. Functional ingredients for poultry meat products // Trends in food science & technology. 2013. V. 33. №. 1. P. 27-39. doi: 10.1016/j.tifs.2013.06.004

18 Doosti A., Ghasemi Dehkordi P., Rahimi E. Molecular assay to fraud identification of meat products // Journal of food science and technology. 2014. V. 51. №. 1. P. 148-152. doi: 10.1007/s13197-011-0456-3

19 Kumar A., Kumar R.R., Sharma B.D., Gokulakrishnan P. et al. Identification of species origin of meat and meat products on the DNA basis: a review // Critical reviews in food science and nutrition. 2015. V. 55. №. 10. P. 1340-1351. doi: 10.1080/10408398.2012.693978

20 Bohrer B. M. Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein // Trends in Food Science & Technology. 2017. V. 65. P. 103-112. doi: 10.1016/j.tifs.2017.04.016

References

1 Gorelik O.V., Kharlap S.Y., Derkho M.A., Dolmatova I.A. et al. Influence of transport stress on the adaptation potential of chicken. Ukrainian Journal of Ecology. 2020. vol. 10. n. 2. pp. 260–263. (in Russian).

2 Stanik R., Lucas P., Langkamp A., Modler N. et al. Influence of heat pretreatment on cross-linking behavior and thermal properties of thermoset semi-finished products with powder resin systems. Composites Theory and Practice. 2017. vol. 17. no. 2. pp. 114–118. (in Russian).

3 Asenova B.K., Zhumanova G.T., Rebezov M.B., Vaitanis M.A. etc. Method for the production of meat semi-finished products. 2018. (in Russian).

4 Gorelik O.V., Dolmatova I.A. Development of poultry farming in the Russian Federation. Topical issues of modern society development. Collection of scientific articles of the 10th All-Russian scientific-practical conference. 2020. pp. 139–143. (in Russian).

5 GOST 9959–2015. Meat and meat products. General conditions for organoleptic assessment. M.: Standartinform, 2016. (in Russian).

6 GOST R 52349–2005. Food products. Functional food products. Terms and definitions. (in Russian).

7 Klychkova M.V., Kichko Y.S., Romanko M.D., Miroshnikova E.P. Development of new types of chopped semi-finished products. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2019. vol. 81. no. 2. pp. 70–75. doi: 10.20914/2310–1202–2019–2–70–75 (in Russian).

8 Lavrenova Z.I., Nazarova N.E. Technology development for prophylactic poultry products manufacture (smoked-baked galantine from chicken meat with bell pepper). Proceedings of VSUET. 2018. vol. 80. no. 3. pp. 272–277. doi: 10.20914/2310–1202–2018–3–272–277. (in Russian).

9 Nazarova N.E. Innovations in healthy food production technology. Modern science: innovations, hypotheses, discoveries. Materials and reports of the All-Russian scientific-practical conference with international participation. Knyaginino: Nizhny Novgorod State Engineering and Economic Institute, 2017. pp. 222–225. (in Russian).

10 Rebezov Y.M. Quality indicators of turkey meat dishes depending on the method of heat treatment. Quality of products, technologies and education. 2018. pp. 124–128. (in Russian).

11 Zhumanova G., Rebezov M., Assenova B., Okuskhanova E. Prospects of using Poultry by-Products in the technology of chopped semi-finished products. International Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018. vol. 7. no. 3.34. pp. 495-498. doi: 10.14419/ijet.v7i3.34.19367

12 Borisova V.L., Terentyev S.E., Stefanova I.L., Sazonova E.A. et al. Effective use of meat of meat-and-egg chicken and eggs for the production of specialized semi-finished products. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. vol. 699. no. 1. pp. 012022.

13 Abdullaeva A.M., Seryogin I.G., Nikitchenko V.E. Microbiological monitoring of commercial poultry meat semi-finished products. RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2017. vol. 12. no. 4. pp. 350-358.

14 Timakova R.T., Tikhonov S.L., Tikhonova N.Y.V., Gorlov I.F. Effect of various doses of ionizing radiation on the safety of meat semi-finished products. Foods and Raw materials. 2018. vol. 6. no. 1. pp. 120.

15 Sofos J.N. Meat and meat products. Food safety management. Academic Press, 2014. pp. 119-162. doi: 10.1016/B978-0-12-381504-0.00006-8

16 Cobos A., Díaz O. Chemical composition of meat and meat products. Handbook of food chemistry. 2015. pp. 1-32. doi: 10.1007/978-3-642-36605-5_6

17 Petracci M., Bianchi M., Mudalal S., Cavani C. Functional ingredients for poultry meat products. Trends in food science & technology. 2013. vol. 33. no. 1. pp. 27-39. doi: 10.1016/j.tifs.2013.06.004

18 Doosti A., Ghasemi Dehkordi P., Rahimi E. Molecular assay to fraud identification of meat products. Journal of food science and technology. 2014. vol. 51. no. 1. pp. 148-152. doi: 10.1007/s13197-011-0456-3

19 Kumar A., Kumar R.R., Sharma B.D., Gokulakrishnan P. et al. Identification of species origin of meat and meat products on the DNA basis: a review. Critical reviews in food science and nutrition. 2015. vol. 55. no. 10. pp. 1340-1351. doi: 10.1080/10408398.2012.693978

20 Bohrer B. M. Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein. Trends in Food Science & Technology. 2017. vol. 65. pp. 103-112. doi: 10.1016/j.tifs.2017.04.016

Сведения об авторах

Ирина А. Долматова к.с.-х.н., доцент, кафедра химии, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, пр-т Ленина, 38, г. Магнитогорск, 455000, Россия, dl.alina@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0002-3736-193X

Ольга В. Горелик д.с.-х.н., профессор, кафедра биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, ул. Карла Либкнехта, 42, г. Екатеринбург, 620075, Россия, olgao205en@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-9546-2069

Татьяна Н. Зайцева к.б.н., доцент, кафедра химии, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, пр-т Ленина, 38, г. Магнитогорск, 455000, Россия, tatyananick@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-4238-9774

Юлия А. Бессонова к.э.н, кафедра химии, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, пр-т Ленина, 38, Магнитогорск, 455000, Россия, 74bessonova96@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-8027-3567

Вера Ф. Рябова доцент, кафедра химии, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова , пр-т Ленина, 38, Магнитогорск, 455000, Россия, vera_ryabova1@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9635-4924

Information about authors

Irina A. Dolmatova Cand. Sci. (Agric.), associate professor, chemistry department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Lenin Av., 38, Magnitogorsk 455000, Russia, dl.alina@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0002-3736-193X

Olga V. Gorelik Dr. Sci. (Agric.), professor, biotechnology and food products department, Ural State Agrarian University, Karla Liebknekhta St., 42, Yekaterinburg, 620075, Russia, olgao205en@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-9546-2069

Tatiana N. Zaitseva Cand. Sci. (Biol.), associate professor, chemistry department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Lenin Av., 38, Magnitogorsk, 455000, Russia, tatyananick@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-4238-9774

Julia A. Bessonova Cand. Sci. (Econ.), chemistry department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Lenin Av., 38, Magnitogorsk, 455000, Russia, 74bessonova96@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-8027-3567

Vera F. Ryabova associate professor, chemistry department, Nosov Magnitogorsk State Technica, Lenin Av., 38, Magnitogorsk, 455000, Russia, vera_ryabova1@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9635-4924

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 17/01/2022	**После редакции** 01/02/2022	**Принята в печать** 18/02/2022

Received 17/01/2022	**Accepted in revised** 01/02/2022	**Accepted** 18/02/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-122-127 Оригинальная статья/Research article
УДК 613.2.03 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Особенности питания тяжелоатлетов

Виктор А. Питкин [1] irvik25@mail.ru 0000-0001-6356-6501
Александр П. Шабельный [2] neonfx2017@mail.ru

1 Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, город Краснодар. 350072, Россия
2 Краснодарский краевой базовый медицинский колледж министерства здравоохранения Краснодарского края, ул. Таманская, 137, г. Краснодар. 350001, Россия

Аннотация. Каждому человеку хочется быть здоровым, сильным, энергичным, бодрым. Каждый желает выглядеть красивым и привлекательным. Постоянные физические нагрузки полезны любому человеку. Они не только предотвращают накопление избыточных килограммов и шлаков в оргазме, но и способствуют полноценной работе сердца, легких, мускулатуры, мозга, других органов и систем. Физическая нагрузка, поддерживая тело в хорошей форме, повышает умственную работоспособность и замедляет старение организма. Многие молодые люди нашего времени начинают задумываться на тему здорового образа жизни, спорта или же просто красивого, эстетически привлекательного внешнего вида. Ведь одна из философий спорта это умение поставить и через некоторый промежуток времени достичь желаемого результата. И зачастую первая мысль, которая их посещает – это поход в спортзал и поиск мнения специалистов в области набора мышечной массы и тяжелых физических тренировок. Как раз об этом и пойдет речь. Ведь сейчас существует множество источников информации, которые, порой, противоречат друг другу и запутаться в них очень легко. Большой объем информации не страшен студентам, но обыватели склонны полагаться на популярное мнение, которое часто поверхностное, и не лишено предрассудков или же не корректно трактует то, что уже давно известно. Так как тема питания именно спортсменов тяжелоатлетов крайне сложна по причине того, что в обычной жизни человеку не приходится тратить огромное количество энергии на физические нагрузки. Дневная норма среднестатистического человека, для тяжелоатлета окажется легким перекусом перед полноценным обедом, но также стоит учитывать то, что профессионалы принимают специальное спортивное питание, которое необходимо только лишь спортсменам для достижения максимального эффекта в кратчайшие сроки. В этой статье приведены результаты, анализ питания спортсменов тяжелоатлетов, его особенностей и возможность его реализации в реалиях студенческой жизни, краткое объяснение принципов и назначения спортивного питания.

Ключевые слова: спорт, тяжелая атлетика, тренажёрный зал, режим питания, образ жизни, студенты.

Nutritional features of weightlifters

Victor A. Pitkin [1] irvik25@mail.ru 0000-0001-6356-6501
Alexsandr P. Shabelny [2] neonfx2017@mail.ru

1 Kuban State Technological University, Moskovskaya str., 2. Krasnodar. 350072, Russia
2 Krasnodar Regional Basic Medical College of the Ministry of Health of the Krasnodar Region, 137 Tamanskaya str., Krasnodar. 350001, Russia

Abstract. Every person wants to be healthy, strong, energetic, cheerful. Everyone wants to look beautiful and attractive. Regular exercise is good for everyone. They not only prevent the accumulation of excess kilograms and toxins in orgasm, but also contribute to the full functioning of the heart, lungs, muscles, brain, and other organs and systems. Physical activity, keeping the body in good shape, increases mental performance and slows down the aging of the body.Many young people of our time are beginning to think about a healthy lifestyle, sports, or just a beautiful, aesthetically attractive appearance. After all, one of the philosophies of sports is the ability to deliver and achieve the desired result after a certain period of time. And often the first thought that visits them is going to the gym and looking for the opinion of experts in the field of gaining muscle mass and heavy physical training. This is exactly what will be discussed. After all, now there are many sources of information that, sometimes, contradict each other and it is very easy to get confused in them. A large amount of information is not terrible for students, but ordinary people tend to rely on popular opinion, which is often superficial, and is not without prejudice, or does not correctly interpret what has long been known. Since the topic of nutrition for weightlifters is extremely difficult due to the fact that in ordinary life a person does not have to spend a huge amount of energy on physical exertion. The daily norm of an average person, for a weightlifter, will be a light snack before a full lunch, but it is also worth considering that professionals take special sports nutrition, which is necessary only for athletes to achieve maximum effect in the shortest possible time. This article presents the results, an analysis of the nutrition of weightlifters, its features and the possibility of its implementation in the realities of student life, a brief explanation of the principles and purpose of sports nutrition.

Keywords: sports, weightlifting, gym, diet, lifestyle, students

Введение

Важнейшим элементом жизни человека является питание, поскольку оно обеспечивает работоспособность человека. Объяснение особенностей рациона питания при активных тренировках в зале позволяет обосновать необходимые и профилактические мероприятия, что повысит уровень понимания важности своего здоровья среди студентов [7].

Цель работы – объяснить принципы и факторы питания тяжелоатлетов донеся их до начинающих атлетов.

Методы

В реальных условиях подготовки большинству спортсменов, особенно студентам приходится самостоятельно выстраивать рацион и устанавливать график приёма пищи в соответствии с графиком

Для цитирования
Питкин В.А., Шабельный А.П. Особенности питания тяжелоатлетов // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 122–127. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-122-127

For citation
Pitkin V.A., Shabelny A.P. Nutritional features of weightlifters. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 122–127. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-122-127

© 2022, Питкин В.А. и др. / Pitkin V.A.et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

тренировок. Сложившаяся ситуация вызывает диссонанс при подготовке спортсменов [1].

При адаптации к большим физическим нагрузкам происходит существенная перестройка обменных процессов, направленных на экономию затраты энергии, на поддержание работы функциональных систем организма и направление её на повышение его устойчивости к экстремальным воздействиям.

Для сокращения сроков восстановления метаболических функций и поддержания высокой работоспособности спортсменов при выполнении больших тренировочных нагрузок необходима прежде всего правильная организация питания. Которая подразумевает оптимальное соотношение поступающих с пищей микро- и макронутриентов, основных витаминов в достаточном для организма спортсмена количестве и общей энергетической ценности.

Для тяжёлой атлетики характерно высококалорийное питание. Средняя калорийность дневного рациона спортсмена-тяжелоатлета составляет 3500–4500 кКал. для мужчины (70 кг) и 3000–4000 кКал. для женщины (60 кг). В период интенсивных тренировок и набора массы калорийность суточного рациона возрастает пропорционально росту физических нагрузок, испытываемых организмом спортсмена. Соотношение основных пищевых веществ составляет: белки – 18–20%; жиры – 31–32%; углеводы – 49–50%. Целесообразным считается включать в рацион специализированные продукты питания, имеющие ряд преимуществ по сравнению с традиционными продуктами. Использование специализированных продуктов, обладающих лёгкой усвояемостью, высокой удельной калорийностью и небольшим объёмом.

Таблица 1.

Количество килокалорий и грамм на килограмм веса спортсмена

Table 1.

The number of calories and grams per kilogram of an athlete's weight

Вид спорта | Sports	Белки | Proteins	Жиры | Fats	Углеводы | Carbohydrates	Калорийность | Calories
Гимнастика | Gymnastics	2,5	1,9	9,75	66
Лёгкая атлетика | Athletics	2,5	2	9,8	67
Марафон | Marathon	2,9	2,2	13	84
Плавание | Swimming	2,5	2,4	10	72
Тяжёлая | атлетика | Weightlifting	2,9	2	11,8	77
Борьба | Wrestling	2,8	2,2	11	75
Игровые виды спорта Team | sports	2,6	2,2	10,6	72
Велоспорт | Cycling	2,7	2,1	14,3	87

На основании приведённых данных можно сделать вывод, что для правильного питания спортсмена-тяжелоатлета необходима разработка рационов питания повышенной калорийности, состоящих из натуральных продуктов. Также необходимо обогащать рацион питания спортсмена функциональными напитками, повышающими общую калорийность рациона, но не нагружающими пищеварительную систему. К таким напиткам могут относиться сок содержащие напитки, а также плодовоовощные настои и отвары, обогащённые источниками «быстрой» биоэнергии, в частности мальтозой. Подобные продукты должны содержать основные витамины и антиаксидативные вещества, так как любая спортивная деятельность связана с обильным поступлением кислорода в организм спортсмена, следовательно, необходимы естественные источники, предотвращающие излишние окислительные процессы. Одним из подобных веществ можно считать витамин С.

Стоит помнить, что при приеме белка более чем 3 г/кг не рекомендуется, так как организм как правило не способен усвоить такой объём. А потребление недостаточного объема белка (менее 1,5 г на килограмм веса тела) приведет к повышенному выведению из организма витамина С, тиамина, пиридоксина, солей калия, а также рибофлавина.

Раз мы затронули тему спортивного питания надо объяснить, что это такое и зачем оно нужно. Спортивное питание (спортпит) – это особая группа пищевых добавок, выпускающаяся преимущественно для людей, ведущих активный образ жизни, занимающихся спортом и фитнесом и профессиональных спортсменов, при подготовке к соревнованиям [8].

Самые известные на данный момент в обществе это: протеин, гейнер, L-карнитин, BCAA и креатин. Начнем разбор каждого из представленных выше спортивных добавок.

Протеин – это спортивная добавка, которая сделана на основе белковых смесей [14]. В пищеварительном тракте протеин расщепляется ферментами до аминокислот, которые всасываются в кровь и затем используются мышцами и другими

тканями. На данный момент существует 3 распространенные вида «спортивного» протеина: казеиновый или медленный белок, сывороточный или быстрый белок и комплексный белок [15].

Гейнер – это класс спортивного питания, представляющий собой белково-углеводные смеси. Главная функция гейнера – увеличение массы тела и быстрое восполнение энергетических запасов [10].

L-карнитин – это естественное вещество, родственное витаминам группы В, выполняет в организме ряд важных функций, не является жиросжигателем, а является транспортером жировой ткани в митохондрии мышц, где при аэробных нагрузках эта жировая ткань превращается в энергию [16].

BCAA – это комплекс, состоящий из трех незаменимых аминокислот: лейцин, изолейцин, валин; основной материал для построения новых мышц, эти незаменимые аминокислоты составляют 35% всех аминокислот в мышцах и принимают важное участие в процессах анаболизма и восстановления, обладают антикатаболическим действием [17].

Креатин – это азотсодержащая карбоновая кислота, которая участвует в энергетическом обмене в мышечных и нервных клетках. В мире бодибилдинга креатин широко используется как спортивная добавка для увеличения силы, мышечной массы и кратковременной анаэробной выносливости [19].

Материалы и методы

Определение энергетических потерь важная задача, ведь на расчёте затраченных калорий основывается рацион питания спортсмена. Среди известных сейчас методов расчёта энергозатрат учитывают уникальные особенности организма человека такие методы как уравнение Харриса-Бенедикта, определение энергозатрат на основании измерения частоты сердечных сокращений (ЧСС) [18].

Метод определения энергозатрат на основе частоты сердечных сокращений (ЧСС) – основывается на замере частоты сердечных сокращений после выполнения физических упражнений. Расчёт производится по формуле [83]: $E = 0{,}014G\times t\times(0{,}12f-7)$ (2), E – энергетические затраты в килокалориях; G – масса тела в килограммах; t – время выполнения упражнения в минутах; f – количество ЧСС в минуту. Для настоящей работы подходит использование метода ЧСС для точного определения энергозатрат при физических нагрузках. Для определения суточных энергопотерь необходимо использовать данный метод в связке с уравнением Харриса-Бенедикта. [11]

Расчётный метод с помощью уравнения Харриса-Бенедикта – метод основан на подсчёте основного энергетического обмена (ОЭО), с помощью уравнений: ОЭО = 88,36 + (13,39 × МТ) + +(4,79 × Р) – (5,67 × В) (1), ОЭО – основной энергетический обмен (ккал/сут.); МТ – масса тела (кг); Р – рост (см); В – возраст [13].

Использование выбранных методов наиболее полноценно определяет затрачиваемое количество энергии спортсменов.

Результаты и обсуждение

Количество потребляемого белка зависит от интенсивности тренировок и может рассчитываться по формуле:

$$\text{дневная потребность белка, (г)} = \text{СМТ}\times\text{ФИ} \quad (1)$$

где: СМТ – сухая масса тела; ФИ – фактор интенсивности.

Значение факторов интенсивности приведено в таблице 2.

Таблица 2.

Значение факторов интенсивности тренировок

Table 2.

Importance of intensity factors workouts

Фактор интенсивности Intensity factor	Тип нагрузки Load type
1,4	Умеренные атлетические тренировки 3 раза в неделю | Moderate athletic training 3 times a week
1,6	Ежедневные умеренные аэробные тренировки | Daily moderate aerobic exercise
1,8	Ежедневные интенсивные тренировки | Daily intense training
2,0	Предсоревновательная подготовка | Precompetition preparation

Чем ближе аминокислотный состав белков пищи к составу белка организма человека, тем он ценнее. С этой точки зрения наиболее ценными источниками белка являются яйца, молоко, мясо. В растительных белках часто не хватает таких незаменимых аминокислот, как лизин, метионин и триптофан.

Потребность взрослого человека в жире обеспечивается его количеством, дающим около 30% общей калорийности пищи. Необходимо подчеркнуть, что биологическая ценность жира определяется не только его очень высокой калорийностью, но и наличием в нём отдельных полиненасыщенных жирных кислот, которые

выполняют весьма важную роль в обмене веществ, а возможность их синтеза в организме крайне ограничена. Поэтому совершенно необходимым представляется включение в рацион растительных масел, количество которых должно составлять примерно 25% общего количества жира [9].

При соблюдении диет с низким содержанием жиров у тяжелоатлетов наблюдается отрицательные сдвиги в общем состоянии и работоспособности. При почти полном отказе от жиров мышечная сила снижается на 11%, выносливость на 14%, энергетика на 9%. Кроме того, нарушается гормональная регуляция.

Таким образом, как избыток, так и недостаток жиров нежелательны в питании спортсменов и людей, активно занимающихся физкультурой. Содержание жиров в рационе, по рекомендациям различных специалистов, должно составлять от 10 до 30% от общей суточной калорийности пищи [6].

Основной задачей при составлении рационов является точное определение тренировочного этапа подготовки спортсмена и необходимого количества поступающих с пищей жиров. Также очевидным является, что жиры, как и белки, необходимы организму как растительного, так и животного происхождения, что определяет потребление разнообразной пищи [4].

Учитывая роль углеводов в поддержании уровня субстратов анаэробного и аэробного путей обеспечения энергией работающих мышц, сохранению высокой квоты углеводов в общей калорийности рациона спортсменов должно уделяться особое внимание. При этом увеличение потребления углеводов может быть получено за счёт сокращения в первую очередь доли жиров, а также белков. Первичным источником глюкозы в работающей мышце являются собственные запасы мышцы. При их истощении включается пополнение глюкозы за счёт гликогенолиза (гидролиз гликогена), а затем за счёт глюконеогенеза (биосинтез глюкозы из белков и жиров). Оба процесса протекают в печени. При продолжении физической работы около 90 мин начинают прогрессивно снижаться запасы гликогена в мышцах. При снижении уровня гликогена до критического уровня интенсивная физическая работа не может продолжаться. При потреблении рациона с высоким содержанием углеводов, уровень гликогена в мышцах в условиях такого же режима тренировок остаётся высоким. Это говорит о том, что только ежедневное потребление рациона питания с достаточно высоким содержанием углеводов обеспечивает восполнение запасов гликогена в мышцах и поддержание физической работоспособности спортсменов.

Выбор типа углеводов в зависимости от фазы тренировочного процесса и соревнований.

Выбор типа углеводов – простые или сложные – может быть основан на их свойстве повышать концентрацию глюкозы в плазме крови, т. е. на гликемическом индексе. Углеводы с умеренным или высоким гликемическим индексом рекомендуется потреблять в первые 6–24 ч после физической нагрузки для быстрого восполнения запасов гликогена. В более поздние сроки после нагрузки хорошим эффектом на восполнение запасов гликогена обладают сложные углеводы с низким гликемическим индексом [5].

Анализируя имеющиеся методики питания и рационы спортсменов-тяжелоатлетов, хорошо просматривается чрезмерное сокращение потребления спортсменами натуральной пищи богатой углеводами, а также наличие широкого ряда рекомендаций по употреблению продуктов интенсивного питания, обогащённых углеводами. Данная тенденция может способствовать нарушению работы эндокринной системы человека, а в частности развитию такого заболевания как сахарный диабет.

Для урегулирования сложившейся проблемы необходимо обогащение рациона спортсмена натуральными углеводсодержащими продуктами. Важным является выстраивать их потребление так, чтобы соблюсти равновесие в необходимости и достаточности поступления углеводов в организм.

Адекватный уровень показателя влаги в организме является важным фактором для оптимального выполнения тренировочных нагрузок. Потери воды спортсмена с массой тела 70 кг при умеренной физической нагрузке в течение часа достигают 1,5–2 л. При интенсивной физической нагрузке и высокой температуре окружающей среды могут составлять 2–3 л в час. С потом выводятся и электролиты – в основном ионы натрия, калия и хлора. Дегидратация приводит к уменьшению массы тела, а её снижение на 1–2% вызывает нарушения аэробного метаболизма и ухудшение энергообеспечения. Во избежание дегидратации необходимо восполнять потери воды и электролитов, иначе снижается физическая работоспособность [2].

Спортсмены должны принимать жидкость ещё до физических нагрузок. Но основная регидратация проводится после физических нагрузок. Приём жидкости должен превышать, по меньшей мере, на 50% ещё и количество, потерянное с потом. Обмен потребляемой воды должен компенсировать также текущее выведение жидкости с мочой. Потери каждого килограмма массы тела эквивалентны 750 мл воды, которую также необходимо восполнять как в процессе тренировок, так и после физических нагрузок.

Американские исследователи считают, что потребление жидкости, равное 150% или более потери массы тела может восстановить потерянную жидкость в течение 6 часов после нагрузки. Имеются и такие рекомендации: «пить жидкость до полного исчезновения чувства жажды и ещё сверх этого объёма 1–3 стакана для взрослых спортсменов, 1 стакан – для подростков и 100–125 мл для детей среднего школьного возраста» [12].

Анализируя полученные данные, следует сделать вывод, что правильно подобранный питьевой режим является одним из ключевых средств в достижении равновесия в процессе обмена веществ в организме, а, следовательно, задаёт положительную тенденцию в общей подготовке спортсмена. Для оптимального определения адекватного суточного объёма жидкости правильно определить сущность тренировочного процесса, климатические условия, в которых занимается спортсмен, а также учитывать индивидуальные особенности каждого спортсмена [3].

Справедливо заметить, что для достижения максимально положительного результата, подходит использование методов здоровьесберегающего питания при выстраивании питьевого режима спортсмена, так как данный метод основывается на принципах, направленных поддерживать гомеостаз, следовательно, учитываются индивидуальные особенности организма спортсмена [20].

По результату проведенной работы можно заключить, что если студент захочет заняться тяжелой атлетикой, то ему придётся приготовится к серьезным вложениям в свое питание и выделять приличное количество и так ограниченного времени на занятия в спортзале и вне его стен. Так как любое изменение в питании человека это коренное изменение образа его жизни, оно связанно с большим стрессом для организма, который может приводить к новым и удивительным открытиям в самом себе. Недаром говорят «мы то, что мы едим». Так же важно понять, что спортпит не панацея и с его помощью вы не сможете достичь красивой, эстетичной формы или развить огромную силу в одночасье. Спортпит может привести лишь к еще большим осложнениям со здоровьем, если не сразу, так в будущем. Если ты занялся спортом, надо делать это для самого себя, без оглядки на мнение окружающих, ведь наш ресурс ограничен.

Заключение

При анализе имеющейся научно-технической и специализированной литературы сделан вывод, что проблемы потребления белка спортсмена заключаются в отсутствии разнообразия пищи, преимущественном потреблении животного белка и практически полном исключении из рационов продуктов, богатых растительным белком. Следовательно, белковая пища в рационе спортсменов и людей, активно занимающихся спортом, не должна ограничиваться одним видом продукта.

Необходимо разнообразие в питании, важно правильное совмещение белковой и углеводной пищи, так как данные макроэлементы активно взаимодействуют в организме при построении новых клеток мышечной ткани.

Литература

1 Борисова О.О. Питание спортсменов: зарубежный опыт и практические рекомендации // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2010. №. 6. С. 21-22.

2 Тусинов А. Г. Формирование научной организации питания тяжелоатлетов юниоров на основе принципов здоровьесберегающего питания // Colloquium-journal. 2019. №. 8 (32). С. 10-11.

3 Питкин В.А., Холодная Л.А. Сравнительная характеристика социального одобрения феномена вегетарианства в России и Великобритании // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 3. С. 110–116. doi:10.20914/2310–1202–2020–3–110–116 С. 110–116.

4 Довыдов М.В., Зиновьев А.А., Ивачев А.А., Смирнов А.А. Питание как один из аспектов здорового образа жизни студентов технического вуза // Наукосфера. 2020. №. 11-1. С. 55-59.

5 Питкин В.А., Холодная Л.А. Гришко Т.А., Сумаркова Ю.В. и др. Взаимодействие правильного питания с физическими нагрузками // Глобальный научный потенциал. 2019. №. 3. С. 96.

6 Кайшева А.И., Лысенко Н.В., Ерёменко В.Н., Синько О.В., Питкин В.А. Влияние питания на функциональное состояние человека, занимающегося физической культурой // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2021. №. 2. С. 243-247.

7 Тимушкина Н.В. Пропаганда здорового питания у студентов С. 268–274.

8 Черноусова О.Д. Аспекты здорового питания студентов, активно занимающихся физической культурой // Университет xxi века: научное измерение. 2010. С. 332-334.

9 Холодная Л.А., Питкин В.А. Питание студентов в режиме рабочего дня // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 2. С. 67–71. doi:10.20914/2310–1202–2021–2–67–73

10 Еременко В.Н., Питкин В.А., Синько О.В., Дорошенко В.В. и др. Биологически активные добавки и их влияние на организм студента // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 3. С. 68–72. doi:10.20914/2310–1202–2021–3–68–72

11 Бойко Е. Питание и диета для спортсменов. Litres, 2018.

12 Особенности питания представителей силовых видов спорта. URL: http://sportwiki.to/Диета_при_тренировках_на_силу

13 Иброгимова Н. М., Абдумаликова Г. Х. Организация правильного питания юных спортсменов // Academic research in educational sciences. 2021. Т. 2. №. Special Issue 1. С. 33-37.

14 Макгрегор Р. Спортивное питание: Что есть до, во время и после тренировок. М.: Альпина Паблишер, 2016. 304 с.

15 Jovanov P., Đorđić V., Obradović B., Barak O. et al. Prevalence, knowledge and attitudes towards using sports supplements among young athletes // Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2019. V. 16. №. 1. P. 1–9. doi: 10.1186/s12970–019–0294–7
16 Naderi A., De Oliveira E.P., Ziegenfuss T.N., Willems M.E. Timing, optimal dose and intake duration of dietary supplements with evidence-based use in sports nutrition // Journal of exercise nutrition & biochemistry. 2016. V. 20. №. 4. P. 1. doi: 10.20463/jenb.2016.0031
17 Caraballo I., Domínguez R., Guerra-Hernandez E.J., Sánchez-Oliver A.J. Analysis of sports supplements consumption in young Spanish elite dinghy sailors // Nutrients. 2020. V. 12. №. 4. P. 993. doi: 10.3390/nu12040993
18 Mueller K., Hingst J. The athlete's guide to sports supplements. Human Kinetics, 2013.
19 Schönfeldt H.C., Hall N., Pretorius B. 12th IFDC 2017 Special Issue–High protein sports supplements: Protein quality 6and label compliance // Journal of Food Composition and Analysis. 2019. V. 83. P. 103293. doi: 10.1016/j.jfca.2019.103293
20 Гамза Н.А., Тернова Г.Г. Спортивная медицина. 2020.

References

1 Borisova O.O. Nutrition of athletes: foreign experience and practical recommendations. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2010. no. 6. pp. 21-22. (in Russian).
2 Tusinov A. G. Formation of the scientific organization of nutrition of junior weightlifters based on the principles of health-saving nutrition. Colloquium-journal. 2019. no. 8 (32). pp. 10-11. (in Russian).
3 Pitkin V.A., Kholodnaya L.A. Comparative characteristics of the social approval of the phenomenon of vegetarianism in Russia and the UK. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 3. pp. 110–116. doi:10.20914/2310–1202–2020–3–110–116 pp. 110–116. (in Russian).
4 Dovydov M.V., Zinoviev A.A., Ivachev A.A., Smirnov A.A. Nutrition as one of the aspects of a healthy lifestyle for students of a technical university. Naukosphere. 2020. no. 11-1. pp. 55-59. (in Russian).
5 Pitkin V.A., Kholodnaya L.A. Grishko T.A., Sumarkova Yu.V. et al. Interaction of proper nutrition with physical loads. Global Scientific Potential. 2019. no. 3. pp. 96. (in Russian).
6 Kaisheva A.I., Lysenko N.V., Eremenko V.N., Sin'ko O.V., Pitkin V.A. Influence of nutrition on the functional state of a person engaged in physical culture. Nauka. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). 2021. no. 2. pp. 243-247. (in Russian).
7 Timushkina N.V. Promoting healthy eating among students. pp. 268–274. (in Russian).
8 Chernousova O.D. Aspects of healthy nutrition of students actively involved in physical culture. University of the 21st century: scientific measurement. 2010. pp. 332-334. (in Russian).
9 Kholodnaya L.A., Pitkin V.A. Nutrition of students during the working day. Proceedings of VSUET. 2021. vol. 83. no. 2. pp. 67–71. doi:10.20914/2310–1202–2021–2–67–73 (in Russian).
10 Eremenko V.N., Pitkin V.A., Sinko O.V., Doroshenko V.V. et al. Biologically active additives and their influence on the student's body. Proceedings of VSUET. 2021. vol. 83. no. 3. pp. 68–72. doi:10.20914/2310–1202–2021–3–68–72 (in Russian).
11 Boyko E. Nutrition and diet for athletes. Letters, 2018. (in Russian).
12 Features of nutrition of representatives of power sports. Available at: http://sportwiki.to/diet_for_strength_training
13 Ibrogimova N. M., Abdumalikova G. Kh. Organization of proper nutrition of young athletes. Academic research in educational sciences. 2021. vol. 2. no. Special Issue 1. pp. 33-37. (in Russian).
14 McGregor R. Sports nutrition: What to eat before, during and after training. Moscow, Alpina Publisher, 2016. 304 p.
15 Jovanov P., Đorđić V., Obradović B., Barak O. et al. Prevalence, knowledge and attitudes towards using sports supplements among young athletes. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2019. vol. 16. no. 1. pp. 1–9. doi: 10.1186/s12970–019–0294–7
16 Naderi A., De Oliveira E.P., Ziegenfuss T.N., Willems M.E. Timing, optimal dose and intake duration of dietary supplements with evidence-based use in sports nutrition. Journal of exercise nutrition & biochemistry. 2016. vol. 20. no. 4. pp. 1. doi: 10.20463/jenb.2016.0031
17 Caraballo I., Domínguez R., Guerra-Hernandez E.J., Sánchez-Oliver A.J. Analysis of sports supplements consumption in young Spanish elite dinghy sailors. Nutrients. 2020. vol. 12. no. 4. pp. 993. doi: 10.3390/nu12040993
18 Mueller K., Hingst J. The athlete's guide to sports supplements. Human Kinetics, 2013.
19 Schönfeldt H.C., Hall N., Pretorius B. 12th IFDC 2017 Special Issue–High protein sports supplements: Protein quality 6and label compliance. Journal of Food Composition and Analysis. 2019. vol. 83. pp. 103293. doi: 10.1016/j.jfca.2019.103293
20 Gamza N.A., Ternova G.G. Sports medicine. 2020. (in Russian).

Сведения об авторах

Виктор А. Питкин старший преподаватель, кафедра физического воспитания и спорта, Кубанский государственный технологический университет, улица Московская, 2, город Краснодар 350072, Россия, irvik25@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6356-6501

Александр П. Шабельный преподаватель, физического воспитания, Краснодарский краевой базовый медицинский колледж министерства здравоохранения Краснодарского края, ул. Таманская 137, город Краснодар. 350001, Россия, neonfx2017@mail.ru

Information about authors

Victor A. Pitkin senior lecturer, physical education and sports department, Kuban State Technological University, Moskovskaya str., 2. Krasnodar. 350072 Russia, irvik25@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6356-6501

Alexsandr P. Shabelny lecturer, physical education department, Krasnodar Regional medical Colledge of the Ministry of Health of the Krasnodar, Tamanskaya Str.,137. Krasnodar. 350001, Russia, neonfx2017@mail.ru

Вклад авторов

Виктор А. Питкин написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Александр П. Шабельный предложил методику проведения эксперимента

Contribution

Victor A. Pitkin wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Alexsandr P. Shabelny 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 19/04/2022	**После редакции** 12/05/2022	**Принята в печать** 01/06/2022
Received 19/04/2022	**Accepted in revised** 12/05/2022	**Accepted** 01/06/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-128-134 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.14 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Исследование влияния технологических факторов на изменение структурно-механических свойств затяжных аэрированных конфетных масс на основе сывороточных белков

Татьяна В. Калиновская [1] kalinovskaya_88@mail.ru 0000-000C-8052-2014
Владимир И. Омельчук [1] omelchukvova@rambler.ru 0000-0002-2709-8824
Александр В. Гаврилов [1] tehfac@mail.ru 0000-0003-3382-0307

1 Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, пр-т Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Россия

Аннотация. Статья посвящена исследованиям влияния технологических факторов на изменение структурно-механических свойств затяжных аэрированных конфетных масс на основе сывороточных белков. Определено влияние комбинированных белковых и гидроколлоидных систем на формирование структурных свойств сбивных конфетных масс типа «мягких нугатинов» с повышенной агрегативной устойчивостью. Установлено, что использование композиции структурообразователей желатин – гуммиарабик способствует улучшению стабильности конфетных масс на основе сывороточных белков при механическом воздействии и получении масс с глянцевой поверхностью. Научно обоснованы рациональные технологии сбивных конфетных масс с повышенной агрегативной стойкостью с применением белково-полисахаридных комплексов. Добавление сахарно-глюкозного сиропа к белковым пенам способствует увеличению пенообразования системы. Кроме того, положительное влияние сахаров объясняется увеличением вязкости объемной фазы, что снижает темпы потерь жидкости ламеллами и повышает стойкость систем. Реологическими исследованиями доказано, взаимодействие белковой пены сывороточного белка с комплексной смесью гидроколлоидов «желатин – гуммиарабик» способствует стабилизации конфетной массы, препятствует разрушению пенообразной структуры при формировании конфет методом экструзии. Конфетные массы имеют тиксотропные свойства и при формировании методом экструзии после снятия нагрузки их структура восстанавливается.

Ключевые слова: белок яичный, белок сывороточный, структурно-механические свойства, конфетные массы, реологическое исследование

Study of the influence of technological factors on the change in the structural and mechanical properties of protracted aerated candy masses based on whey proteins

Tatiana V. Kalinovskaya [1] kalinovskaya_88@mail.ru 0000-000C-8052-2014
Vladimir I. Omelchuk [1] omelchukvova@rambler.ru 0000-0002-2709-8824
Alexander V. Gavrilov [1] tehfac@mail.ru 0000-0003-3382-0307

1 V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Prospekt Vernadskogo 4, Simferopol, Russia, 295007

Abstract. The article is devoted to the study of the influence of technological factors on the change in the structural and mechanical properties of protracted aerated candy masses based on whey proteins. The influence of combined protein and hydrocolloid systems on the formation of the structural properties of whipped candy masses of the “soft nougatines” type with increased aggregative stability was determined. It has been established that the use of gelatin-gum arabic structurant composition improves the stability of candy masses based on whey proteins under mechanical action and obtaining masses with a glossy surface. Rational technologies of aerated candy masses with increased aggregative stability using protein-polysaccharide complexes have been scientifically substantiated. The addition of sugar-glucose syrup to protein foams increases the foaming of the system. In addition, the positive effect of sugars is explained by an increase in the viscosity of the bulk phase, which reduces the rate of liquid loss by lamellae and increases the stability of the systems. Rheological studies have shown that the interaction of whey protein foam with a complex mixture of hydrocolloids "gelatin - gum arabic" contributes to the stabilization of the candy mass, prevents the destruction of the foam structure during the formation of sweets by extrusion. Candy masses have thixotropic properties and when formed by extrusion after the load is removed, their structure is restored.

Keywords: egg protein, whey protein, structural and mechanical properties, candy masses, rheological study

Введение

В последнее время среди конфет со сбивными корпусами наблюдается рост популярности «нугатинов» (nougatines), которые по структуре приближаются к затяжным аэрированным конфетным массам. Европейскими компаниями производится современное оборудование с непрерывным приготовлением аэрированной массы и формированием ее на валковых экструдерах с последующей резкой на корпуса.

Технология «нугатинов» предусматривает взбивание пенообразователя с сахаро-глюкозным

Для цитирования
Калиновская Т.В., Омельчук В.И, Гаврилов А.В. Исследование влияния технологических факторов на изменение структурно-механических свойств затяжных аэрированных конфетных масс на основе сывороточных белков // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 128–134. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-128-134

For citation
Kalinovskaya T.V., Omelchuk V.I., Gavrilov A.V. Study of the influence of technological factors on the change in the structural and mechanical properties of protracted aerated candy masses based on whey proteins. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 128–134. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-128-134

© 2022, Калиновская Т.В. и др. / Kalinovskaya T. V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

сиропом или ГФС с добавлением гидроколлоидов и других ингредиентов согласно рецептурному составу и для каждой компании способ производства конфет является «know-haw» [1 – 7].

Цель работы – разработка технологии затяжных аэрированных конфетных масс для наружного слоя при формировании корпусов конфет методом ко-экструзии.

Материалы и методы

Структурно-механические свойства конфетных масс определяли с помощью «Структурометра СТ-1». Плотность конфетной массы определяли волюмометрическим методом путем взвешивания исследуемой массы в химическом стакане, откалиброванном по дистиллированной воде при температуре 20 °С.

Определение структуры и дисперсности белковых пен проводили с помощью электронного микроскопа.

В качестве материалов исследования использовали концентрат сывороточных белков Lactomin 80 КСБ УФ.

Результаты и обсуждение

При производстве «нугатинов» в качестве пенообразователей чаще всего используются яичный белок. Из аналитических исследований доказано [8 – 9], что интересным с научной и практической точки зрения является использование в качестве ПАВ сывороточных белков. Это обусловлено тем, что молочная сыворотка является вторым сырьем переработки молочных продуктов и белки сыворотки полноценными [10 – 20].

В таблице 1 приведены структурные свойства затяжных аэрированных конфетных масс в зависимости от массовой доли сухих веществ в сахарно-глюкозо-фруктозном сиропе.

Таблица 1.

Структурные свойства затяжных аэрированных конфетных масс в зависимости от массовой доли сухих веществ в сахарно-глюкозо-фруктозном сиропе

Table 1.

Structural properties of protracted aerated candy masses depending on the mass fraction of solids in sugar-glucose-fructose syrup

Содержание сухих веществ в сиропе, % Dry matter content in syrup, %	Температура уваривания сиропа, °С Syrup boiling point, °С	Упругая деформация конфетной массы Elastic deformation of the candy mass	Плотность конфетной массы, кг/м^3 Density of candy mass, kg/m^3	Характеристика конфетной массы Characteristics of the candy mass
92,0	127,0	0,12	932,0	мягкая, липкая, тянущая, не держащая форму soft, sticky, pulling, not holding shape
93,0	130,0	0,09	950,0	мягкая, пластичная, тянущая, пористая, держащая форму soft, plastic, pulling, porous, shape-holding
94,0	133,0	0,15	1030,0	
95,0	135,0	–	–	сироп карамелизируется, невозможно взбить массу syrup is caramelized, it is impossible to beat the mass

На основании проведенных исследований была предложена новая технология приготовления затяжных аэрированных конфетных масс, предусматривающая сбивание сывороточного белка с комплексной смесью желатин – гуммиарабик, заваривание взбитой массы сахаро-глюкозо-фруктозным сиропом, смешивание взбитой массы с компонентами согласно рецептурному составу.

Установлено, что рациональная массовая доля сухих веществ в сахарно-глюкозо-фруктозном сиропе составляет 93–94%, что соответствует температуре уваривания сиропа до 127–128 ºС.

Как показали исследования, термическая обработка сиропом взбитой массы на сывороточных белках при температуре 100 – 105 °С ведет к образованию массы с мягкой пластической структурой.

Повышение температуры оказывает негативное влияние на пластичность и плотность конфетной массы. В таблице 2 представлены данные влияния температуры сахарно-глюкозо-фруктозного сиропа на показатели качества взбитой массы.

Полученные данные можно объяснить тем, что сахара увеличивают термодинамическую денатурацию глобулярных протеинов при заваривании сиропом. Механизм увеличения температуры денатурации белков состоит в том, что сахар снижает термодинамическую аффинность (силу взаимодействия веществ) белковых молекул к сиропу. Температурная

денатурация глобулярных белков приводит к увеличению поверхности молекул, обращенных к сиропу и их гидрофобности. Таким образом, заваривание белковой пены сахарно-глюкозо-фруктозным сиропом тормозит развертывание белков под действием тепла, чем объясняется более высокая термическая стабильность глобулярных белков в присутствии сахаров.

Таблица 2.

Влияние температуры сахарно-глюкозо-фруктозного сиропа на показатели качества взбитой массы

Table 2.

Influence of the temperature of sugar-glucose-fructose syrup on the quality indicators of the whipped mass

Образец Sample	Температура сиропа, °С Syrup temperature, °С	Плотность массы, кг/ м^3 Mass density, kg/m^3	Пластическая крепость массы, кПа Plastic mass strength, kPa	Характеристика массы Mass characteristic
Конфетная масса на сывороточном белке Candy mass on whey protein	90–95	890,0	1,76	мягкая, липкая, тянущая, не держащая форму soft, sticky, pulling, not holding shape
	96–100	933,0	1,92	
	100–105	957,0	1,98	мягкая, пластичная, тянущая, пористая, держащая форму soft, plastic, pulling, porous, shape-holding
	106–110	1092,0	2,12	

Проведенными исследованиями подтверждено, что при производстве сбивных конфетных масс рекомендуемым количеством гидроколлоидов, обеспечивающим агрегатно-устойчивую пенообразную структуру, является 1,0% желатина и 1,0% гуммиарабика (гидромодуль 1:1). Меньшее количество гидроколлоидов не обеспечивает создание мягкой структуры конфетной массы. При внесении в конфетную массу гидроколлоидов в количестве более 1,0% значительно повышается вязкость и плотность массы, такую массу трудно формировать, а готовый продукт приобретает грубую структуру и тягучую консистенцию.

Продолжительность сбивания массы зависит от конструкции сбивочных машин, скорости вращения вала, формы лопастей и их расположения, от величины загрузки. С увеличением времени сбивания объем пены увеличивается, повышается ее дисперсность, а значит, и устойчивость.

Однако продолжительность взбивания имеет свой предел, выше которого объем пены уменьшается, ухудшается ее качество и устойчивость. Важным показателем качества затяжных аэрированных конфетных масс является их плотность. Она уменьшается в процессе аэрации, при которой происходит насыщение дисперсионной среды пузырьками воздуха, размеры которых колеблются в широких пределах. Для определения режимов приготовления конфет проводили исследование влияния длительности взбивания конфетной массы на структурные свойства готового изделия, полученные данные приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Характеристика конфетной массы в зависимости от продолжительности взбивания

Table 3.

Characteristics of the candy mass depending on the duration of whipping

Продолжительность сбивания, мин Downing duration, min	Плотность массы, кг/м^3 Mass density, kg/m^3	Характеристика массы Mass characteristic
5–7	850,0	в массе заметны включения, после формирования корпуса растекаются | inclusions are noticeable in the mass, after the formation of the body they spread
10–15	1136,0	масса однородная хорошо насыщена воздухом, хорошо формируется, после формирования корпуса сохраняют форму | the homogeneous mass is well saturated with air, it is well formed, after the formation of the body they retain their shape
17–20	1332,0	масса однородная, хорошо насыщенная воздухом, тяжело формируется, нетранспортабельна | the mass is homogeneous, well saturated with air, but it is difficult to form, non-transportable

При взбивании белка с гидроколоидами масса насыщается воздухом, образуется большое количество тонких пленок, окутывающих пузырьки воздуха. После заваривания количество жидкой фазы увеличивается, воздух поступает в достаточном количестве, поэтому объем газообразной фазы значительно увеличивается. Вместе с тем начинается процесс гелеобразования, начинает образовываться каркас будущего корпуса.

Если прекратить процесс взбивания рано, то отформованные изделия без основания каркаса, а если слишком удлинить взбивание, то образовавшийся каркас разрушается и уже не восстанавливаются после формовки. На основании проведенных исследований были установлены следующие режимы приготовления сбивной конфетной массы тяжелого типа: продолжительность взбивания составляет 10–15 мин, температура заваривания сиропом 100–105 ºС, при этом плотность составляет 950–1150 кг/м^3, массовая доля влаги 10–13%.

Сбивные конфетные массы согласно классификации П.А. Ребиндера, принадлежащие к псевдопластичным телам. Псевдопластическое поведение белковых растворов обусловлено склонностью молекул ориентироваться по основной оси направления течения, а также ассоциацией слабо связанных димеров и олигомеров к мономерам. Текучесть сбивных конфетных масс описывается степенной моделью Оствальда-де-Виля:

$$\tau_п = K \times \gamma^n, \quad (1)$$

где $\tau_п$ – напряжение сдвига, Па; К – коэффициент консистенции; γ – скорость сдвига, с$^{-1}$; n – индекс течения.

После обработки экспериментальных данных были построены логарифмические кривые течения lg – lg для образцов конфетных масс, которые с достаточной точностью аппроксимируются прямыми, приведенными на рисунке 1.

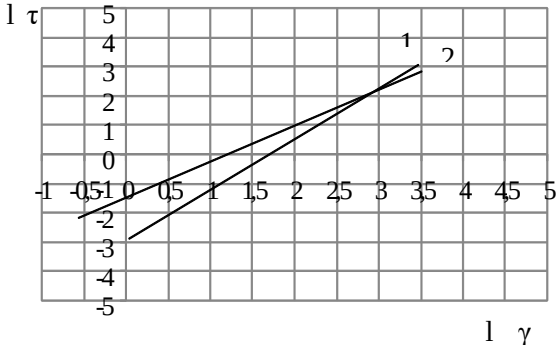


Рисунок 1. Зависимость lgτ – lgγ для конфетных масс типа «нугатинов» с добавлением комплексных смесей желатин – гуммиарабик: 1 – конфетная масса на яичном белке (контроль), 2 – конфетная масса на сывороточном белке

Figure 1. The dependence lgτ – lgγ for candy masses of the «nugatin» type with the addition of complex mixtures of gelatin – gum arabic:1 – candy mass on egg white (control), 2 – candy mass on whey protein

С помощью полученного графика (рисунок 1) находили индекс течения (n) по тангенсу угла наклона данной зависимости к оси абсцисс и коэффициент консистенции (К) по величине отрезка на оси ординат, при lg = 0. Результаты экспериментальных данных были обработаны на ЭВМ и получены математические зависимости предельного напряжения изучаемых конфетных масс от соотношения рецептурных компонентов. Константы полученных данных и математические зависимости структурно-механических свойств сбивных конфетных масс представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Константы уравнения течения и математические зависимости структурно-механических свойств затяжных аэрированных конфетных масс с добавлением комплексных смесей желатин – гуммиарабик

Table 4.

Flow equation constants and mathematical dependences of the structural and mechanical properties of protracted aerated candy masses with the addition of gelatin-gum arabic complex mixtures

Образец Sample	Коэффициент консистенции К, Па с^n Consistency coefficient K, Pa с^n	Индекс течения n Current index n	Математическое уравнение Mathematical equation	Коэффициент корреляции Correlation coefficient
Конфетная масса на яичном белке (контроль) Candy mass on egg white (control)	0,41	0,12	$y = 0{,}001\ x^{1{,}737}$	0,97
Конфетная масса на сывороточном белке Candy mass on whey protein	0,47	0,18	$y = 0{,}034\ x^{1{,}233}$	0,98

Соответствие экспериментальных значений с теоретическими подтверждает предположение о том, что реологические свойства затяжных аэрированных конфетных масс описываются степенным уравнением.

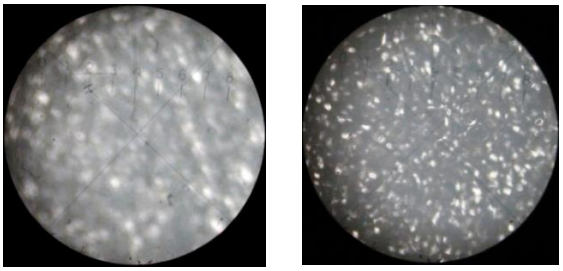
Анализ реологических констант затяжных аэрированных конфетных масс с добавлением комплексных смесей желатин – гуммиарабик показал, что коэффициент консистенции для затяжных аэрированных конфетных масс на сывороточном белке был в 1,5 раз выше, чем у конфетной массы на яичном белке.

На основании исследований реологических характеристик систем был сделан вывод, что добавление гидроколлоидов значительно повышает их вязкость и стабилизирует структуру. Целостность массы зависит от степени гелеобразования белковой пленки на грани раздела фаз, обуславливающей достаточную для стабилизации пены механическую прочность пленки.

При формировании гелей сывороточных белков, желатина и гуммиарабика происходит перераспределение фаз в смешанном геле и изменения структуры в пространстве. Сетчатые структуры смешанных гелей сывороточных белков, желатина и гуммиарабика формировались при pH 6,65–6,93.

Согласно распределению фаз сывороточных белков в смеси с желатином и гуммиарабиком путем нагревания с последующим охлаждением образуются взаимопроникающие сети. В этом случае первой формируется сеть сывороточных белков. Обе фазы гомогенно распределялись внутри агрегатов, образуя прочную агрегатно-устойчивую структуру конфетных масс.

Микроструктура конфетных масс приведена на рисунке 2.



(a) (b)

Рисунок 2. Микроструктура затяжных аэрированных конфетных масс типа «мягких нугатинов»: (a) – на яичном белке; (b) – на сывороточном белке

Figure 2. The microstructure of protracted aerated candy masses of the «soft nougatin» type: (a) – on egg white; (b) – on whey protein

Полученные результаты иллюстрируют структуру, степень дисперсности и равномерность распределения структурных компонентов по каждому образцу. Из рисунка 2 видно, что все образцы характеризуются однородной мелкоячеистой структурой, без признаков синерезиса.

Кроме того, установлено, что при введении раствора гидроколлоидов в конфетную массу необходимо смешение водного раствора желатина с водным раствором гуммиарабика в соотношении 1:1 и время для набухания. При смешивании набухших растворов гидроколлоидов с подогретым до 60 ºС глюкозным сиропом образуется конфетная масса с глянцевой поверхностью, чего не происходит при добавлении раствора гидроколлоидов непосредственно во взбитую массу. Это, вероятно, объясняется взаимодействием аминогрупп с глюкозой и другими сахарами (гликозиллирование). Высокомолекулярные углеводы тормозят кристаллизацию сахарозы и обеспечивают глянцевый блеск массы. Возможно, альдегидные группы сахаров взаимодействуют с лизином с образованием ряда продуктов, которые придают глянцевый блеск поверхности конфетных масс.

Заключение

Исследовано влияние технологических факторов на изменение структурно-механических свойств затяжных аэрированных конфетных масс на основе сывороточных белков. Установлено, что использование композиции структурообразователей желатин – гуммиарабик способствует улучшению стабильности конфетных масс на основе сывороточных белков при механическом воздействии и получении масс с глянцевой поверхностью. В белково-полисахаридных комплексах в зависимости от параметров среды возможно изменять состояние системы, формировать комплексы разной структуры. Все это позволяет создать новый ассортимент кондитерских изделий с устойчивой агрегативной структурой, а также повышенной пищевой и биологической ценностью.

Литература

1 Дамодаран Ш., Паркин К.Л., Феннема О.Р. Химия пищевых продуктов; пер. с англ. СПб.: Профессия, 2012. 1040 с.

2 Vandenbossche V., Candy L., Evon P., Rouilly A. et al. Extrusion // Green Food Processing Techniques. 2019. P. 289-314. doi: 10.1016/B978-0-12-815353-6.00010-0

3 Hartel R. W., Joachim H., Hofberger R. Confectionery science and technology. Cham, Switzerland: Springer, 2018. 536 p.

4 Hartel R.W., Elbe J.H., Hofberger R. Jellies, gummies and licorices // Confectionery science and technology. Springer, Cham, 2018. P. 329-359.

5 Schmidt C., Bornmann R., Schuldt S., Schneider Y. et al. Thermo-mechanical properties of soft candy: application of time-temperature superposition to mimic response at high deformation rates // Food biophysics. 2018. V. 13. №. 1. P. 11-17. doi: 10.1007/s11483-017-9506-3

6 Patole S., Cheng L., Yang Z. Impact of incorporations of various polysaccharides on rheological and microstructural characteristics of heat-induced quinoa protein isolate gels // Food Biophysics. 2022. doi: 10.1007/s11483-022-09720-3

7 Shydakova-Kameniuka O., Shkliaiev O., Samokhvalova O., Artamonova M. et al. Harnessing the technological potential of chia seeds in the technology of cream-whipped candy masses // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. V. 2. №. 11. P. 104.

8 Kalynivska T.V., Obolkina V.I. Using combined proteins and hydrocolloids for creating aerated candy masses // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2014. V. 2. № 12 (68). P. 113–121.

9 Калиновская Т.В., Богодист-Тимофеева Е.Ю. Исследование функционально-технологических свойств концентрата сывороточных белков в технологиях сбивных конфетных масс // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 2. С. 169–174. doi: 10.20914/2310-1202-2021-2-169-174

10 Богданова Е.В., Мельникова Е.И. Гидролизаты сывороточных белков в технологии продуктов для спортивного питания // Молочная промышленность. 2018. № 4. С. 45–47.

11 Богданова Е.В., Мельникова Е.И., Гребенщиков А.В. Усвояемость гидролизата β-лактоглобулина в экспериментах in vivo // Молочная промышленность. 2019. № 3. С. 41–42.

12 Гарбуз С.А., Забодалова Л.А. Методы получения биологически активных пептидов путем гидролиза молочных белков // Естественные и технические науки. 2018. № 2 (116). С. 79–81.

13 Cabral S.R. Optimization of Cheese Whey Ultrafiltration/Diafiltration for the Production of Beverage Liquid Protein Concentrates with Lactose Partially Removed // Journal of Membrane Science & Research. 2019. V. 5. № 2. P. 172–177. doi: 10.22079/JMSR.2018.92367.1208

14 Henriques M., Gomes D., Pereira C. Liquid Whey Protein Concentrates Produced by Ultrafiltration as Primary Raw Materials for Thermal Dairy Gels // Food Technology and Biotechnology. 2017. № 55 (4). P. 454–463. doi: 10.17113/ftb.55.04.17.5248

15 Iwaniak A. Understanding the nature of bitter-taste di- and tripeptides derived from food proteins based on chemometric analysis // Journal of Food Biochemistry. 2018. V. 11. P. 235–244. doi: 10.1111/jfbc.12500

16 Moriano M.E., Alamprese C. Whey protein concentrate and egg white powder as structuring agents of double emulsions for food applications // Food and Bioprocess Technology. 2020. V. 13. P. 1154-1165. doi: 10.1007/s11947-020-02467-0

17 Yin L., Zhou X.G., Yu J.S., Wang H. et al. Protein foaming method to prepare Si3N4 foams by using a mixture of egg white protein and whey protein isolate // Ceramics International. 2014. V. 40. №. 8. P. 11503-11509. doi: 10.1016/j.ceramint.2014.03.043

18 Tan M.C., Chin N.L., Yusof Y.A., Taip F.S. et al. Improvement of eggless cake structure using ultrasonically treated whey protein // Food and Bioprocess Technology. 2015. V. 8. №. 3. P. 605-614. doi: 10.1007/s11947-014-1428-1

19 Dнaz-Ramнrez M., Calderyn-Domнnguez G., Garcна-Garibay M. et al. Effect of whey protein isolate addition on physical, structural and sensory properties of sponge cake // Food Hydrocolloids. 2016. V. 61. P. 633-639. doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.06.020

20 Oboroceanu D., Wang L., Magner E., Auty M.A. Fibrillization of whey proteins improves foaming capacity and foam stability at low protein concentrations // Journal of Food Engineering. 2014. V. 121. P. 102-111. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.08.023

21 Pico J., Reguilyn M.P., Bernal J., Gymez M. Effect of rice, pea, egg white and whey proteins on crust quality of rice flour-corn starch based gluten-free breads // Journal of Cereal Science. 2019. V. 86. P. 92-101. doi: 10.1016/j.jcs.2019.01.014

References

1 Damodaran Sh., Parkin K.L., Fennema O.R. Chemistry of food products; per. from English. St. Petersburg, Profession, 2012. 1040 p. (in Russian).

2 Vandenbossche V., Candy L., Evon P., Rouilly A. et al. Extrusion. Green Food Processing Techniques. 2019. pp. 289-314. doi: 10.1016/B978-0-12-815353-6.00010-0

3 Hartel R. W., Joachim H., Hofberger R. Confectionery science and technology. Cham, Switzerland, Springer, 2018. 536 p.

4 Hartel R.W., Elbe J.H., Hofberger R. Jellies, gummies and licorices. Confectionery science and technology. Springer, Cham, 2018. pp. 329-359.

5 Schmidt C., Bornmann R., Schuldt S., Schneider Y. et al. Thermo-mechanical properties of soft candy: application of time-temperature superposition to mimic response at high deformation rates. Food biophysics. 2018. vol. 13. no. 1. pp. 11-17. doi: 10.1007/s11483-017-9506-3

6 Patole S., Cheng L., Yang Z. Impact of incorporations of various polysaccharides on rheological and microstructural characteristics of heat-induced quinoa protein isolate gels. Food Biophysics. 2022. doi: 10.1007/s11483-022-09720-3

7 Shydakova-Kameniuka O., Shkliaiev O., Samokhvalova O., Artamonova M. et al. Harnessing the technological potential of chia seeds in the technology of cream-whipped candy masses. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. vol. 2. no. 11. pp. 104.

8 Kalynivska T.V., Obolkina V.I. Using combined proteins and hydrocolloids for creating aerated candy masses. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2014. vol. 2. no. 12 (68). pp. 113–121.

9 Kalinovskaya T.V., Bogodist-Timofeeva E.Yu. Study of the functional and technological properties of whey protein concentrate in the technology of aerated candy masses. Proceeding of VSUET. 2021. vol. 83. no. 2. pp. 169–174. doi: 10.20914/2310-1202-2021-2-169-174 (in Russian).

10 Bogdanova E.V., Melnikova E.I. Hydrolyzates of whey proteins in the technology of products for sports nutrition. Dairy industry. 2018. no. 4. pp. 45–47. (in Russian).

11 Bogdanova E.V., Melnikova E.I., Grebenshchikov A.V. Digestibility of β-lactoglobulin hydrolyzate in experiments in vivo. Dairy industry. 2019. no. 3. pp. 41–42. (in Russian).

12 Garbuz S.A., Zabodalova L.A. Methods for obtaining biologically active peptides by hydrolysis of milk proteins. Natural and technical sciences. 2018. no. 2 (116). pp. 79–81. (in Russian).

13 Cabral S.R. Optimization of Cheese Whey Ultrafiltration/Diafiltration for the Production of Beverage Liquid Protein Concentrates with Lactose Partially Removed. Journal of Membrane Science & Research. 2019. vol. 5. no. 2. pp. 172–177. doi: 10.22079/JMSR.2018.92367.1208

14 Henriques M., Gomes D., Pereira C. Liquid Whey Protein Concentrates Produced by Ultrafiltration as Primary Raw Materials for Thermal Dairy Gels. Food Technology and Biotechnology. 2017. no. 55 (4). pp. 454–463. doi: 10.17113/ftb.55.04.17.5248

15 Iwaniak A. Understanding the nature of bitter-taste di- and tripeptides derived from food proteins based on chemometric analysis. Journal of Food Biochemistry. 2018. vol. 11. pp. 235–244. doi: 10.1111/jfbc.12500

16 Moriano M.E., Alamprese C. Whey protein concentrate and egg white powder as structuring agents of double emulsions for food applications. Food and Bioprocess Technology. 2020. vol. 13. pp. 1154-1165. doi: 10.1007/s11947-020-02467-0

17 Yin L., Zhou X.G., Yu J.S., Wang H. et al. Protein foaming method to prepare Si3N4 foams by using a mixture of egg white protein and whey protein isolate. Ceramics International. 2014. vol. 40. no. 8. pp. 11503-11509. doi: 10.1016/j.ceramint.2014.03.043

18 Tan M.C., Chin N.L., Yusof Y.A., Taip F.S. et al. Improvement of eggless cake structure using ultrasonically treated whey protein. Food and Bioprocess Technology. 2015. vol. 8. no. 3. pp. 605-614. doi: 10.1007/s11947-014-1428-1

19 Dнaz-Ramнrez M., Calderyn-Domнnguez G., Garcнa-Garibay M. et al. Effect of whey protein isolate addition on physical, structural and sensory properties of sponge cake. Food Hydrocolloids. 2016. vol. 61. pp. 633-639. doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.06.020

20 Oboroceanu D., Wang L., Magner E., Auty M.A. Fibrillization of whey proteins improves foaming capacity and foam stability at low protein concentrations. Journal of Food Engineering. 2014. vol. 121. pp. 102-111. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.08.023

21 Pico J., Reguilyn M.P., Bernal J., Gymez M. Effect of rice, pea, egg white and whey proteins on crust quality of rice flour-corn starch based gluten-free breads. Journal of Cereal Science. 2019. vol. 86. pp. 92-101. doi: 10.1016/j.jcs.2019.01.014

Сведения об авторах

Татьяна В. Калиновская к.т.н., доцент, кафедра технологии и оборудования производства и переработки продукции животноводства, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, пр-т Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Россия, kalinovskaya_88@mail.ru
https://orcid.org/0000-000C-8052-2014

Владимир И. Омельчук к.с.-х.н, доцент, кафедра технологии и оборудования производства и переработки продукции животноводства, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, пр-т Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Россия, omelchukvova@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0002-2709-8824

Александр В. Гаврилов к.т.н., доцент, кафедра технологии и оборудования производства и переработки продукции животноводства, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, пр-т Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Россия, tehfac@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3382-0307

Information about authors

Tatiana V. Kalinovskaya Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technologies and equipment for production and processing of livestock products department, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Prospekt Vernadskogo 4, Simferopol, Russia, 295007, kalinovskaya_88@mail.ru
https://orcid.org/0000-000C-8052-2014

Vladimir I. Omelchuk Cand. Sci. (Agric.), associate professor, technologies and equipment for production and processing of livestock products department, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Prospekt Vernadskogo 4, Simferopol, Russia, 295007, omelchukvova@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0002-2709-8824

Alexander V. Gavrilov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technologies and equipment for production and processing of livestock products departament, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Prospekt Vernadskogo 4, Simferopol, Russia, 295007, tehfac@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3382-0307

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 11/04/2022	**После редакции** 10/05/2022	**Принята в печать** 31/05/2022

Received 11/04/2022	**Accepted in revised** 10/05/2022	**Accepted** 31/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-135-141 Оригинальная статья/Research article
УДК 634.723.1: 664.8/9 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Формирование критериев отбора сортов смородины черной по биохимическому и технологическому потенциалу для использования в технологии производства желейных продуктов

Нина В. Мясищева [1] myasischevanv@mgupp.ru 0000-0001-5922-5616

1 Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия

Аннотация. Расширение отечественного производства пищевой продукции, обогащенной витаминами, биологически активными веществами, продуктов детского, диетического и функционального питания возможно достичь благодаря развитию прогрессивных технологий селекции, выращивания, отбора сырья, обладающего ценными биохимическими, технологическими свойствами. Ягоды смородины черной обладают высокими антиоксидантными, студнеобразующими свойствами и широко используются перерабатывающими предприятиями для производства витаминизированных желейных продуктов. При этом особое внимание отводится отбору сортов, оптимально подходящих для данного вида производства. Таким образом, цель данных исследований направлена на выделение и систематизацию критериев отбора сортов смородины черной по технологическому и биохимическому потенциалу ягод для их вовлечения в технологию производства желейных изделий функциональной направленности с заданными характеристиками. В качестве объектов исследования были выбраны ягоды смородины черной сортов Ажурная, Арапка, Искушение, Креолка, Ладушка, Очарование, Орловская серенада (контроль) селекции ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур» (ВНИИСПК), а также желе на их основе. Установлено, что разработанные образцы желе из ягод смородины черной характеризовались высоким качеством, удовлетворяли рекомендуемую суточную норму потребления витамина С в среднем по сортам на 60%, витамина Р – на 52,4%, пектина – на 85,1%, характеризовались прочной студнеобразной структурой без дополнительного внесения структурообразователей. Выявлена положительная корреляция с высокой степенью достоверности между реологическими характеристиками желе и показателями химического состава сырья. На основании выполненной комплексной оценки сырья и желе на его основе выделены критерии отбора сортов по ряду технологических и биохимических признаков.

Ключевые слова: черная смородина, биологически активные вещества, пектин, желирующие свойства, корреляция

Formation of criteria for the selection of varieties of black currant by biochemical and technological potential for use in the production technology of jelly products

Nina V. Myasishcheva [1] myasischevanv@mgupp.ru 0000-0001-5922-5616

1 Moscow State University of Food Production, 11. Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russia

Abstract. The expansion of domestic production of food products enriched with vitamins, biologically active substances, children's, dietary and functional nutrition products can be achieved thanks to the development of progressive technologies of breeding, cultivation, selection of raw materials with valuable biochemical, technological properties. Black currant berries have high antioxidant, jelly-forming properties and are widely used by processing enterprises for the production of fortified jelly products. At the same time, special attention is paid to the selection of varieties that are optimally suitable for this type of production. Thus, the purpose of these studies is aimed at identifying and systematizing the criteria for selecting varieties of black currant according to the technological and biochemical potential of berries for their involvement in the technology of production of jelly products of functional orientation with specified characteristics. Black currant berries of the Azhurnaya, Arapka, Iskusheniye, Kreolka, Ladushka, Ocharovaniye, Orlovskaya serenada (control) of the selection of the All-Russian Scientific Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK), as well as jelly based on them were selected as objects of research. It was found that the developed jelly samples from black currant berries were characterized by high quality, satisfied the recommended daily intake of vitamin C by an average of 60%, vitamin P by 52.4%, pectin by 85.1%, and were characterized by a solid jelly-like structure without additional introduction of structure-forming agents. A positive correlation with a high degree of reliability between the rheological characteristics of jelly and indicators of the chemical composition of raw materials was revealed. Based on the comprehensive assessment of raw materials and jelly based on it, the criteria for the selection of varieties for a number of technological and biochemical characteristics are identified.

Keywords: black currant, biologically active substances, pectin, gelling properties, correlation

Для цитирования
Мясищева Н.В. Формирование критериев отбора сортов смородины черной по биохимическому и технологическому потенциалу для использования в технологии производства желейных продуктов // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 135–141. doi:10.20914/2310-1202-2-2-135-141

For citation
Myasishcheva N.V. Formation of criteria for the selection of varieties of black currant by biochemical and technological potential for use in the production technology of jelly products. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2.pp. 135–141. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2-2-135-141

© 2022, Мясищева Н.В. / Myasishcheva N.V.

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

Введение

Приоритетные направления государственной политики в области сбалансированных рационов и правильного потребления пищи нацелены на расширение отечественного производства основных видов продовольственного сырья, отвечающего современным требованиям качества и безопасности; развитие продовольственной базы, усиленной витаминами, биологически активными веществами, незаменимыми компонентами; специализированных продуктов питания детского, диетического, лечебно-профилактического, функционального назначения [1, 2, 7, 11]. Решение поставленных вопросов может быть достигнуто путём разработки, совершенствования и внедрения в сельское хозяйство и пищевую промышленность прогрессивных технологий создания, выращивания, отбора сырья, обладающего ценными биохимическими, технологическими свойствами, и высококачественных продуктов питания на его основе [2, 3–6, 13].

Ягоды смородины черной являются доступным местным растительным источником высоких количеств витамина С, полифенольных соединений, обладающих Р-витаминной активностью, органических кислот, пектинов, минеральных соединений [1, 9, 10]. Благодаря хорошим желирующим свойствам и витаминной ценности эта культура широко используется пищевой, кондитерской промышленностью, общественным питанием в технологии производства конфитюров, джемов, мармеладов, желе. Однако для получения продуктов с прогнозируемо высоким качеством особое значение отводится отбору сортов, оптимально подходящих для данного вида переработки [2, 4–6, 12].

Сортимент смородины черной постоянно обновляется и активно пополняется. Современная целенаправленная селекция кроме улучшения адаптивных признаков, ведется на совершенствование технологичных показателей новых сортов: масса и количество ягод в кисти, одновременность их созревания и легкость отрыва, прочность кожицы, величина съедобной части, выход сока, органолептические качества, а также биохимические свойства сырья. Такая работа требует выделения и систематизации полученных данных для оптимизации совместной работы между сельскохозяйственными предприятиями по выращиванию сырья и пищевыми производствами по его переработке [8, 4–6, 13].

Цель работы – формирование критериев отбора сортов смородины черной по технологическим и биохимическим показателям ягод для использования в технологии производства желейных продуктов с прогнозируемо высоким качеством.

Объекты и методы

В качестве объектов исследования были выбраны ягоды смородины черной сортов Ажурная, Арапка, Искушение, Креолка, Ладушка, Очарование, Орловская серенада (контроль) селекции ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур» (ВНИИСПК), а также желе на их основе.

Микроструктурные исследования толщины кожицы ягод выполняли на электронном сканирующем микроскопе JEOL 15M 6390 (Япония), измерение средней массы одной ягоды – путем взвешивания 50 ягод на лабораторных весах типа ВЛКТ-500.

Определение пищевой ценности ягод и желе по показателям: сахара; титруемые кислоты (общая кислотность); активная кислотность (pH); аскорбиновая кислота; Р-активные вещества (антоцианы, лейкоантоцианы, катехины); пектиновые веществ; степень этерификации пектиновых веществ; содержание кальция проводили в соответствии с действующей нормативной документацией.

Органолептическая оценка ягод проводилась по разработанной 5-ти балльной эталонной шкале по показателям: внешний вид, цвет, вкус, запах, консистенция. Изучение прочности студня желе по усилию нагружения проводилось на приборах «Структурометр» согласно стандартной методике «Bloom Strength», а также «Реотест-2» фундаментальным методом ротационной вискозиметрии. Расчет коэффициентов корреляции (r), многофакторный эксперимент для выбора критериев отбора сортов по технологическим и биохимическим показателям и их дальнейшей оптимизации для производства желе выполнялся с применением современных методов анализа, статистической, математической и графической обработкой данных результатов эксперимента с использованием пакета компьютерных программ приложения Excel MS Office и Statistica 6.0.

Результаты и обсуждение

Для формирования критериев отбора сортов с целью использования в технологии желейных продуктов был разработан алгоритм выделения ягод смородины черной для производства продуктов с прогнозируемыми свойствами (рисунок 1).

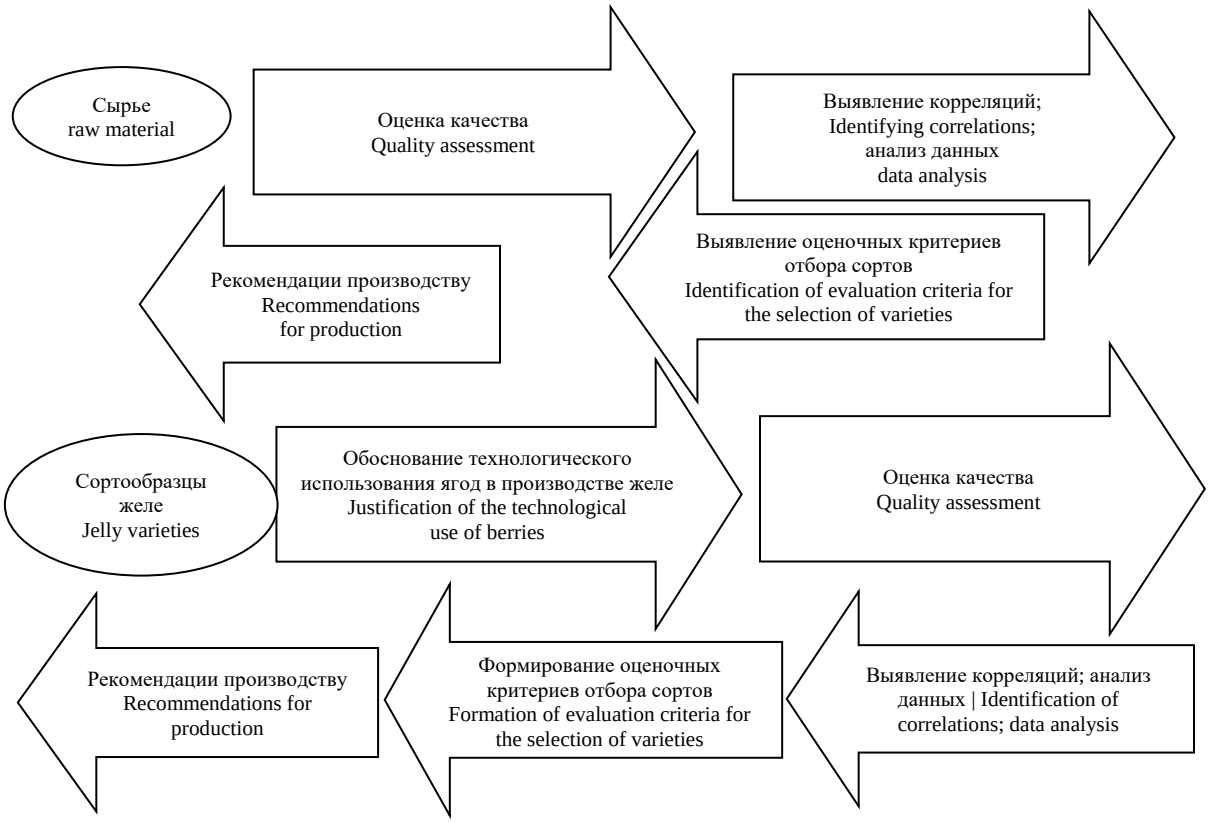


Рисунок 1. Алгоритм выделения ягод сортов смородины черной для производства желейных продуктов с прогнозируемыми свойствами

Figure 1. Algorithm for isolating berries of black currant varieties for the production of jelly products with predictable properties

При отборе сырья для производства желейных продуктов интерес представляет выявление корреляций между техническими, биохимическими и технологическими показателями ягод смородины черной и продуктами их переработки. Это позволит моделировать и оптимизировать процесс получения желе с прогнозируемо высоким качеством в соответствии с заданными технологическими параметрами. Выявлена высокая обратная зависимость между толщиной кожицы ягод смородины черной и выходом сока (-0,903). Таким образом установлено, что лучшая сокоотдача отмечена в ягодах смородины черной с более низкой толщиной поперечных сечений плодовых стенок (таблица 1). Получена положительная корреляция между массой ягод и выходом сока (+0,357), отрицательная – между последним показателем и суммой пектиновых веществ (-0,365). Получен средний коэффициент корреляции между содержанием протопектина и кальция в плодах (+0,566).

Таблица 1.

Корреляция между техническими, технологическими и биохимическими показателями ягод смородины черной

Table 1.

Correlation between technical, technological and biochemical parameters of black currant berries

Сопрягаемые показатели Interfaced indicators	Выход сока, % Juice output, %	Содержание кальция, мг/100 г. Calcium content, mg/100 g.
Толщина кожицы ягоды, мкм | The thickness of the berry skin, microns	-0,903	
Масса ягоды, г | Berry weight, g	+0,357	
Содержание протопектина, % | Protopectin content, %	+0,359	+0,566
Содержание пектина, % | Pectin content, %	-0,049	-0,688
Сумма пектиновых веществ, % | The amount of pectin substances, %	-0,365	+0,142
Степень этерификации пектинов, % | Degree of esterification of pectins, %	-0,146	+0,908

Установлено, что содержание кальция находится в прямой зависимости со степенью этерификации пектинов ягод смородины (+0,908). Это позволяет предположить, что ягоды смородины черной, характеризующиеся высокими значениями кальция, обладают хорошей желирующей способностью.

На основании проведенной оценки органолептических свойств и пищевой ценности доказано, что разработанные образцы желе из ягод смородины черной характеризовались высоким качеством, удовлетворяли рекомендуемую суточную норму потребления витамина С в среднем по сортам на 60%, витамина Р – на 52,4%, пектина – на 85,1%.

Для обоснования оптимального компонентного состава сырья, обеспечивающего получение готового продукта с заданными характеристиками, а также выделения сортов наиболее пригодных для производства желе, был проведен полнофакторный эксперимент, в котором исследуемыми факторами явились показатели химического состава сырья, влияющие на качество студня (массовая доля титруемых кислот, сахаров, сахарокислотный коэффициент; протопектин, пектин, сумма пектиновых веществ, степень этерификации пектинов, pH) и структурно-механические показатели желе (усилие нагружения, коэффициент консистенции, предельное напряжение сдвига, индекс течения). Подбор оптимального химического состава ягод, обеспечивающего получение качественного желе с прочным студнем, проводили с помощью системы для статистического анализа данных Statistica. Графическое отображение полученных результатов математической обработки зависимости прочности студня желе по усилию нагружения от содержания органических кислот и сахаров представлено на рисунке 2.

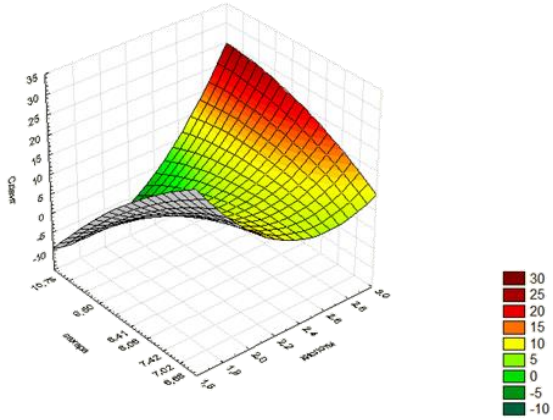


Рисунок 2. Влияние органических кислот и сахаров на прочность студня желе из ягод смородины черной по предельному напряжению сдвига

Figure 2. The effect of organic acids and sugars on the strength of jelly from black currant berries according to the ultimate shear stress

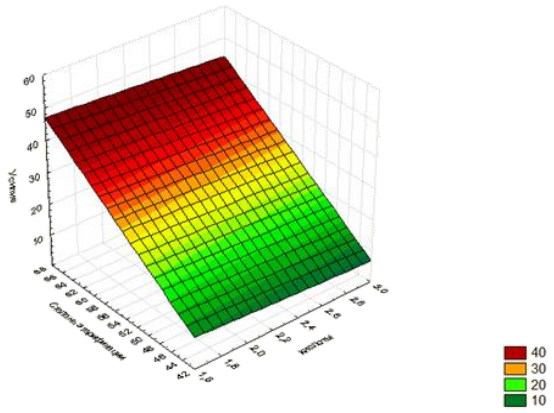


Рисунок 3. Влияние степени этерификации пектинов на прочность студня желе по усилию нагружения

Figure 3. Influence of the degree of esterification of pectins on the strength of jelly by loading force

Зависимость прочности студня желе из ягод смородины черной по предельному напряжению сдвига от содержания органических кислот и сахаров указывает, что наилучшее качество продукта отмечалось при значении данных показателей в области 2,5–3,0 (%) и 9,0–11,0 (%) соответственно.

На основании данных рисунка 3 при изучении влияния степени этерификации пектинов на прочность студня по усилию нагружения установлено, что наилучшими свойствами характеризовались образцы, имевшие значения этого показателя выше 50%.

В результате проведенных исследований было установлено, что область высоких значений прочности студня желе наблюдается при содержании сахаров в ягодах от 9,00 до 11 (%), органических кислот – от 2,5 до 3,0 (%).

При этом выявлено, что образцы желе изучаемых сортов имели высокое качество, прочную студнеобразную структуру без дополнительного внесения структурообразователей и не уступали контролю.

На основании выполненной комплексной оценки сырья с целью его использования в технологии желейных продуктов с прогнозируемо высоким качеством были выделены критерии отбора сортов по ряду технологических и биохимических признаков (таблица 2).

Доказана высокая отрицательная корреляция между толщиной кожицы и выходом сока из ягод смородины черной (-0,903); положительная корреляция между содержанием кальция и степенью этерификации пектинов (+0,908).

Таблица 2.

Критерии отбора сортов смородины черной для использования в технологии желейных продуктов

Table 2.

Criteria for selection of black currant varieties for use in jelly products technology

Показатель качества ягод Berry quality indicator	Рекомендуемое значение Recommended value	Технологическая характеристика сортообразцов Technological characteristics of varietal samples	Наименование сортов Name of varieties
Масса ягоды, г Berry weight, g	≥1,3	Высокие технологические свойства и сокоотдача ягод. High technological properties and juice yield of berries. Высокие органолептические свойства желе: High organoleptic properties of jelly: – внешний вид: привлекательный, с ровной, блестящей поверхностью; желе прозрачное в тонком слое без взвешенных частиц. - appearance: attractive, with a smooth, shiny surface; jelly transparent in a thin layer without suspended particles. – цвет: натуральный, однородный, насыщенный, характерный окраске ягод - color: natural, homogeneous, saturated, characteristic of the color of berries – вкус: приятный, гармоничный, выраженный, сладко-кислый, свойственный свежим ягодам - taste: pleasant, harmonious, pronounced, sweet-sour, characteristic of fresh berries – запах: приятный, выраженный, свойственный свежим ягодам - smell: pleasant, pronounced, characteristic of fresh berries – консистенция: равномерная, плотная, студнеобразная масса, сохраняющая свою форму на горизонтальной поверхности после извлечении из упаковки и ясно очерченные грани при разрезании ножом, без признаков синерезиса - consistency: uniform, dense, jelly-like mass that retains its shape on a horizontal surface after being removed from the package and clearly defined edges when cut with a knife, without signs of syneresis	Ажурная, Арапка, Искушение, Креолка, Ладушка, Очарование, Орловская серенада (контроль) Azhurnaya, Arapka, Iskusheniye, Kreolka, Ladushka, Ocharovaniye, Orlovskaya serenada (control)
Толщина кожицы ягоды, мкм The thickness of the berry skin, microns	≤207,5		
Сумма сахаров, % Sum of sugars, %	9,0 – 11,0		
Органические кислоты, % Organic acids, %	2,5 – 3,0		
СКК sugar-acid coefficient			
Пектин, % Pectin, %	≥2,0		
Сумма ПВ, % The amount of pectin substances, %	≥10,0		
Степень этерификации ПВ, % Degree of esterification of pectin substances, %	≥50		
Кальций, мг/100г Calcium, mg/100g	≥26,0		
pH	2,9 – 3,3		

Заключение

Установлена положительная корреляция с высокой степенью достоверности между структурно-механическими характеристиками желе, определяющими качество студня и показателями химического состава сырья.

На основании поставленного полнофакторного эксперимента дано научное и практическое обоснование влияния биохимических и технологических свойств сырья на качество желе.

Доказано, что наиболее ценным технологическим потенциалом обладали ягоды смородины черной сортов Ажурная. Искушение, Ладушка, Очарование, Орловская серенада.

Благодарности

Автор выражает особую благодарность доктору сельскохозяйственных наук, заведующему лабораторией биохимической и технологической оценки сортов и хранения ВНИИСПК Макаркиной М.А. за помощь в проведении лабораторных исследований

Литература

1 Акимов М.Ю., Макаров В.Н., Жбанова Е.В. Роль плодов и ягод в обеспечении человека жизненно важными биологически активными веществами // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 2. С. 56–60. doi: 10.24411/0235–2451–2019–10214.

2 Бадиу Д.Ю., Емельяненко А.А. Оценка отборных форм смородины чёрной и красной по качеству консервированных продуктов // Инновационные технологии – в практику сельского хозяйства: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 75-летию со дня образования агрономического факультета ФГБОУ ВО Вятская ГСХА, Киров, 12 декабря 2019 года. Киров: Вятская, 2019. С. 49–53.

3 Васильева Н.А. Сортоизучение ягодных культур (крыжовник, малина, смородина красная, земляника садовая) в условиях Западного Забайкалья // Актуальные вопросы развития аграрного сектора экономики Байкальского региона: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки, Улан-Удэ, 06 – 07 февраля 2020 года. Улан-Удэ: Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова, 2020. С. 23–27.

4 Мясищева Н.В., Макаркина М.А., Князев С.Д., Голяева О.Д. Исследование качества свежих и замороженных ягод черной смородины для обоснования их использования в технологии желейных продуктов // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2017. № 1(42). С. 61–69.

5 Мясищева Н.В., Макаркина М.А. Изучение желирующих свойств пектинов ягод черной смородины в процессе низкотемпературного хранения // Плодоводство и ягодоводство России. 2017. Т. 49. С. 249–252.

6 Мясищева Н.В., Макаркина М.А., Князев С.Д. Использование свежих и замороженных ягод черной смородины в технологии желейных продуктов // Пищевая промышленность. 2017. № 3. С. 18–21.

7 Романова Н.К., Романова Е.В., Ямашев Т.А. Перспективность использования плодово-ягодного сырья в создании продуктов функциональной направленности // Технологии и продукты здорового питания: сборник статей XII Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 17–18 декабря 2020 года. Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2021. С. 589–591.

8 Eksi Karaagac H., Cavus F., Kadioglu B., Ugur N. et al.Evaluation of nutritional, color and volatiles properties of currant (Ribes spp.) cultivars in Turkey // Food Science and Technology. 2020. V. 41. P. 304-313. doi: 10.1590/fst.29119

9 Jara-Palacios M.J., Santisteban A., Gordillo B. et al. Comparative study of red berry pomaces (blueberry, red raspberry, red currant and blackberry) as source of antioxidants and pigments // European Food Research and Technology. 2019. V. 245. P. 1–9. doi: 10.1007/s00217–018–3135-z

10 Afam I.O., Jideani H., Silungwe T., Takalani A.O. et al. Antioxidant-rich natural fruit and vegetable products and human health // International Journal of Food Properties. 2021. V. 24. №. 1. P. 41–67. doi: 10.1080/10942912.2020.1866597

11 Kirina I.B., Belosokhov F.G., Titova L.V. et al. Biochemical assessment of berry crops as a source of production of functional food products // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2020. V. 548. №. 8. P. 082068. doi: 10.1088/1755–1315/548/8/082068

12 Müller-Maatsch J., Bencivenni M., Caligiani A., Tedeschi T. Pectin content and composition from different food waste streams // Food Chemistry. 2016. V. 201. P. 37–45. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.01.012

13 Verzhuk V., Pavlov A., Novikova L.Y., Filipenko G. Viability of Red (Ribes rubrum L.) and Black (Ribes nigrum L.) Currant Cuttings in Field Conditions after Cryopreservation in Vapors of Liquid Nitrogen // Agriculture. 2020. № 10(10). P. 476. doi: 10.3390/agriculture10100476

14 Pancerz M., Kruk J., Witek M., Ptaszek A. The effect of biopolymer-water interaction on relaxation phenomena in blackcurrant pectin solutions // Food Chemistry. 2022. V. 383. P. 132600. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.132600

15 Wu G., Hui X., Mu J., Brennan M.A. et al. Functionalization of whey protein isolate fortified with blackcurrant concentrate by spray-drying and freeze-drying strategies // Food Research International. 2021. V. 141. P. 110025. doi: 10.1016/j.foodres.2020.110025

16 Chesnokova N.Y., Levochkina L.V., Kuznetsova A.A., Zakharyan R.A. The Use of Anthocyanins of Black Currant and Polysaccharides in the Production of Sweet Dishes // Biomedical and Pharmacology Journal. 2015. V. 8. №. 2. P. 697-703. doi: 10.13005/bpj/815

17 Oliwa R., Ryszkowska J., Oleksy M., Auguścik-Królikowska M. et al. Effects of various types of expandable graphite and blackcurrant pomace on the properties of viscoelastic polyurethane foams // Materials. 2021. V. 14. №. 7. P. 1801. doi: 10.3390/ma14071801

18 Lee W.G. Quality characteristic and antioxidant properties of gelatin jelly incorporated with black currant (Ribes nigrum L.) powder // Culinary science and hospitality research. 2018. V. 24. №. 3. P. 113-120.

19 Gawkowska D., Cybulska J., Zdunek A. Structure-related gelling of pectins and linking with other natural compounds: A review // Polymers. 2018. V. 10. №. 7. P. 762. doi: 10.3390/polym10070762

20 Mikulic-Petkovsek M., Slatnar A., Schmitzer V., Stampar F. et al. Chemical profile of black currant fruit modified by different degree of infection with black currant leaf spot // Scientia Horticulturae. 2013. V. 150. P. 399-409. doi: 10.1016/j.scienta.2012.11.038

References

1 Akimov M.Yu., Makarov V.N., Zhbanova E.V. The role of fruits and berries in providing a person with vital biologically active substances. Achievements of Science and Technology of APK. 2019. vol. 33. no. 2. pp. 56–60. doi: 10.24411/0235–2451–2019–10214. (in Russian).

2 Badiu D.Yu., Emelianenko A.A. Evaluation of selected forms of black and red currants by the quality of canned products. Innovative technologies - in the practice of agriculture: materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 75th anniversary of the formation of the Faculty of Agronomy of the Vyatka State Agricultural Academy, Kirov, December 12, 2019 . Kirov, Vyatskaya, 2019, pp. 49–53. (in Russian).

3 Vasilyeva N.A. Variety study of berry crops (gooseberries, raspberries, red currants, strawberries) in the conditions of Western Transbaikalia. Actual issues of development of the agricultural sector of the economy of the Baikal region: materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference dedicated to the Day of Russian Science, Ulan-Ude, 06 - February 07, 2020. Ulan-Ude, Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippova, 2020, pp. 23–27. (in Russian).

4 Myasishcheva N.V., Makarkina M.A., Knyazev S.D., Golyaeva O.D. Study of the quality of fresh and frozen blackcurrant berries to justify their use in the technology of jelly products. Technology and commodity science of innovative food products. 2017. no. 1(42). pp. 61–69. (in Russian).

5 Myasishcheva N.V., Makarkina M.A. Study of the gelling properties of pectins of blackcurrant berries during low-temperature storage. Fruit growing and berry growing in Russia. 2017. vol. 49. pp. 249–252. (in Russian).

6 Myasishcheva N.V., Makarkina M.A., Knyazev S.D. The use of fresh and frozen blackcurrant berries in the technology of jelly products. Food industry. 2017. no. 3. pp. 18–21. (in Russian).

7 Romanova N.K., Romanova E.V., Yamashev T.A. Prospects for the use of fruit and berry raw materials in the creation of functional products. Technologies and healthy food products: collection of articles of the XII National scientific and practical conference with international participation, Saratov, December 17–18, 2020. Saratov, Saratov State Agrarian University. N.I. Vavilova, 2021, pp. 589–591. (in Russian).

8 Eksi Karaagac H., Cavus F., Kadioglu B., Ugur N. et al.Evaluation of nutritional, color and volatiles properties of currant (Ribes spp.) cultivars in Turkey. Food Science and Technology. 2020. vol. 41. pp. 304-313. doi: 10.1590/fst.29119

9 Jara-Palacios M.J., Santisteban A., Gordillo B. et al. Comparative study of red berry pomaces (blueberry, red raspberry, red currant and blackberry) as source of antioxidants and pigments. European Food Research and Technology. 2019. vol. 245. pp. 1–9. doi: 10.1007/s00217–018–3135 z

10 Afam I.O., Jideani H., Silungwe T., Takalani A.O. et al. Antioxidant-rich natural fruit and vegetable products and human health. International Journal of Food Properties. 2021. vol. 24. no. 1. pp. 41–67. doi: 10.1080/10942912.2020.1866597

11 Kirina I.B., Belosokhov F.G., Titova L.V. et al. Biochemical assessment of berry crops as a source of production of functional food products. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2020. vol. 548. no. 8. pp. 082068. doi: 10.1088/1755–1315/548/8/082068

12 Müller-Maatsch J., Bencivenni M., Caligiani A., Tedeschi T. Pectin content and composition from different food waste streams. Food Chemistry. 2016. vol. 201. pp. 37–45. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.01.012

13 Verzhuk V., Pavlov A., Novikova L.Y., Filipenko G. Viability of Red (Ribes rubrum L.) and Black (Ribes nigrum L.) Currant Cuttings in Field Conditions after Cryopreservation in Vapors of Liquid Nitrogen. Agriculture. 2020. no. 10(10). pp. 476. doi: 10.3390/agriculture10100476

14 Pancerz M., Kruk J., Witek M., Ptaszek A. The effect of biopolymer-water interaction on relaxation phenomena in blackcurrant pectin solutions. Food Chemistry. 2022. vol. 383. pp. 132600. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.132600

15 Wu G., Hui X., Mu J., Brennan M.A. et al. Functionalization of whey protein isolate fortified with blackcurrant concentrate by spray-drying and freeze-drying strategies. Food Research International. 2021. vol. 141. pp. 110025. doi: 10.1016/j.foodres.2020.110025

16 Chesnokova N.Y., Levochkina L.V., Kuznetsova A.A., Zakharyan R.A. The Use of Anthocyanins of Black Currant and Polysaccharides in the Production of Sweet Dishes. Biomedical and Pharmacology Journal. 2015. vol. 8. no. 2. pp. 697-703. doi: 10.13005/bpj/815

17 Oliwa R., Ryszkowska J., Oleksy M., Auguścik-Królikowska M. et al. Effects of various types of expandable graphite and blackcurrant pomace on the properties of viscoelastic polyurethane foams. Materials. 2021. vol. 14. no. 7. pp. 1801. doi: 10.3390/ma14071801

18 Lee W.G. Quality characteristic and antioxidant properties of gelatin jelly incorporated with black currant (Ribes nigrum L.) powder. Culinary science and hospitality research. 2018. vol. 24. no. 3. pp. 113-120.

19 Gawkowska D., Cybulska J., Zdunek A. Structure-related gelling of pectins and linking with other natural compounds: A review. Polymers. 2018. vol. 10. no. 7. pp. 762. doi: 10.3390/polym10070762

20 Mikulic-Petkovsek M., Slatnar A., Schmitzer V., Stampar F. et al. Chemical profile of black currant fruit modified by different degree of infection with black currant leaf spot. Scientia Horticulturae. 2013. vol. 150. pp. 399-409. doi: 10.1016/j.scienta.2012.11.038

Сведения об авторах

Нина В. Мясищева д.с-х.н., профессор, кафедра зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия, myasischevanv@mgupp.ru
https://orcid.org/0000-0001-5922-5616

Information about authors

Nina V. Myasishcheva Dr. Sci. (Agric.), professor, grain, bakery and confectionery technologies department, Moscow State University of Food Production, 11. Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russia, myasischevanv@mgupp.ru
https://orcid.org/0000-0001-5922-5616

Вклад авторов

Нина В. Мясищева написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Nina V. Myasishcheva 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 13/04/2022	**После редакции** 05/05/2022	**Принята в печать** 31/05/2022

Received 13/04/2022	**Accepted in revised** 05/05/2022	**Accepted** 31/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-142-146 Оригинальная статья/Research article
УДК 636.085.55.002.2:66.099.2 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Подготовка стебельного растительного сырья при производстве брикетированных кормовых смесей

Лариса И. Лыткина [1] larissaig2410@rambler.ru 0000-0001-7857-7756
Евгения С. Шенцова [1] evgeniya-shencova@ya.ru 0000-0002-4744-7112
Елена Е. Курчаева [2] alena.kurchaeva@ya.ru 0000-0001-5958-0909
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
2 Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия

Аннотация. Для поддержания стабильной конкурентоспособности российской сельскохозяйственной продукции на внутреннем и внешнем рынках необходимо изыскивать резервы применения безотходных технологий с использованием в полном объеме отечественные сырьевых ресурсов. В условиях роста производства кормов, обеспечения комбикормовой промышленности компонентами растительного происхождения важная роль принадлежит использованию недорогих грубых травяных кормов. Применение их позволяет более рационально расходовать стебельные растительные корма, полностью сбалансировать рацион животных, механизировать раздачу корма, уменьшить его потери при транспортировании, раздаче и поедании и, тем самым, значительно снизить стоимость продукции животноводства. В связи с производством новых видов продукции в виде брикетов, технология производства которых предполагает ввод стебельных растительных материалов важное значение приобретает процесс их подготовки. Проведены исследования процесса измельчения стебельного растительного сырья с различной влажностью на молотковой дробилке, в ходе которых были определены оптимальные параметры ее работы, позволяющие снизить энергоемкость процесса измельчения на 8,5-10,5 % и повысить качество вырабатываемых брикетов.

Ключевые слова: кормовые смеси, растительное сырье, процесс измельчения, влажность, расход электроэнергии, кормовые брикеты.

Preparation of stem vegetable raw materials in the production of briquetted feed mixtures

Larisa I. Lytkina [1] larissaig2410@rambler.ru 0000-0001-7857-7756
Evgeniya S. Shentsova [1] evgeniya-shencova@ya.ru 0000-0002-4744-7112
Elena E. Kurchaeva [2] alena.kurchaeva@ya.ru 0000-0001-5958-0909
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
2 Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great,1, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia

Abstract. To maintain the stable competitiveness of Russian agricultural products in the domestic and foreign markets, it is necessary to find reserves for the use of non-waste technologies using domestic raw materials in full. In the conditions of growing feed production, providing the feed industry with components of plant origin, an important role belongs to the use of inexpensive rough grass feed. Their use allows more rational use of plant stem forage, completely balances the diet of animals, mechanizes the distribution of feed, reduces its losses during transportation, distribution and eating, and thus significantly reduces the cost of livestock products. In connection with the production of new types of products in the form of briquettes, the production technology of which involves the introduction of stem plant materials, the process of their preparation is of great importance. Studies of the process of grinding stem plant raw materials with different moisture content on a hammer crusher were carried out, during which the optimal parameters of its operation were determined, which make it possible to reduce the energy intensity of the grinding process by 8.5-10.5% and improve the quality of the produced briquettes

Keywords: feed mixtures, vegetable raw materials, grinding process, humidity, energy consumption, feed briquettes.

Введение

Необходимым условием дальнейшего роста благосостояния населения является превращение сельского хозяйства в высокоэффективную и высокопроизводительную отрасль страны.

Перспективы развития животноводства тесно связаны с перспективами развития кормовой базы, в которой значительное место занимает промышленное развитие кормов.

Для цитирования
Лыткина Л.И., Шенцова Е.С., Курчаева Е.Е., Торшина А.А. Подготовка стебельного растительного сырья при производстве брикетированных кормовых смесей // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 142–146. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-142-146

For citation
Lytkina L.I., Shentsova E.S., Kurchaeva E.E., Torshina A.A. Preparation of stem vegetable raw materials in the production of briquetted feed mixtures. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 142–146. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-142-146

© 2022, Лыткина Л.И. и др. / Lytkina L.I. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

В настоящее время комбикорма на государственных предприятиях вырабатываются для всех видов сельскохозяйственных животных и птицы в рассыпном, гранулированном и брикетированном виде почти по 400 рецептам с использованием свыше 200 видов различного сырья. Для сокращения затрат кормов на единицу животноводческой продукции и повышения продуктивности необходимо не только достаточное количество комбикормов, но и их высокое качество [1]. Ускоренное развитие комбикормовой отрасли требует постоянного расширения перечня используемых местных сырьевых ресурсов. В кормлении жвачных животных большое преимущество, по сравнению с рассыпными комбикормами, имеют гранулированные и брикетированные полнорационные кормовые смеси.

В условиях роста производства кормов, обеспечения комбикормовой промышленности компонентами растительного происхождения важная роль принадлежит использованию недорогих грубых травяных кормов [1]. Применение их позволяет более рационально расходовать грубые корма, полностью сбалансировать рацион животных, механизировать раздачу корма, уменьшить его потери при транспортировании, раздаче и поедании и, тем самым, значительно снизить стоимость продукции животноводства. Кроме того, для брикетированных кормов требуется меньше складских помещений, их можно хранить в бункерах и в складах насыпью [1].

В связи с увеличением процентного содержания стебельных растительных видов сырья в гранулированных и брикетированных комбикормах важное значение приобретает процесс их подготовки, особенно таких, как сено и солома [1].

Настоящая работа посвящена исследованию технологиче¬ского процесса подготовки стебельных растительных материалов (очистка и измельчение с получением продукта однородного гранулометрического состава) с целью определения рациональных режимов и разработки на их основе рекомендаций по повышению эффективности процесса и улучшению качества готовой продукции. В результате исследований были определены физико-механические свойства стебельных материалов. Изучалось влияние скорости воздушного потока на эффективность процесса очистки. Определены зависимости потерь давления от весовой концентрации материала, граничащие условия и коэффициент эффективности процесса очистки.

Материалы и методы

Одной из наиболее трудоемких технологических операций при производстве полнорационных кормов является измельчение соломы. Количественный показатель – крупность измельчения соломы, оказывает важное влияние на эффективность технологического процесса брикетирования. Установлено, что высокопроизводительная работа прессов с матрицами, имеющими отверстия диаметром до 15 мм, обеспечивается при длине частиц соломы от 12 до 5 мм. Увеличение длины резки снижает производительность прессов и ухудшает процесс скармливания.

Кроме длины резки, на производительность прессов оказывает влияние характер деформации грубого корма, который определяется процентом расщепляемости стеблей растений. Анализ работы существующих измельчителей при переработке овсяной соломы влажностью 12 – 13 % показал, что машины с ножевым типом рабочих органов расщепляют от 60 до 70 % стеблей соломы, штифтовые – до 90 % и молотковые дробилки – до 99 % продукта.

Результаты и обсуждение

Для определения влияния влажности на гранулометрический состав соломы и на характер деформации стеблей, были проведены исследования по переработке овсяной соломы на молотковой дробилке КДУ-2,0 при окружной скорости молотков 71 м/с. В дробилку устанавливались сита с отверстиями диаметром 8 мм.

Результаты проведенных исследований представлены на рисунках 1 и 2.

Определено, что с увеличением влажности перерабатываемой соломы на 1 % энергоемкость процесса ее измельчения увеличивается на 8,5 – 10,5 % в интервале увеличения влажности от 12,0 до 26,5 % (рисунок 1).

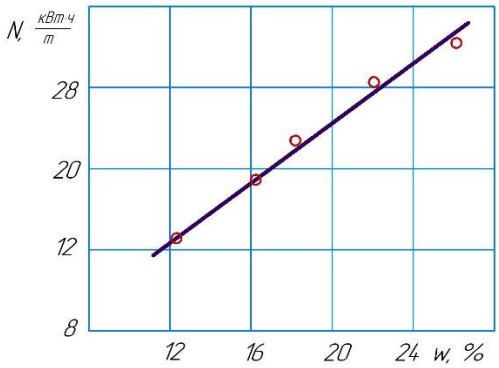


Рисунок 1. Зависимость энергоемкости процесса измельчения от влажности перерабатываемой соломы

Figure 1. The dependence of the energy intensity of the grinding process on the moisture content of the processed straw

Качество продукта измельчения значительно изменяется при увеличении влажности соломы как в зоне крупных частиц (кривая 1, рисунок 2), так и в зоне мелких фракций (кривая *4*, рисунок 2), в то время как средняя фракция (остаток на ситах с отверстиями диаметром 1, 2, 3 мм просеивающей машины) перераспределяется в пределах 7,0...10,5 %.

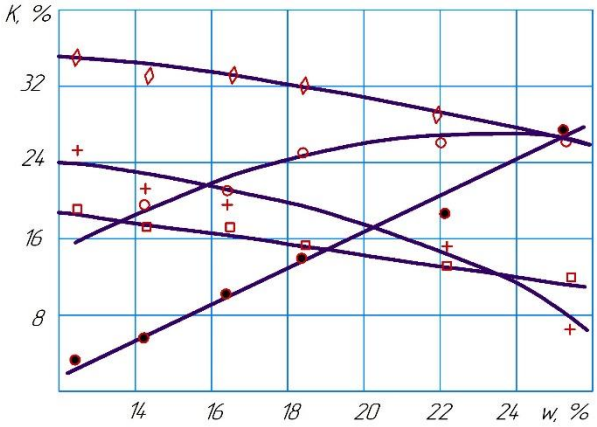


Рисунок 2. Зависимость остатков на ситах классификатора (К) от влажности перерабатываемой соломы: 1 – остаток на сите 0 4 мм; 2 – остаток на сите диаметром 3 мм; 3 – остаток на сите диаметром 2 мм; 4 – остаток на сите диаметром 1 мм; 5 – остаток на дне

Figure 2. Dependence of the residues on the classifier sieves (K) on the moisture content of the processed straw: 1 – residue on the 0 4 mm sieve; 2 – residue on a sieve with a diameter of 3 mm; 3 – residue on a sieve with a diameter of 2 mm; 4 – residue on a sieve with a diameter of 1 mm; 5 – balance at the bottom

Характер деформации материала при его измельчении изменяется. Если сухая солома (влажностью 12,0 – 14,5 % преимущественно измельчается поперек волокон, то с увеличением влажности увеличивается расщеплямость соломенных стеблей вдоль волокон с образованием частиц «метелочной» формы, которые на ситах просеивающей машины образуют остатки продукта с частицами разного линейного размера.

По результатам проведенных исследований разработаны рекомендации по применению молотковой дробилки при измельчении стебельных материалов для использования их в производстве кормовых брикетов.

Установлено, что характер деформации соломы зависит от типа измельчителя, при использовании молотковых дробилок расщепление стебельных волокон достигает 99 %. Энергоемкость процесса измельчения овсяной соломы увеличивается на 8,5 – 10,5 % в интервале роста влажности от 12,0 до 26,5 %. С увеличением влажности перерабатываемой соломы до 26 % при измельчении выход крупных фракций увеличивается в 5 – 7 раз, а мелких снижается в 3 – 4 раза

Технологическим процессом производства кормовых смесей предусмотрено приготовление и дозирование смеси концентратов с белковыми и минеральными добавками, приготовление и дозирование соломенной сечки, ввод мелассы, смешивание, брикетирование и охлаждение полученных брикетов.

Смесь концентратов и добавок готовится в комбикормовом цехе и подается на линию брикетирования в приемный бункер, затем норией через магнитную колонку направляется в бункер-накопитель агрегата ОПК-2-2, предназначенного для брикетирования сечки и смесей на основе грубых и комбинированных кормов. Компоненты дозируются, смешиваются с подготовленной соломенной сечкой и поступают в пресс для брикетирования. Для получения качественных брикетов и уменьшения нагрузки на пресс вводится кормовая меласса в количестве 2 – 5 %..

Готовые брикеты подаются в охладительную колонку, затем в бункера готовой продукции для хранения.

Заключение

В результате проведенных исследований разработаны рекомендации по применению молотковой дробилки КДУ-2 для измельчения стебельного растительного сырья при производстве кормовых брикетов и даны оптимальные параметры ее работы.

Применение брикетированных кормовых смесей на основе стебельного растительного сырья позволяет получить высококачественный продукт, достичь необходимый эффект при скармливании жвачным животным.

Литература

1 Пат. № 2630453, RU, A23K 40/20, 10/30. Способ производства брикетов кормовых на основе зерновой патоки и линия для его осуществления / Шевцов А.А., Дранников А.В., Шенцова Е.С., Лыткина Л.И и др. № 2016143112/13; Заявл. 02.11.2016; Опубл. 08.09.2017, Бюл. № 25.

2 Пат. № 2595177, RU, A23K 10/33. Способ производства брикетов кормовых и линия для его осуществления / Шевцов А.А., Дранников А.В., Апалихина О.А; Шенцова Е.С. № 2015100166/13; Заявл. 13.01.2015; Опубл. 20.08.2016, Бюл. № 23.

3 Лыткина Л.И., Щенцова Е.С., Переверзева С.А., Сазонова С.И. Энергоэффективная технология кормовых брикетов-лизунцов для подкормки жвачных животных // Актуальные проблемы пищевой промышленности и общественного питания: Международная научно-практическая конференция. 2017. С.144-146.

4 Волков В.С., Беззубцева М.М. Способ механоактивации биологически активной добавки для кормопроизводства // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. 2015. №. 1. С. 36-40.

5 ГОСТ 23513-79. Брикеты и гранулы кормовые. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2002. 4 с.

6 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

7 Шевцов А.А., Дранников А.В., Дерканосова А.А., Коротаева А.А. Продукты переработки вегетативной массы растений в кормопроизводстве // Материалы LII отчетной научной конференции за 2013 год. 2014. С. 62.

8 Kurchaeva E.E., Vostroilov A.V., Artemov E.S., Maksimov I.V. Improvement of rabbit productivity using probiotics and herbal supplements // Conference on Innovations in Agricultural and Rural development. 2019. V. 341. 012051. doi: 10.1088/1755-1315/341/1/012051

9 Lytkina L.I., Shentsova E.S., Kurchaeva E.E., Pereverzeva S.A. Ways to reduce the total bacterial contamination of grain raw materials and bran in the production of all-mash // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials - Technology of Processing, Storage and Recycling of Plant Crops". 2021. P. 022016.

10 Лыткина Л.И., Шенцова Е.С., Переверзева С.А., Михайлов А.Г. Новая технология производства брикетированной кормовой добавки // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 2. С. 191–195. doi:10.20914/2310-1202-2019-2-191-195

11 Xia X., Sun Y., Wu K., Jiang Q. Modeling of a straw ring-die briquetting process // BioResources. 2014. V. 9. №. 4. P. 6316-6328

12 Bakshi M.P.S., Wadhwa M., Makkar H.P. Waste to worth: Vegetable wastes as animal feed // Cab Rev. 2016. V. 11. №. 012. P. 1-26. doi: 10.1079/PAVSNNR201611012

13 Wang B., Shen X., Chen S., Bai Y. et al. Distribution characteristics, resource utilization and popularizing demonstration of crop straw in southwest China: A comprehensive evaluation // Ecological indicators. 2018. V. 93. P. 998-1004. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.05.081

14 Groen M.J., Steele M.A., DeVries T.J. Effect of straw inclusion rate in a dry total mixed ration on the behavior of weaned dairy calves // Journal of Dairy Science. 2015. V. 98. №. 4. P. 2693-2700. doi: 10.3168/jds.2014-8978

15 Salah M. El-Haggar Sustainable Industrial Design and Waste Management. Cradle-to-cradle for Sustainable Development. Book, 2007. doi: 10.1016/B978-0-12-373623-9.X5000-X

16 Богомолова И.П., Василенко И.Н. Научное исследование динамики и тенденций развития отечественной комбикормовой промышленности // Вектор экономики. 2016. № 6. С. 46.

17 Лыткина Л.И., Переверзева С.А. Исследование прочности брикетированной кормовой добавки // Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: сборник статей VIII Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию технологического факультета ВГУИТ. 2019. С. 219-221.

18 Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 30 августа 2019 N 1931-р. URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72590266/

19 Ghosh M.K. et al. Productivity Enhancement of Dairy Animals through Nutritional Management // Nces in livestock ction manageme technologies. P. 58.

20 Sharma R.K., Arora D.S. Biodegradation of paddy straw obtained from different geographic locations by means of Phlebia spp. for animal feed // Biodegradation. 2011. V. 22. №. 1. P. 143-152.

21 Astanakulov K.D., Gapparov S., Karshiev F., Makhsumkhonova A. et al. Study on preparation and distribution of forage by chopping coarse fodder // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2020. V. 614. №. 1. P. 012158. doi:10.1088/1755-1315/614/1/012158

22 Lahrmann H., Oxholm L., Steinmetz H., Nielsen M. et al. The effect of long or chopped straw on pig behaviour // Animal. 2015. V. 9. №. 5. P. 862-870. doi:10.1017/S1751731114003024

23 Havekes C.D., Duffield T.F., Carpenter A.J., DeVries T.J. Effects of wheat straw chop length in high-straw dry cow diets on intake, health, and performance of dairy cows across the transition period // Journal of dairy science. 2020. V. 103. №. 1. P. 254-271. doi: 10.3168/jds.2019-17033

References

1 Shevtsov A.A., Drannikov A.V., Shentsova E.S., Lytkina L.I. et al. A method for the production of fodder briquettes based on grain molasses and a line for its implementation. Patent RF, no. 2630453, 2017.

2 Shevtsov A.A., Drannikov A.V., Apalikhina O.A., Shentsova E.S. A method for the production of fodder briquettes and a line for its implementation. Patent RF, no. 2595177, 2016.

3 Lytkina L.I., Shchentsova E.S., Pereverzeva S.A., Sazonova S.I. Energy-efficient technology of fodder lick briquettes for feeding ruminants. Actual problems of the food industry and public catering: International scientific and practical conference. 2017. pp. 144-146. (in Russian).

4 Volkov V.S., Bezzubtseva M.M. The method of mechanoactivation of biologically active additives for fodder production. Rational nutrition, food additives and biostimulants. 2015. no. 1. pp. 36-40. (in Russian).

5 State Standard 23513-79. Briquettes and feed pellets. Specifications. Moscow, Standartinform, 2002. 4 p. (in Russian).

6 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

7 Shevtsov A.A., Drannikov A.V., Derkanosova A.A., Korotaeva A.A. Processing products of the vegetative mass of plants in fodder production. Proceedings of the LII reporting scientific conference for 2013. 2014. pp. 62. (in Russian).

8 Kurchaeva E.E., Vostroilov A.V., Artemov E.S., Maksimov I.V. Improvement of rabbit productivity using probiotics and herbal supplements. Conference on Innovations in Agricultural and Rural development. 2019. vol. 341. 012051. doi: 10.1088/1755-1315/341/1/012051

9 Lytkina L.I., Shentsova E.S., Kurchaeva E.E., Pereverzeva S.A. Ways to reduce the total bacterial contamination of grain raw materials and bran in the production of all-mash. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials - Technology of Processing, Storage and Recycling of Plant Crops". 2021. pp. 022016.

10 Lytkina L.I., Shentsova E.S., Pereverzeva S.A., Mikhailov A.G. New technology for the production of briquetted feed additives. Proceedings of VSUET. 2019. vol. 81. no. 2. pp. 191–195. doi:10.20914/2310-1202-2019-2-191-195 (in Russian).

11 Xia X., Sun Y., Wu K., Jiang Q. Modeling of a straw ring-die briquetting process. BioResources. 2014. vol. 9. no. 4. pp. 6316-6328

12 Bakshi M.P.S., Wadhwa M., Makkar H.P. Waste to worth: Vegetable wastes as animal feed. Cab Rev. 2016. vol. 11. no. 012. pp. 1-26. doi: 10.1079/PAVSNNR201611012

13 Wang B., Shen X., Chen S., Bai Y. et al. Distribution characteristics, resource utilization and popularizing demonstration of crop straw in southwest China: A comprehensive evaluation. Ecological indicators. 2018. vol. 93. pp. 998-1004. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.05.081

14 Groen M.J., Steele M.A., DeVries T.J. Effect of straw inclusion rate in a dry total mixed ration on the behavior of weaned dairy calves. Journal of Dairy Science. 2015. vol. 98. no. 4. pp. 2693-2700. doi: 10.3168/jds.2014-8978

15 Salah M. El-Haggar Sustainable Industrial Design and Waste Management. Cradle-to-cradle for Sustainable Development. Book, 2007. doi: 10.1016/B978-0-12-373623-9.X5000-X

16 Bogomolova I.P., Vasilenko I.N. Scientific study of the dynamics and trends in the development of the domestic feed industry. Vector of the economy. 2016. no. 6. pp. 46. (in Russian).

17 Lytkina L.I., Pereverzeva S.A. Study of the strength of briquetted feed additives. New in technology and technology of functional foods based on biomedical views: collection of articles of the VIII International Scientific and Technical Conference dedicated to the 90th anniversary of the VSUET Faculty of Technology. 2019. pp. 219-221. (in Russian).

18 Strategy for the development of the food and processing industry of the Russian Federation for the period up to 2020: Decree of the Government of the Russian Federation of August 30, 2019 N 1931-r. Available at: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72590266/ (in Russian).

19 Ghosh M.K. et al. Productivity Enhancement of Dairy Animals through Nutritional Management. Nces in livestock ction manageme technologies. pp. 58.

20 Sharma R.K., Arora D.S. Biodegradation of paddy straw obtained from different geographic locations by means of Phlebia spp. for animal feed. Biodegradation. 2011. vol. 22. no. 1. pp. 143-152.

21 Astanakulov K.D., Gapparov S., Karshiev F., Makhsumkhonova A. et al. Study on preparation and distribution of forage by chopping coarse fodder. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2020. vol. 614. no. 1. pp. 012158. doi:10.1088/1755-1315/614/1/012158

22 Lahrmann H., Oxholm L., Steinmetz H., Nielsen M. et al. The effect of long or chopped straw on pig behavior. Animal. 2015. vol. 9. no. 5. pp. 862-870. doi:10.1017/S1751731114003024

23 Havekes C.D., Duffield T.F., Carpenter A.J., DeVries T.J. Effects of wheat straw chop length in high-straw dry cow diets on intake, health, and performance of dairy cows across the transition period. Journal of dairy science. 2020. vol. 103. no. 1. pp. 254-271. doi: 10.3168/jds.2019-17033

Сведения об авторах

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

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@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-4744-7112

Елена Е. Курчаева д.с.-х.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

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

Information about authors

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

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@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-4744-7112

Elena E. Kurchaeva Dr. Sci. (Agric.), associate professor, private animal science department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia, alena.kurchaeva@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-5958-0909

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

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 11/04/2022	**После редакции** 12/05/2022	**Принята в печать** 03/06/2022
Received 11/04/2022	**Accepted in revised** 12/05/2022	**Accepted** 03/06/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-147-151 Краткое сообщение/Short message
УДК 615.322:543.05 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Способы получения экстракта травы зверобоя для пищевой промышленности

Алексей В. Дранников [1] drannikov@list.ru 0000-0002-3060-8688
Александр А. Шевцов [2] shevalol@rambler.ru 0000-0003-2599-5692
Яна П. Домбровская [1] yana_dombrovskaya@inbox.ru 0000-0003-2363-7648
Анна А. Деркаосова [1] aa-derk@ya.ru 0000-0002-9726-9262
Дмитрий С. Китаев [1] kitaevdm01@mail.ru
Наталья Л. Клейменова [4] klesha78@list.ru 0000-0002-1462-4055

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, 394064, Россия

Аннотация. Трава зверобоя содержит биологически активные соединения, флавоноиды (1,5–5%), нафтодиантроны, флороглюцины, дубильные вещества (10–13%), эфирное масло (0,1–0,33%) и другие соединения. В соответствии с патентом RU 2 067 452 C1 получение экстракта зверобоя проводиться с помощью системы растворителей ацетон-70% этанол – 30% этанол. Траву зверобоя подвергают экстрагированию ацетоном. Оставшееся после экстрагирования сырье высушивают и экстрагируют 70% этанолом при соотношении 1:10 методом перколяции. Полученные от извлечений экстракты объединяют и высушивают. Экстракты травы зверобоя можно получать с применением двухфазной системы растворителей. В качестве экстрагирующей системы используется смесь растворителей - хлороформ: этанол: вода (8:10:10). Существует следующий способ. Используются растворители в этанол, метанол, изопропанол (каждый в концентрации 40%, 70% и неразбавленные) и в воде, с помощью ультразвука. Образцы экстрагируются в течение 15, 30 и 60 мин. Экстрагирование в воде с помощью ультразвука по процентному содержанию отдаваемых биологически активных компонентов сравнимо близко к экранированию спиртами, но не требует очистки. Для пищевого производства актуальным будет способ получения экстракта травы зверобоя по патенту RU 2 265 448 C2. Где обработанную лазером массу суспендируют в воде. Суспендирование осуществляется так, чтобы на 1 л воды приходилось от 50 до 300, предпочтительно от 100 до 250 г обработанной лазером массы травы зверобоя. Суспендирование измельченных растений следует проводить при температуре от 10 до 40°C, хотя не исключаются и более высокие или более низкие температуры. Затем суспензию выдерживают от 5 до 20 дней, предпочтительно от 7 до 15 дней при температуре от 2 до 10°C, предпочтительно от 4 до 8°C. Пищевые продукты, обогащенные экстрактом травы зверобоя, имеют более длительные сроки хранения.

Ключевые слова: зверобой, экстракция, пищевая промышленность, экстракт зверобоя, химический состав.

Methods of obtaining hypericaceae herb extract for the food industry

Alexey V. Drannikov [1] drannikov@list.ru 0000-0002-3060-8688
Alexander A. Shevtsov [2] shevalol@rambler.ru 0000-0003-2599-5692
Yana P. Dombrovskaya [1] yana_dombrovskaya@inbox.ru 0000-0003-2363-7648
Anna A. Derkanosova [1] aa-derk@ya.ru 0000-0002-9726-9262
Dmitrij S. Kitaev [1] kitaevdm01@mail.ru
Natalia L. Kleymenova [4] klesha78@list.ru 0000-0002-1462-4055

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

Abstract. Hypericaceae herb contains biologically active compounds, flavonoids (1.5–5%), naphthodianthrons, phloroglucins, tannins (10-13%), essential oil (0.1–0.33%) and other compounds. In accordance with the patent RU 2,067,452 C1, St. John's wort extract is obtained using a solvent system acetone-70% ethanol – 30% ethanol. Hypericaceae is extracted with acetone. The raw materials remaining after extraction are dried and extracted with 70% ethanol at a ratio of 1:10 by percolation. The extracts obtained from the extracts are combined and dried. Extracts of St. John's wort herb can be obtained using a two-phase solvent system. As an extraction system, a mixture of solvents is used - chloroform: ethanol: water (8:10:10). There is the following way. Solvents are used in ethanol, methanol, isopropanol (each in a concentration of 40%, 70% and undiluted) and in water, using ultrasound. Samples are extracted within 15, 30 and 60 minutes. Extraction in water using ultrasound is comparably close to screening with alcohols in terms of the percentage of biologically active components given off, but does not require purification. For food production, the method of obtaining St. John's wort herb extract according to the patent RU 2 265 448 C2 will be relevant. Where the laser-treated mass is suspended in water. Suspension is carried out so that for 1 liter of water there are from 50 to 300, preferably from 100 to 250 g of laser-treated mass of St. John's wort grass. The suspension of crushed plants should be carried out at a temperature of 10 to 40 ° C, although higher or lower temperatures are not excluded. Then the suspension is kept from 5 to 20 days, preferably from 7 to 15 days at a temperature of 2 to 10 ° C, preferably from 4 to 8 ° C. Food products enriched with St. John's wort herb extract have longer shelf life.

Keywords: hypericum, extraction, food industry, hypericum extract, chemical composition.

Для цитирования
Дранников А.В., Шевцов А.А., Домбровская Я.П., Деркаосова А.А., Китаев Д.С., Клейменова Н.Л. Способы получения экстракта травы зверобоя для пищевой промышленности // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 147–151. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-147-151

For citation
Drannikov A.V., Shevtsov A.A., Dombrovskaya Ya.P., Derkanosova A.A., Kitaev D.S., Kleymenova N.L. Methods of obtaining hypericaceae herb extract for the food industry. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 147–151. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-147-151

© 2022, Дранников А.В. и др. / Drannikov A.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

В пищевой промышленности наряду с синтетическими красителями и добавками применяются и средства на основе растительного сырья. В последние годы их роль неуклонно возрастает, особенно на фоне современной проблемы здорового питания. Изучение состава и свойств биологически активных компонентов, входящих в состав лекарственных растений, поиски оптимальных способов их получения является одним из актуальных направлений научных исследований.

В русской народной медицине трава зверобоя известна лечебными свойствами, например, широко используется при ревматизме, ишиасе, подагре, туберкулезе легких с кровохарканьями, кровотечениях и белях у женщин, геморрое, заболеваниях печени, мастопатии, различного рода воспалительных процессах, фурункулах и т. п. [1, 2].

Зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum L.*) – это многолетнее травянистое растение семейства зверобойных высотой 30–100 см. Стебли гладкие, круглые, с двумя боковыми ребрами, наверху ветвистые. Листья с многочисленными просвечивающимися светлыми и черными железками. При осмотре они кажутся проколотыми. Цветки собраны в соцветие. Лепестки ярко-желтые. Плод зверобоя – трехгнездная коробочка.

Зверобой продырявленный распространен почти на всей европейской части России, на Кавказе, в Западной и Восточной Сибири, а также в горах Средней Азии. Растет на сухих лугах, холмах, полянах и опушках леса, в разреженных лесах и среди зарослей кустарника. Встречается как сорняк возле дорог и по окраинам полей [3].

Трава зверобоя содержит разнообразные биологически активные соединения, важнейшими из которых являются флавоноиды (1,5–5%), нафтодиантроны, флороглюцины, дубильные вещества (10–13%), эфирное масло (0,1–0,33%) и другие соединения [4].

Флавоноиды снимают спазм гладкой мускулатуры желчных протоков, мочеточников, а также кровеносных сосудов. Они увеличивают отток желчи, препятствуют ее застою в желчном пузыре, предотвращают образование камней, облегчают желчевыделение, снимают спазмы кишечника, улучшают пищеварительную способность желудочно – кишечного тракта.

Активные вещества обладают антибактериальными, антисептическими, противовоспалительными, желчегонными, мочегонными, вяжущими свойствами.

Зверобой обладает общеукрепляющим, противовоспалительным, желчегонным, вяжущим действием.



Рисунок 1. Состав биологически активных соединений в траве зверобоя

Figure 1. The composition of biologically active compounds in hypericaceae

Богатый химический состав зверобоя является основополагающей лечебных свойств травы зверобоя. Это растение обладает разносторонними действиями: противовоспалительным, антимикробным, антидепрессивным, кровоостанавливающим, противовирусным, антиоксидантным и др. Поэтому добавление трав зверобоя в продукцию будет иметь положительный эффект на здоровье человека, но добавление самой травы возможно не во все продукты и концентрация активных веществ будет минимальным. Поэтому необходимо использовать экстракт, т. к. в нем содержаться активные вещества в высокой концентрации.

Цель данной работы - изучение известных способов получения экстракта зверобоя.

В соответствии с патентом RU 2 067 452 C1 получение экстракта зверобоя может осуществиться с помощью системы растворителей ацетон – 70% этанол – 30% этанол. Способ используется следующим образом.

Траву зверобоя первоначально подвергают экстрагированию ацетоном. Оставшееся после экстрагирования растительное сырье высушивают и экстрагируют 70% этанолом при соотношении 1:10 методом перколяции. Растительное сырье, оставшееся после экстракции 70%-ным этанолом, высушивают и затем экстрагируют 30%-ным этанолом при соотношении 1:10. Полученные от извлечений экстракты объединяют и высушивают.

Данная последовательность применения растворителей с различной полярностью позволяет выделить из травы зверобоя максимальное количество химически активных веществ, обладающих антибактериальной активностью.

В соответствии с источником [5] экстракты травы зверобоя можно получать с применением двухфазной системы растворителей. В качестве экстрагирующей системы используется смесь растворителей – хлороформ: этанол: вода (8:10:10).

Для получения экстракта травы зверобоя в соответствии с источником [6] можно использовать совместно с растворителями ультразвук. Способ осуществляется следующим образом.

Используются растворители в этанол, метанол, изопропанол (каждый в концентрации 40%, 70% и неразбавленные) и в воде, с помощью ультразвука. Образцы экстрагируются в течение 15, 30 и 60 мин. На основании данной работы видно, что экстрагирование в воде с помощью ультразвука по процентному содержанию отдаваемых биологически активных компонентов сравнимо близко к экранированию спиртами, но не требует очистки и может использоваться в пищевом производстве.

Известны так же способы получения масляных экстрактов [7, 8, 9,10, 11].

Экстракт травы зверобоя получают с помощью экстракционных растворителей таких как: оливковое, пальмовое и подсолнечное масло. В соотношении 1:5 (трава зверобоя: масло). Данные экстракты могут быть использованы в фармакологии и косметологии.

Для пищевого производства наиболее актуальным будет способ получения экстракта травы зверобоя, описанный в источнике [3, 12-20] (вода и ультразвук) или способ согласно патенту RU 2 265 448 C2. Где обработанную лазером массу суспендируют в воде. Суспендирование осуществляется таким образом, чтобы на 1 л воды приходилось от 50 до 300, предпочтительно от 100 до 250 г. обработанной лазером массы травы зверобоя. Суспендирование измельченных растений следует проводить при температуре от 10 до 40 °C, хотя не исключаются и более высокие или более низкие температуры. Затем суспензию выдерживают от 5 до 20 дней, предпочтительно от 7 до 15 дней при температуре от 2 до 10 °C, предпочтительно от 4 до 8 °C.

В результате использования способа получения водного экстракта травы зверобоя возможно получение водного раствора универсального в применении, как в пищевой, так и в химической, фармакологической и косметологической промышленности.

Все представленные способы применимы для получения качественного экстракта зверобоя.

Учитывая уникальные антибактериальные свойства экстракта травы зверобоя, его необычайно широкое распространение в природе, можно сделать вывод о перспективе применения данного метода в различных отраслях пищевой промышленности. Пищевые продукты, обогащенные экстрактом травы зверобоя, устойчивы к воздействию микроорганизмов, имеют более длительные сроки хранения, обладают иммунобиологическими свойствами и предназначены в первую очередь для оздоровления детей и взрослого населения различных социальных групп, профилактики и лечения заболеваний желудочно-кишечного тракта.

Литература

1 Гусев Н.Ф., Петрова Г.В., Филиппова А.В., Немерешина О.Н. Перспективы использования лекарственных растений в современной России // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. №. 2. С. 167-170.

2 Зверобой: полезные свойства и противопоказания, применение в народной медицине. Лечебные свойства травы зверобой: средство от 99 болезней // Энциклопедия лекарственных растений. URL: https://herbalpedia.ru/catalog/zveroboj.html

3 Кириллов Н.А. Использование растений при лечении иммунных заболеваний // Современные проблемы медицины и естественных наук. 2018. Р. 57-61.

4 Постраш И.Ю. Трава зверобоя продырявленного: химический состав, свойства, применение // Вестник АПК Верхневолжья. 2021. № 1 (53). С. 57-63.

5 Коваленко Н.А., Янцевич А.В., Супиченко Г.Н., Леонтьев В.Н. Получение гиперицинобогащенных экстрактов зверобоя продырявленного // Труды БГТУ. 2015. №4. С. 207-210.

6 Muzykiewicz A. et al. Antioxidant activity of St. John's Wort extracts obtained with ultrasound-assisted extraction // Pomeranian Journal of Life Sciences. 2019. V. 65. №. 4. P. 89-93. doi: 10.21164/pomjlifesci.640

7 Arsić I. Preparation and characterization of St. John's wort herb extracts using olive, sunflower and palm oils // Acta facultatis medicae Naissensis. 2016. V. 33. №. 2. P. 119-126. doi: 10.1515/afmnai-2016-0013

8 Долматова О.И., Рудометкина К.А. Технология масла кислосливочного с фитокомпонентами // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 225-228. doi: 10.20914/2310-1202-2018-4-225-228

9 Правдивцева О.Е., Куркин В.А. Исследования по обоснованию новых подходов к стандартизации сырья и препаратов зверобоя продырявленного // Химия растительного сырья. 2008. №. 1. С. 81-86.

10 Правдивцева О.Е., Куркин В.А. Стерины надземной части зверобоя продырявленного // Химия растительного сырья. 2011. №. 4. С. 333-334.

11 Zhang J. et al. Enhanced hypericin extraction from Hypericum perforatum L. by coupling microwave with enzyme-assisted strategy // Industrial Crops and Products. 2019. V. 137. P. 231-238. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.05.036

12 Aydin G. et al. The Use of Natural Preservative Propolis and Hypericum perforatum Oil in Herbal Cream Production // International Journal of Traditional and Complementary Medicine Research. 2021. V. 2. №. 1. P. 27-35.

13 Jarzębski M. et al. Characterization of St. John's wort (Hypericum perforatum L.) and the impact of filtration process on bioactive extracts incorporated into carbohydrate-based hydrogels // Food Hydrocolloids. 2020. V. 104. P. 105748. doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105748

14 Giacometti J. et al. Extraction of bioactive compounds and essential oils from mediterranean herbs by conventional and green innovative techniques: A review // Food research international. 2018. V. 113. P. 245-262. doi: 10.1016/j.foodres.2018.06.036

15 Radušienė J. et al. Effect of nitrogen on herb production, secondary metabolites and antioxidant activities of Hypericum pruinatum under nitrogen application // Industrial Crops and Products. 2019. V. 139. P. 111519. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.111519

16 Delcanale P. et al. Photodynamic action of Hypericum perforatum hydrophilic extract against Staphylococcus aureus // Photochemical & Photobiological Sciences. 2020. V. 19. №. 3. P. 324-331. doi: 10.1039/c9pp00428a

17 Mutlu B., Erci F., Çakir Koç R. Production of alginate films containing Hypericum perforatum extract as an antibacterial and antioxidant wound dressing material // Journal of Bioactive and Compatible Polymers. 2022. V. 37. №. 2. P. 134-148.

18 Ma H. et al. Effects of nitrogen substitute and Hypericum perforatum extract on the ethanol fermentation of traditional Chinese medicine dregs // Industrial Crops and Products. 2019. V. 128. P. 385-390.

19 Ion V. et al. Hypericum spp.—An Overview of the Extraction Methods and Analysis of Compounds // Separations. 2022. V. 9. №. 1. P. 17.

20 Jakubczyk A. et al. The influence of hypericum perforatum l. Addition to wheat cookies on their antioxidant, anti-metabolic syndrome, and antimicrobial properties // Foods. 2021. V. 10. №. 6. P. 1379.

References

1 Gusev N.F., Petrova G.V., Filippova A.V., Nemereshina O.N. Prospects for the use of medicinal plants in modern Russia. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2014. no. 2. pp. 167-170. (in Russian).

2 St. John's wort: useful properties and contraindications, use in traditional medicine. Medicinal properties of the herb St. John's wort: a remedy for 99 diseases. Encyclopedia of Medicinal Plants. Available at: https://herbalpedia.ru/catalog/zveroboj.html (in Russian).

3 Kirillov N.A. The use of plants in the treatment of immune diseases. Modern problems of medicine and natural sciences. 2018. pp. 57-61. (in Russian).

4 Postrash I.Yu. Hypericum perforatum: chemical composition, properties, application. Bulletin of the APK of the Upper Volga Region. 2021. no. 1 (53). pp. 57-63. (in Russian).

5 Kovalenko N.A., Yantsevich A.V., Supichenko G.N., Leontiev V.N. Obtaining hypericin-enriched extracts of St. John's wort. Proceedings of BSTU. 2015. no. 4. pp. 207-210. (in Russian).

6 Muzykiewicz A. et al. Antioxidant activity of St. John's Wort extracts obtained with ultrasound-assisted extraction. Pomeranian Journal of Life Sciences. 2019. vol. 65. no. 4. pp. 89-93. doi: 10.21164/pomjlifesci.640

7 Arsić I. Preparation and characterization of St. John's wort herb extracts using olive, sunflower and palm oils. Acta facultatis medicae Naissensis. 2016. vol. 33. no. 2. pp. 119-126. doi: 10.1515/afmnai-2016-0013

8 Dolmatova O.I., Rudometkina K.A. Technology of sour-cream butter with phytocomponents. Proceedings of VSUET. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 225-228. doi: 10.20914/2310-1202-2018-4-225-228 (in Russian).

9 Pravdivtseva O.E., Kurkin V.A. Studies on the substantiation of new approaches to the standardization of raw materials and preparations of St. John's wort Chemistry of vegetable raw materials. 2008. no. 1. pp. 81-86. (in Russian).

10 Pravdivtseva O.E., Kurkin V.A. Sterols of the aerial part of St. John's wort. Chemistry of vegetable raw materials. 2011. no. 4. pp. 333-334. (in Russian).

11 Zhang J. et al. Enhanced hypericin extraction from Hypericum perforatum L. by coupling microwave with enzyme-assisted strategy. Industrial Crops and Products. 2019. vol. 137. pp. 231-238. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.05.036

12 Aydin G. et al. The Use of Natural Preservative Propolis and Hypericum perforatum Oil in Herbal Cream Production. International Journal of Traditional and Complementary Medicine Research. 2021. vol. 2. no. 1. pp. 27-35.

13 Jarzębski M. et al. Characterization of St. John's wort (Hypericum perforatum L.) and the impact of filtration process on bioactive extracts incorporated into carbohydrate-based hydrogels. Food Hydrocolloids. 2020. vol. 104. pp. 105748. doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105748

14 Giacometti J. et al. Extraction of bioactive compounds and essential oils from mediterranean herbs by conventional and green innovative techniques: A review. Food research international. 2018. vol. 113. pp. 245-262. doi: 10.1016/j.foodres.2018.06.036

15 Radušienė J. et al. Effect of nitrogen on herb production, secondary metabolites and antioxidant activities of Hypericum pruinatum under nitrogen application. Industrial Crops and Products. 2019. vol. 139. pp. 111519. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.111519

16 Delcanale P. et al. Photodynamic action of Hypericum perforatum hydrophilic extract against Staphylococcus aureus. Photochemical & Photobiological Sciences. 2020. vol. 19. no. 3. pp. 324-331. doi: 10.1039/c9pp00428a

17 Mutlu B., Erci F., Çakir Koç R. Production of alginate films containing Hypericum perforatum extract as an antibacterial and antioxidant wound dressing material. Journal of Bioactive and Compatible Polymers. 2022. vol. 37. no. 2. pp. 134-148.

18 Ma H. et al. Effects of nitrogen substitute and Hypericum perforatum extract on the ethanol fermentation of traditional Chinese medicine dregs. Industrial Crops and Products. 2019. vol. 128. pp. 385-390.

19 Ion V. et al. Hypericum spp.—An Overview of the Extraction Methods and Analysis of Compounds. Separations. 2022. vol. 9. no. 1. pp. 17.

20 Jakubczyk A. et al. The influence of hypericum perforatum l. Addition to wheat cookies on their antioxidant, anti-metabolic syndrome, and antimicrobial propertie. Foods. 2021. vol. 10. no. 6. pp. 1379.

Сведения об авторах

Алексей В. Дранников д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, drannikov@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-3060-8688

Александр А. Шевцов д.т.н., профессор, кафедра 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, shevalol@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0003-2599-5692

Яна П. Домбровская к.т.н., доцент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, yana_dombrovskaya@inbox.ru
https://orcid.org/0000-0003-2363-7648

Анна А. Дерканосова д.т.н., профессор, 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

Дмитрий С. Китаев студент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kitaevdm01@mail.ru

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

Alexey V. Drannikov Dr. Sci. (Engin.), professor, machines and devices for food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, drannikov@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-3060-8688

Alexander A. Shevtsov Dr. Sci. (Engin.), professor, aviation equipment operation department, 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, shevalol@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0003-2599-5692

Yana P. Dombrovskaya Cand. Sci. (Engin.), associate professor, machines and devices for food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, yana_dombrovskaya@inbox.ru
https://orcid.org/0000-0003-2363-7648

Anna A. Derkanosova Dr. Sci. (Engin.), 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

Dmitrij S. Kitaev students, machines and devices for food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kitaevdm01@mail.ru

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

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 02/03/2022	**После редакции** 22/03/2022	**Принята в печать** 22/04/2022

Received 02/03/2022	**Accepted in revised** 22/03/2022	**Accepted** 22/04/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-152-161 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.854 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Оптимизация технологии высоковязких жидких сред с использования отходов масложировой промышленности

Екатерина Ю. Желтоухова [1] katsturova@gmail.com 0000-0002-7463-9013
Полина А. Тронза [1] tronza0207@ya.ru 0000-0002-4583-1276
Анастасия В. Терёхина [1] gorbatova.nastia@yandex.ru

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

Аннотация. Высоковязкие жидкие среды с заданными свойствами являются продуктом комплексной переработки масличных культур и отходов масложировых предприятий, поэтому они должны обладать как можно более широким спектром специализированных характеристик. Высоковязкие жидкие среды становятся более удобными в использовании и не менее эффективной альтернативой твердым средам. С этой целью в их состав можно вводить природные компоненты в виде отходов масложировой промышленности, растительных и эфирных масел. Для создания конкурентноспособного продукта была разработана модифицированная технология на стадии внесения добавок комплексной переработки масличных культур и отходов масложировых предприятий. Проанализированы основные добавки и подобраны природные компоненты из отходов масложировой промышленности, растительных и эфирных масел - масло чайного дерева, алоэ-вера гель, обладающие хорошим противовоспалительным, бактерицидным, противогрибковым, противовирусным и ранозаживляющим действием. Подобранные компоненты вводят в высоковязкие жидкие среды в соллюбилизированном виде часто в сочетании с другими компонентами. Разработан состав экспериментального образца высоковязких жидких сред - лауретсульфат натрия, кокамидопропилбетаин, кокамид ДЭА, хлорид натрия, глицерил, акрилатный сополимер, метилхлороизотиазолинон метилизотиазолинон, лимонная кислота, динатрий ЭДТА, масло чайного дерева, алоэ-вера гель, триклокарбан, отдушка, вода. В ходе экспериментальной части подобран пошаговый ход ввода компонентов при производстве образцов высоковязких жидких сред, время проведения конкретных операций загрузки каждого компонента при производстве высоковязких жидких сред - 15 минут, скорость вращение мешалки - 45об/мин и температура компонентов на каждой стадии процесса 21 ℃.

Ключевые слова: высоковязкие жидкие среды, отходы масложировых предприятий, масло чайного дерева, алоэ-вера гель.

Optimization of the technology of high-viscosity liquid media using waste products from the oil and fat industry

Ekaterina Yu. Zheltoukhova [1] katsturova@gmail.com 0000-0002-7463-9013
Polina A. Tronza [1] tronza0207@ya.ru 0000-0002-4583-1276
Anastasiya V. Terekhina [1] gorbatova.nastia@yandex.ru

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

Abstract. High-viscosity liquid media with desired properties are the product of complex processing of oil crops and waste products from oil and fat enterprises, so they must have the widest possible range of specialized characteristics. Highly viscous liquid media are becoming a more convenient and equally effective alternative to solid media. For this purpose, natural components can be introduced into their composition in the form of waste from the oil and fat industry, vegetable and essential oils. To create a competitive product, a modified technology was developed at the stage of introducing additives for the complex processing of oilseed cults and waste from oil and fat enterprises. The main additives were analyzed and natural components from the waste of the oil and fat industry, vegetable and essential oils were selected - tea tree oil, aloe vera gel, which have good anti-inflammatory, bactericidal, antifungal, antiviral and wound healing effects. Selected components are introduced into highly viscous liquid media in solubilized form, often in combination with other components. The composition of an experimental sample of high-viscosity liquid media - sodium laureth sulfate, cocamidopropyl betaine, cocamide DEA, sodium chloride, glyceryl, acrylate copolymer, methylchloroisothiazolinone methylisothiazolinone, citric acid, disodium EDTA, tea tree oil, aloe vera gel, triclocarban, fragrance, water was developed. During the experimental part, a step-by-step course for introducing components in the production of samples of high-viscosity liquid media was selected, the time for carrying out specific loading operations for each component in the production of high-viscosity liquid media was 15 minutes, the rotation speed of the stirrer was 45 rpm, and the temperature of the components at each stage of the process was 21 ℃

Keywords: high-viscosity liquid media, fat-and-oil enterprises waste, tea tree oil, aloe vera gel..

Введение

В условиях современного мира ни один человек не обходится без использования в своем обиходе высоковязких жидких сред. В настоящее время, с развитием пищевой промышленности и технических возможностей производства, все большую популярность набирают высоковязкие жидкие среды. Высоковязкие жидкие среды становятся более удобной в использовании и не менее эффективной [2] альтернативой для дальнейшего использования отходов масложировой промышленности. Производители высоковязких жидких сред не стоят на месте, только и успевая пополнять ассортимент [3] продуктами всевозможных запахов, цветов и уже вряд ли можно найти такую кожу и волосы, чтобы не было продукта «специально для них». [1]. Создание конкурентоспособных [4] высоковязких жидких сред с использования отходов масложировой промышленности диктует очень высокие требования к уровню знаний специалистов, работающих в этой области.

Для цитирования
Желтоухова Е.Ю., Тронза П.А., Терёхина А.В. Оптимизация технологии высоковязких жидких сред с использования отходов масложировой промышленности // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 152–161. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-152-161

For citation
Zheltoukhova E.Yu., Tronza P.A., Terekhina A.V. Optimization of the technology of high-viscosity liquid media using waste products from the oil and fat industry. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 152–161. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-152-161

© 2022, Желтоухова Е.Ю. и др. / Zheltoukhova E.Yu. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Знаний о высоковязких жидких средах и их ингредиентах, об их совместимости и о правилах создания рецептур немного. В настоящее время существуют тысячи [5] специализированных ингредиентов, которые относятся к отходам масложировых предприятий: подсолнечная лузга, жмыхи и шроты, фосфатиды и так далее из различных видов растительного сырья.

Цель работы – разработка технологии и рецептуры комплексной переработки масличных культур при работе с высоковязкими жидкими средами с заданными свойствами.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись количественный состав высоковязких жидких сред с использованием отходов масложировой промышленности [6]. Виды высоковязких жидких сред могут быть разделены условно, на антибактериальные средства и на средства с антибактериальными свойствами. При чем закономерность разделения следующая: высоковязкие жидкие среды с использованием отходов масложировой промышленности с антибактериальным эффектом не содержат в составе триклозан/триклокарбан, а антибактериальные средства наоборот – в составе присутствует триклозан/триклокарбан. Использование таких сред может быть вполне оправданно. При наличии микротравм, порезов, ссадин, царапин полезно будет обработать кожу антибактериальным средой для того, чтобы исключить попадание в рану болезнетворных возбудителей, однако постоянно использовать такие сред было бы неразумно. При разработке новых наименований высоковязких сред сейчас учитывается и фактор отсутствия вреда для человека и, как следствие, предпочтение отдается поиску природным, растительным компонентам или отходам пищевой промышленности с антисептическими добавками вместо синтетических. Для ежедневного ухода за кожей рекомендуют использовать высоковязкие среды, содержащие природные, растительные антимикробные и дезинфицирующие компоненты или отходы масложировой промышленности – экстракт чайного дерева, алое, календулы, ромашки, подсолнечная лузга, жмыхи и шроты и так далее из разных видов растительного сырья. Эти средства обладают гиппоаллергенными, дезодорирующими свойствами, увлажняют кожный покров и мягко его очищают.

Описание технологии производства высоковязких жидких сред и процесс подготовки компонентов сырья включает в себя следующие основные стадии [7]: входной контроль сырья и материалов; доставка в производственное помещение сырья и упаковочных материалов; водо-подготовка; пастеризация воды; взвешивание компонентов; приготовление растворов красите-лей, раствора лимонной кислоты; приготовление жидкой среды; фасовка; обработка и дезинфекция ёмкостей, оборудования и линий участка; промывка линий при переходе с одной жидкой среды на другую.

Входной контроль сырья и рабочих сред [6] осуществляется в соответствии с перечнем сырья, материалов и компонентов, поступающих на предприятии и подлежащих входному контролю, СТО СМК 842–20 «Верификация закупленной продукции. Входной контроль» и СТО СМК 10–21 «Несоответствия и корректирующие действия». Производится выполнение испытаний физико-химических показателей сырья и определяются результаты, производится органолептический и визуальный контроль сырья и материалов, а также сравнение фактических физико-химических показателей с нормативной документацией. Вода перед пастеризацией и подачей в варочные емкости проходит через систему водоподготовки. Водоподготовка заключается в обработке воды для приведения её качества в соответствие с нормативными требованиями. Принципом водоподготовки является ионный обмен – процесс, который позволяет производить эффективную очистку воды от ионов железа и солей жесткости на ионы натрия. Умягчение и обезжелезивание воды основано на процеживании воды сквозь особый фильтрующий материал (гранулированную ионообменную смолу), во время которого вода избавляется от ионов железа и солей жесткости, которые остаются в смоле, тогда как в воду из смолы выделяются ионы натрия. Для приготовления высоковязких жидких сред используют только пастеризованную воду. Пастеризация воды осуществляется через пастеризатор. Вода после водоподготовки поступает в приемный бак. Из приемного бака продукт насосом подается в секцию регенерации пластинчатого аппарата [8] для предварительного нагрева и далее направляется в секцию пастеризации, где нагревается до заданной температуры. Далее вода поступает в выдерживатель, из которого направляется последовательно в секции регенерации и охлаждения. Нагрев воды до требуемой температуры в секции пастеризации осуществляется горячей водой, которая циркулирует в замкнутом контуре парового нагрева. Температура пастеризации воды индицируется и регистрируется на лицевой панели. Пастеризация воды через пастеризатор осуществляется в потоке. Взвешивание компонентов производится с использованием идентифицированной тары. При приготовлении раствора красителя необходимо использовать

средства индивидуальной защиты – перчатки, халат, при необходимости респиратор. Раствор красителя готовят согласно Технологической карте [9] на производство конкретного наименования высоковязких жидких сред. Для приготовления 50%-ого раствора лимонной кислоты необходимо: в тару, предназначенное для взвешивания / хранения лимонной кислоты загрузить лимонную кислоту и воду в соотношении 1:1 по массе и перемешивать до полного растворения лимонной кислоты в воде. Процесс приготовления высоковязких жидких сред осуществляется в соответствии с требованиям Технологической карты на высоковязкие жидкие среды конкретного наименования. Варочные емкости предназначены для наведения высоковязких жидких сред с дальнейшим розливом на упаковочном автомате, варочные емкости предназначены для наведения высоковязких жидких сред с дальнейшим розливом линии розлива, варочные емкости предназначены для наведения высоковязких жидких сред с дальнейшим розливом линии розлива линии. Через пастеризатор производят пастеризацию воды, для этого необходимо отобрать пробы пастеризованной воды и передать для определения жесткости и pH, произвести набор пастеризованной воды в емкости для пастеризованной воды. После получения результатов испытаний воды произвести набор необходимого количества пастеризованной воды в варочные емкости [10]. Дозирование сырья осуществляется вручную. Загружаемые среды должны быть жидкими и однородным. Однородность определяется визуально и заключается в отсутствии нерастворенных частиц или частиц посторонних веществ. В варочные емкости, с пастеризованной водой, необходимо загрузить динатрий ЭДТА при включенной мешалке. Количество сырья и режимы ведения технологического процесса (температура, частота вращения мешалки, продолжительность перемешивания) указаны в Технологической карте на высоковязкие жидкие среды конкретного наименования. По истечении времени перемешивания проверить степень однородности смеси. После достижения однородного состояния следует загрузить взвешенное количество лауретсульфат натрия при включенной мешалке. По истечении времени перемешивания проверяют степень однородности смеси [11]. После достижения однородного состояния загружают взвешенное количество кокамидопропилбетаин, затем диэтаноламид кокосового масла при включенной мешалке. После достижения однородности следует загрузить глицерин при включенной мешалке, далее ввести консервант, раствор лимонной кислоты, отдушку, замутнитель, краситель тонкой струйкой при включенной мешалке. После внесения всех компонентов и достижения однородного состояния необходимо внести небольшими порциями хлорид натрия при включенной мешалке. Далее необходимо слить около 50 кг продукта с варочных емкостей для перемешивания осевшего осадка со дна и поместить высоковязкие жидкие среды обратно в емкость. После завершения слива среды для перемешивания можно отключить мешалку и оставить продукт для отстаивания согласно Технологической карты на производство высоковязких жидких сред конкретного наименования. Затем необходимо отобрать пробу высоковязких жидких сред пробоотборником из каждой варочной емкости и передать в ПЛ на определение физико-химических показателей (pH, вязкость, массовая доля хлоридов, устойчивость пены, пеннообразующая способность). После получения результатов испытаний из ПЛ, в случае их соответствия требованиям Технологической карты на выпускаемую продукцию осуществляют контроль органолептических показателей (внешний вид, цвет, запах) [13–20]. Если полученные высоковязкие жидкие среды соответствует требованиям Технологической карты на выпускаемую продукцию, то приступают к фасовке продукта. После получения заключения о разрешении фасовки продукт при температуре согласно Технологической карты на производство высоковязких жидких сред конкретного наименования перекачивают в баки розлива до их полного заполнения.

Самые популярные эфирные масла для борьбы с бактериями: чайное дерево, лаванда, душица, корица, базилик, шалфей, гвоздика, тимьян, пальмароза, бергамот, апельсин, лимон, лемонграсс, герань, розмарин, мята перечная, анис, пачули, эвкалипт, кориандр, полынь, вербена, цитронелла, мирт. Самые популярные эфирные масла для борьбы с грибами: герань, эвкалипт, корица, чайное дерево, розмарин, душица, шалфей, базилик, гвоздика, мирт, пачули, мята перечная, мята болотная, полынь, тмин чёрный, кориандр [12]. Самые популярные отходы масложировой промышленности, используемые при производстве высоковязких жидких сред: лузга, шелуха, погоны дезодорации, соапсток, фосфатиды, жмыхи, шроты и так далее для различных видов масличного сырья. Основные антисептические добавки, применяемые в производстве высоковязких жидких сред, и их влияние на кожу приведены в таблице 1. На сегодняшний день ассортимент антибактериальных добавок для высоковязких жидких сред довольно широк. Зачастую антибактериальные и антисептические свойства в косметических средствах достигаются с помощью такой добавки

как триклозан (или триклокарбан). Но стоит отметить, что это вещество действует только на бактерии (как патогенные, так и полезные для организма человека), оно бессильно перед вирусами. Стоит отметить, что триклозан сушит кожу и является сильным аллергеном. В ходе исследования 400 видов высоковязких жидких сред ученые выяснили, что бактерии способны приспосабливаться к этому веществу и мутировать в устойчивые против него формы. Поэтому при разработке новых наименований высоковязких сред сейчас учитывается и фактор отсутствия вреда для человека и, как следствие, предпочтение отдается поиску природных, растительных антисептических добавок вместо синтетических. Для ежедневного ухода рекомендуют использовать средства, содержащие природные антимикробные и дезинфицирующие компоненты – экстракт чайного дерева, алое, календулы, ромашки и др. Эти средства наравне со свойством уничтожения вредной флоры, обладают гипоаллергенными, дезодорирующими свойствами, увлажняют кожный покров и мягко его очищают. Требования к применяемому сырью приведены в таблице 2, а требования предъявляемые к готовому продукту приведены в таблице 3. На сегодняшний день ассортимент антибактериальных добавок для высоковязких жидких сред довольно широк. Зачастую антибактериальные и антисептические свойства в косметических средствах достигаются с помощью такой добавки как триклозан (или триклокарбан). Но стоит отметить, что это вещество действует только на бактерии (как патогенные, так и полезные для организма человека), оно бессильно перед вирусами. Стоит отметить, что триклозан сушит кожу и является сильным аллергеном. В ходе исследования 400 видов высоковязких жидких сред ученые выяснили, что бактерии способны приспосабливаться к этому веществу и мутировать в устойчивые против него формы. Поэтому при разработке новых наименований высоковязких сред сейчас учитывается и фактор отсутствия вреда для человека и, как следствие, предпочтение отдается поиску природных, растительных антисептических добавок вместо синтетических. Для ежедневного ухода рекомендуют использовать средства, содержащие природные антимикробные и дезинфицирующие компоненты – экстракт чайного дерева, алое, календулы, ромашки и др. Эти средства наравне со свойством уничтожения вредной флоры, обладают гипоаллергенными, дезодорирующими свойствами, увлажняют кожный покров и мягко его очищают. Требования к применяемому сырью приведены в таблице 2, а требования, предъявляемые к готовому продукту приведены в таблице 3.

Таблица 1.

Основные антисептические добавки, применяемые в производстве высоковязких жидких сред

Table 1.

The main antiseptic additives used in the production of high-viscosity liquid media

Компонент | Component	Действие | Action
1	2
Триклозан Triclosan	Антибактериальные средства широкого спектра действия. Обладают противовоспалительными свойствами. Имеют свойство воздействовать на грамм-положительную и грамм-отрицательную флору. Способны пустить в расход, как вредные, так и полезные бактерии, тем самым оставляя организм полностью без защиты. Способны вызвать мутацию микроорганизмов Broad-spectrum antibacterial agents. They have anti-inflammatory properties. They have the property of affecting gram-positive and gram-negative flora. They are able to waste both harmful and beneficial bacteria, thereby leaving the body completely unprotected. Capable of causing mutation of microorganisms
Триклокарбан Triclocarban	Вступают в реакцию с хлором в водопроводной воде с образованием диоксинов, а диоксины являются нейротоксинами, которые могут вызвать рак, нервные расстройства и нарушения иммунной системы. Наносят вред эндокринной системе, блокируя метаболизм гормонов щитовидной железы и присоединяясь к гормональным рецепторам, тем самым блокируя действие гормонов. React with chlorine in tap water to form dioxins, and dioxins are neurotoxins that can cause cancer, nervous disorders and immune system disorders. They harm the endocrine system by blocking the metabolism of thyroid hormones and joining hormone receptors, thereby blocking the action of hormones.
Хлороксиленол Chloroxylenol	Дезинфицирующее средство, обладает антисептическими свойствами. Активен в отношении большинства грамположительных бактерий и в меньшей степени – в отношении стафилококков и грамотрицательных бактерий. Как правило неактивен в отношении Pseudomonas spp. Не действует на споры бактерий. Разрешен в ЕС и Бразилии в концентрации до 0,5%, в Японии – до 0,2%. Disinfectant, has antiseptic properties. It is active against most gram-positive bacteria and to a lesser extent – against staphylococci and gram-negative bacteria. As a rule, it is inactive against Pseudomonas spp. Does not act on bacterial spores. It is allowed in the EU and Brazil in concentrations up to 0.5%, in Japan – up to 0.2%.

Продолжение таблицы 1 | Continuation of table 1

1	2
Масло чайного дерева/ Экстракт масла чайного дерева Tea Tree Oil / Tea Tree Oil Extract	Является мощнейшим антисептиком, и обладает хорошим противовоспалительным, бактерицидным, противогрибковым, противовирусным и ранозаживляющим действием. Антисептический эффект масла кратно выше чем у химических антисептиков. Часто используемое природное средстводля лечения трех типов инфекционных организмов: бактерий, грибов и вирусов. Более того, масло эффективно борется с некоторыми инфекциями, устойчивых к ряду антибиотиков. | It is a powerful antiseptic, and has a good anti-inflammatory, bactericidal, antifungal, antiviral and wound healing effect. The antiseptic effect of the oil is many times higher than that of chemical antiseptics. A commonly used natural remedy for the treatment of three types of infectious organisms: bacteria, fungi and viruses. Moreover, the oil effectively fights some infections resistant to a number of antibiotics.
Сок листьев Алоэ/Экстракт Алоэ Вера Aloe Leaf Juice/Aloe Vera Extract	Прекрасно разглаживает морщинки, успокаивает воспаленную кожу, защищает от солнца, обладает антимикробным и противогрибковым действием. является прекрасным увлажнителем, улучшает кровообращение, обладает противовоспалительным свойством, снимает раздражение, стимулирует процесс регенерации клеток кожи. Perfectly smoothes wrinkles, soothes inflamed skin, protects from the sun, has antimicrobial and antifungal action. it is an excellent moisturizer, improves blood circulation, has anti-inflammatory properties, relieves irritation, stimulates the regeneration of skin cells.
Этиловый спирт денатурированный Denatured ethyl alcohol	Используется как обезжиривающий агент, и как антимикробное средство. Уменьшает количество образующейся пены, либо полностью предотвращает ее появление. Является активным ингредиентом в противомикробных препаратах. Добавляют для стягивания пор или как кровоостанавливающие. Используется для растворения и смешивания ингредиентов между собой. Увеличивает текучесть косметики без существенного понижения концентрации активных компонентов. It is used as a degreasing agent, and as an antimicrobial agent. Reduces the amount of foam formed, or completely prevents its appearance. It is an active ingredient in antimicrobials. They are added to tighten pores or as hemostatic. It is used to dissolve and mix ingredients together. Increases the fluidity of cosmetics without significantly reducing the concentration of active ingredients.
Бронопол Bronopol	Используется как консервант, т. к. обладает антибактериальными и биоцидными свойствами. Эффективен в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий (синегнойную палочку (Pseudomonas aeruginosa). Малоактивен против дрожжевых и плесневых грибов и практически не активен против бактериальных спор. | It is used as a preservative, because it has antibacterial and biocidal properties. It is effective against gram-positive and gram-negative bacteria (Pseudomonas aeruginosa). It is inactive against yeast and mold fungi and is practically inactive against bacterial spores.
Никотинамид Nicotinamide	Оказывает положительное влияние на нервную систему и рефлекторно – на кожу. Часто приеним при лечении таких косметических недостатков, как краснота лица, угри т. д. Содержит большое количество витамина РР, котороый необходим для осуществления процессов биологического окисления в организме; входит в состав важных ферментов. Потребность организма в витамине РР – 15–25 мг в сутки. It has a positive effect on the nervous system and reflexively on the skin. It is often used in the treatment of cosmetic defects such as facial redness, acne, etc. It contains a large amount of vitamin PP, which is necessary for the implementation of the processes of biological oxidation in the body; it is part of important enzymes. The body's need for vitamin PP is 15–25 mg per day.
Бензалкония хлорид Benzalkonium chloride	Является лекарственным средством, которое оказывает противогрибковое, антисептическое, инактивирует вирусы, вызывающие простой герпес (Herpes simplex). Примечательной его особенностью являетс я то, что он действует на те штаммы бактерий, которые проявляют устойчивость к антибиотикам и другим ЛС. | It is a drug that has antifungal, antiseptic, inactivates viruses that cause herpes simplex (Herpes simplex). Its remarkable feature is that it acts on those strains of bacteria that show resistance to antibiotics and other drugs.
Мочевина Urea	Обладает свойствами естественной субстанции, не вызывающей аллергических реакций. Помогает нормализовывать сухую кожу, удерживая влагу. Снижает интенсивность воспалительных процессов, дезинфицирует кожу. Используется в косметических продуктах в концентрации в среднем (3–4) %, а средствах для сухой кожи – 5%. It has the properties of a natural substance that does not cause allergic reactions. Helps normalize dry skin by retaining moisture. Reduces the intensity of inflammatory processes, disinfects the skin. It is used in cosmetic products in a concentration of an average (3–4)%, and products for dry skin – 5%
Экстракт шалфея Sage Extract	Оказывает противовоспалительное, вяжущее, дезинфицирующее, смягчающее и сильное антиоксидантное действие. Способствует заживлению рзличных дефектов кожи. Эффективен в отношении грибковых заболеваний, снижает потоотделение, предупреждет возникновение неприятного запаха. | It has anti-inflammatory, astringent, disinfecting, softening and strong antioxidant effect. Promotes the healing of various skin defects. It is effective against fungal diseases, reduces sweating, prevents the occurrence of an unpleasant odor.
Экстракт календулы Calendula Extract	Оказывает на кожу противовоспалительное, дезинфицирующее, бактерицидное и ранозаживляющее действия. Он защищает клетки от повреждения и преждевременного старения, избавляет от аллергических проявлений, устраняя раздражение и покраснения. | It has anti-inflammatory, disinfecting, bactericidal and wound healing effects on the skin. It protects cells from damage and premature aging, eliminates allergic manifestations, eliminating irritation and redness.
Экстракт корня имбиря Ginger Root Extract	Оказывает на кожу имуномодулирующее и антимикробное действие. Помогает восстанавливать тонус иэнергетический баланс кожи, регенирирует, тоннизирует ее клетки и оказывает быстрый подтягивающий эффект. | It has an immunomodulatory and antimicrobial effect on the skin. It helps to restore the tone and energy balance of the skin, regenerates, tones its cells and has a quick tightening effect.

Таблица 2.

Требования к применяемому сырью

Table 2.

Requirements for the raw materials used

Сырье Raw material	Контролируемый показатель Controlled indicator	Нормативные показатели Standard value
Лауретсульфат натрия Sodium laureth sulfate	Внешний вид Visual appearance	Жидкость от бесцветной до желтоватой Liquid from colorless to yellowish
	pH 5	7–9
Бензалкония хлорид Benzalkonium chloride	Внешний вид Visual appearance	Прозрачная жидкость (допускается светло-желтый оттенок) | Transparent liquid (light yellow shade is allowed)
	Водородный показатель, pH Potential of hydrogen, pH	6–8
Кокоамидопропилбетаин Cocamidopropylbetaine	Внешний вид Visual appearance	Прозрачная жидкость (допускается светло-желтый оттенок) | Transparent liquid (light yellow shade is allowed)
	pH 5	5–8
Консервант Препарат Bioneutral Preservative Bioneutral drug	pH 10	3,47 ± 2
	Плотность, г/см^3 | Density, g/cm^3	1,0344 ± 0,02
Диэтаноламид (CDEA) пост. Б Diethanolamide (CDE) post. B	Внешний вид Visual appearance	Вязкая жидкость светло-желтого цвета Viscous liquid of light-yellow color
	Водородный показатель, pH 10% Potential of hydrogen, pH 10%	9,0 – 10,5
	Массовая доля влаги, % не более Mass fraction of moisture, % no more	1
Замутнитель «Эуперлан PCO/Euperlan PCO» Turbidifier "Euperlan RSO/Euperlan PCO"	Внешний вид | Visual appearance	Белая суспензия | White suspension
	Водородный показатель, pH potential of hydrogen, pH	4,5–5,5
	Вязкость при 20^0 C, мПа • с (сПз) Viscosity at 20^0 C, mPa • s (sDz)	0–2000
Краситель пищевой Е133 синий блестящий Food coloring E133 blue shiny	Внешний вид Visual appearance	Порошок красновато-синего цвета Powder of reddish-blue color
Краситель пищевой Е133 зеленый горох Food coloring E133 green peas	Внешний вид | Visual appearance	Порошок оранжево-красного цвета Powder of orange-red color
Отдушка «Мята перечная» AU2090.3C Fragrance "Peppermint" AU2090.3C	Внешний вид Visual appearance	Прозрачная жидкость от бесцветного до янтарного цвета | Transparent liquid from colorless to amber color
	Запах | Odor	Характерный | Characteristic
	Кислотное число, мг KOH/г, не более Acid number, mg KOH/g, no more	28

Таблица 3.

Требования к готовому продукту

Table 3.

Requirements for the completed product

Контролируемый показатель Controlled indicator	Нормативные показатели Standard value
Внешний вид (цвет, консистенция) Visual appearance (color, consistency)	Однородная жидкость зеленовато-синего («мятного») цвета Homogeneous liquid of greenish-blue ("mint") color
Запах | Odor	Мятный | Mint
Водородный показатель, pH Potential of hydrogen, pH	5–11
Моющая способность, % не менее Washing capacity, % not less	80

Эфирное масло эвкалипта против вирусов:

1) Вирус герпеса – подавление HSV-1 > 96% в клетках Vero при 1%. • Масло богато 1,8 – цинеолом (88%) ** Прямая инактивация вируса, влияние на оболочку вириона.

2) Вирус гриппа типа А (H1N9) – ингибирование около 90% при концентрации 0,31%. – ингибирование более 90% после воздействия парами ЭМ эвкалипта.

3) Вирус гриппа типа А (H11N9) 30 – минутное воздействие парами E. polybractea вызвало 100%-ое ингибирование.

Эфирное масло корицы против бактерий и вирусов:

1) Вирус гриппа типа А (H1N9) – ингибирование 100% при концентрации 0,31%. – ингибирование 100% после воздействия парами ЭМ корицы.

2) Эфирное масло корицы – одно из самых эффективных масел в борьбе с бактериями, его минимальная ингибирующая концентрация (MIC) составляет 25 мкл\л (воздействие парами) против Moraxella catarrhalis (вызывает инфекции нижних дыхательных путей, устойчива к обычным антимикробные агенты). MIC составляет 12,5 мкл\л против Haemophilus (вызывает синусит, отиты, пневмонию, менингит).

Эфирное масло лемонграсса против вирусов:

1) Вирус гриппа типа A (H1N9): – ингибирование 100% при концентрации 0,31%. – ингибирование 90% после 30 минут воздействия парами ЭМ лемонграсса.

2) Вирус герпеса HSV-1 – ингибирование 100% при концентрации 0,1% (одно из самых эффективных) Не повреждает капсид, а обволакивает его, вызывая неспецифическое связывание с клетками-хозяевами ⇒ снижается заражение.

Результаты и обсуждение

Сырье вносится в соответствии с нормами расхода под контролем специалиста. В качестве специальной добавки подобран антисептик, обладающий хорошим противовоспалительным, бактерицидным, противогрибковым, противовирусным и ранозаживляющим действием. Антисептический эффект масла в несколько раз выше чем у химических антисептиков. Часто используемое природное средство для лечения трех типов инфекционных организмов: бактерий, грибов и вирусов. Более того, масло эффективно борется с некоторыми инфекциями, устойчивых к ряду антибиотиков. В таблице 4 приведена рецептура экспериментального образца высоковязкой жидкой среды. В таблице 5 приведен ход ввода компонентов при производстве экспериментальных образцов высоковязких жидких сред.

Таблица 4.

Высоковязкая жидкая среда (экспериментальный образец)

Table 4.

High-viscosity liquid medium (experimental sample)

Компонент | Component	%
Лауретсульфат натрия | Sodium laureth sulfate	10
Кокамидопропилбетаин | Cocamidopropylbetaine	6
Кокамид ДЭА | Cocamide DEA	3,2
Хлорид натрия | Sodium Chloride	1
ПЭГ-7 глицерил кокоат | PEG-7 glyceryl coconut	0,9
Стирен/акрилатный сополимер Styrene/Acrylate copolymer	0,9
Метилхлороизотиазолинон/метилизотиазолинон Methylchloroisothiazolinone/Methylisothiazolinone	0,1
Лимонная кислота | Citric acid	0,1
Динатрий ЭДТА | Disodium EDTA	0,1
Масло чайного дерева | Tea Tree Oil	0,001
Алоэ-вера гель | Aloe Vera gel	0,01
Триклокарбан | Triclocarban	0,2
Отдушка | Fragrance	0,2
Вода | Water	До 100

Таблица 5.

Ход работы

Table 5.

Progress of operations

Очередность Priority	Операция Operation	Время проведения операции, мин Time of operation, min	Скорость вращения мешалки The speed of rotation of the agitator	Температура, °С Temperature, °С
1	Загрузить в реактор необходимое количество очищенной воды Load the required amount of purified water into the reactor	15	45	21
2	Загрузить и перемешивать банзалкония хлорид Load and mix Benzalkonium chloride	15	45	21
3	Загрузить и перемешивать лауретсульфат натрия Load and mix sodium laureth sulfate	10	45	21
4	Загрузить и перемешивать кокоамидопропилбетаин Load and mix cocoamidopropylbetaine	15	45	21
5	Загрузить и перемешивать диэтаноламид Load and mix diethanolamide	15	45	21
6	Загрузить и перемешивать заметнитель Эуперлан РСО Load and mix Euperlan RSO substitute	5	45	21
7	Загрузить и перемешивать консервант Load and mix the preservative	5	45	21
8	Загрузить и перемешивать ароматизатор | Load and mix the flavor	5	45	21
9, 10	Загрузить и перемешивать краситель Load and mix the coloring agent	15	45	21
11	Остановить мешалку, отобрать пробу для проведения лабораторных испытаний в количестве 0,5 кг Stop the agitator, take a sample for laboratory tests in the amount of 0.5 kg	-	-	-

Эфирное масло чайного дерева активно против:

1) Вирус герпеса – полное подавление HSV-1 в клетках Vero при 1%. – IC50 составляет 0,0009% для типа HSV-1 и 0,0008% для HSV-2.

2) Вирус гриппа типа А (H11N9) 15-минутное воздействие парами ЭМ чайного дерева вызвало 100%-ое ингибирование.

3) Вирус гриппа типа А (H1N9) – 100%-ное ингибирование при концентрации 0,1%. – IC50 составляет 0,0006%.

Эфирное масло чайного дерева в концентрации 0,02% предотвращает проникновение тестируемых вирусов в клетку-хозяина, что помогает предотвратить репликацию вируса. Всемирной организации здравоохранения разрешено использование эфирного масла чайного дерева на основании подтверждённых клинических данных:

– местное применение для симптоматического лечения кожных заболеваний: акне, лишай стоп, бромидроз, фурункулез;

– микоз ногтей;

– вагинит, цистит и цервицит;

– антисептик и дезинфектант для лечения ран.

Также описано в народной медицине: симптоматическое лечение ожогов, колитов, кашля и простуды, гингивита, ринофарингит, псориаза, стоматита, тонзиллита.

Рекомендуемая ВОЗ концентрация: 5–100%. Сок листьев алоэ прекрасно разглаживает морщинки, успокаивает воспаленную кожу, защищает от солнца, обладает антимикробным и противогрибковым действием, является прекрасным увлажнителем, улучшает кровообращение, обладает противовоспалительным свойством, снимает раздражение, стимулирует процесс регенерации клеток кожи.

Заключение

На основании маркетинговых исследований рекомендовано с целью повышения конкурентоспособности высоковязких жидких сред специализированного назначения с использованием отходом масложировой промышленности для российских производителей расширение ассортимента последнего за счет придания средам косметических и лечебно-профилактических свойств. Проведен анализ антисептических компонентов, применяемых в высоковязких жидких средах, подобрана рецептура высоковязкой жидкой среды с использованием в качестве антисептического компонента – эфирного масла чайного дерева и экстракта Алоэ Вера и отходов масложировой промышленности. Разработана технология получения высоковязких жидких сред на предприятии с введением в рецептуру эфирного масла чайного дерева экстракта Алоэ Вера в количестве 0,001%. Микробиологическими исследованиями доказано, что экстрактивные вещества растительных компонентов чайного дерева в составе эфирного масла и экстракта Алоэ Вера усиливают кислую реакцию кожи, создавая тем самым неблагоприятную среду для роста и развития микроорганизмов и вирусов. Усовершенствованы технология и аппаратурное оформление производства высоковязких жидких сред на стадии введения рекомендуемых компонентов.

Литература

1 Желтоухова Е.Ю., Кондрашина Е.Д. Разработка ресурсосберегающей технологии производства основы туалетного мыла периодическим косвенным методом из нейтральных жиров // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 3. С. 22–25. doi: 10.20914/2310–1202–2018–3–22–25

2 Садовничий Г.В. Современное масложировое производство и перспективы его развития // Масложировая промышленность. 2004. № 1. С. 2–3.

3 Ершова И.Г., Сорокина М.Г., Михайлова О.В. Технология переработки жиросодержащего сырья // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. ИЯ Яковлева. 2013. №. 4-2 (80). С. 83-86.

4 Амбарцумян Л.И., Диянова С.Н., Филимонова Л.И. Вопросы качества моющих средств // Евразийское Научное Объединение. 2015. V. 1. №. 6. P. 30-32.

5 David O.M., Ayeni D., Fakayode I.B., Famurewa O.E valuation of antibacterial properties of various hand sanitizers wipes used for cosmetic and hand hygiene purposes in Nigeria // Microbiology Research International. 2013. V. 1. №. 2. P. 22-26.

6 Носикова А.А., Мельников И.О., Кочетов А.Н. Определение фенольных соединений в дезинфекционных средствах // Тонкие химические технологии. 2017. № 3. С. 5–20.

7 Эмелло Г.Г., Бондаренко Ж.В., Черная Н.В. Поверхностно активные вещества–основа гигиенических моющих средств // Масложировая промышленность. 2013. №. 4. С. 32-34.

8 Strus O.Y., Polovko N.P., Filipska A.M., Rekhletska O.V. Development of the composition and technology of a soap with sapropel // ВІСНИК ФАРМАЦІЇ. 2017. V. 4. № 92. P. 35–40.

9 Puglia C., Santonocito D. Cosmeceuticals: nanotechnology-based strategies for the delivery of phytocompounds // Current pharmaceutical design. 2019. V. 25. №. 21. P. 2314-2322. doi: 10.2174/1381612825666190709211101

10 Goik U., Goik T., Załęska I. The properties and application of argan oil in cosmetology // European Journal of Lipid Science and Technology. 2019. V. 121. №. 4. P. 1800313. doi: 10.1002/ejlt.201800313

11 Xie P.J., Huang L.X., Zhang C.H., Ding S.S. et al. Skin-care effects of dandelion leaf extract and stem extract: Antioxidant properties, tyrosinase inhibitory and molecular docking simulations // Industrial crops and products. 2018. V. 111. P. 238-246. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.10.017

12 Арутюнян Н.С., Корнена Е.П., Нестерова Е.А. Рафинация масел и жиров: Теоретические основы, практика, технология, оборудование. СПб: ГИОРД, 2004. 288 с.

13 Spitz L. Semi-Boiled and Integrated Saponification and Drying Systems // Soap Manufacturing Technology. AOCS Press, 2016. P. 117-132. doi: 10.1016/B978-1-63067-065-8.50006-2

14 Spoiala A., Nedelcu I.A., Ficai D., Ficai A. et al. Zinc based antibacterial formulations for cosmetic applications // Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures. 2013. V. 8. №. 3. P. 1235.

15 Campalani C., Chioggia F., Amadio E., Gallo M. et al. Supercritical CO2 extraction of natural antibacterials from low value weeds and agro-waste // Journal of CO2 Utilization. 2020. V. 40. P. 101198. doi: 10.1016/j.jcou.2020.101198

16 Patil A.S., Patil A.V., Patil A.H., Patil T.A. et al. A review on: standerdization of herb in new era of cosmaceuticals: herbal cosmetics // World Journal of Pharmaceutical Research. 2017. V. 6. №. 12. P. 303-320. doi: 10.20959/wjpr201712-9686

17 Sarkic A., Stappen I. Essential oils and their single compounds in cosmetics—A critical review // Cosmetics. 2018. V. 5. №. 1. P. 11. doi:10.3390/cosmetics5010011

18 Birajdar A. T., Bavage S. B., Bavage N. B. A Review on Herbal Cosmetics // International Journal of Research Publication and Reviews. V. 2582. P. 7421.

19 Bhutkar M.K.G., Shah M.M. Formulation and evolution of herbal antibacterial face pack // Journal of Emerging Technologies and Innovative Research. 2019. V. 6. №. 5.

20 Happy A.A., Jahan F., Momen M.A. Essential Oils: Magical Ingredients for Skin Care. J // Plant Sci. 2021. V. 9. P. 54-64.

References

1 Zheltoukhova E.Yu., Kondrashina E.D. Development of a resource-saving technology for the production of toilet soap base by a periodic indirect method from neutral fats. Proceedings of VSUET. 2018. vol. 80. no. 3. pp. 22–25. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-22-25 (in Russian).

2 Sadovnichiy G.V. Modern oil and fat production and prospects for its development. Oil and fat industry. 2004. no. 1. pp. 2–3. (in Russian).

3 Ershova I.G., Sorokina M.G., Mikhailova O.V. Processing technology of fat-containing raw materials. Bulletin of the Chuvash State Pedagogical University. Iya Yakovleva. 2013. no. 4-2(80). pp. 83-86. (in Russian).

4 Ambartsumyan L.I., Diyanova S.N., Filimonova L.I. Questions of the quality of detergents. Eurasian Scientific Association. 2015. vol. 1. no. 6. pp. 30-32. (in Russian).

5 David O.M., Ayeni D., Fakayode I.B., Famurewa O.E valuation of antibacterial properties of various hand sanitizers wipes used for cosmetic and hand hygiene purposes in Nigeria. Microbiology Research International. 2013. vol. 1. no. 2. pp. 22-26.

6 Nosikova A.A., Melnikov I.O., Kochetov A.N. Determination of phenolic compounds in disinfectants. Fine Chemical Technologies. 2017. no. 3. pp. 5–20. (in Russian).

7 Emello G.G., Bondarenko Zh.V., Chernaya N.V. Surfactants – the basis of hygienic detergents. Oil and fat industry. 2013. no. 4. pp. 32-34. (in Russian).

8 Strus O.Y., Polovko N.P., Filipska A.M., Rekhletska O.V. Development of the composition and technology of a soap with sapropel. Bulletin of pharmacy. 2017. vol. 4. no. 92. pp. 35–40.

9 Puglia C., Santonocito D. Cosmeceuticals: nanotechnology-based strategies for the delivery of phytocompounds. Current pharmaceutical design. 2019. vol. 25. no. 21. pp. 2314-2322. doi: 10.2174/1381612825666190709211101

10 Goik U., Goik T., Załęska I. The properties and application of argan oil in cosmetology. European Journal of Lipid Science and Technology. 2019. vol. 121. no. 4. pp. 1800313. doi: 10.1002/ejlt.201800313

11 Xie P.J., Huang L.X., Zhang C.H., Ding S.S. et al. Skin-care effects of dandelion leaf extract and stem extract: Antioxidant properties, tyrosinase inhibitory and molecular docking simulations. Industrial crops and products. 2018. vol. 111. pp. 238-246. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.10.017

12 Arutyunyan N.S., Kornena E.P., Nesterova E.A. Refining oils and fats: Theoretical foundations, practice, technology, equipment. St. Petersburg, GIORD, 2004. 288 p. (in Russian).

13 Spitz L. Semi-Boiled and Integrated Saponification and Drying Systems. Soap Manufacturing Technology. AOCS Press, 2016. pp. 117-132. doi: 10.1016/B978-1-63067-065-8.50006-2

14 Spoiala A., Nedelcu I.A., Ficai D., Ficai A. et al. Zinc based antibacterial formulations for cosmetic applications. Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures. 2013. vol. 8. no. 3. pp. 1235.

15 Campalani C., Chioggia F., Amadio E., Gallo M. et al. Supercritical CO2 extraction of natural antibacterials from low value weeds and agro-waste. Journal of CO2 Utilization. 2020. vol. 40. pp. 101198. doi: 10.1016/j.jcou.2020.101198

16 Patil A.S., Patil A.V., Patil A.H., Patil T.A. et al. A review on: standerdization of herb in new era of cosmaceuticals: herbal cosmetics. World Journal of Pharmaceutical Research. 2017. vol. 6. no. 12. pp. 303-320. doi: 10.20959/wjpr201712-9686

17 Sarkic A., Stappen I. Essential oils and their single compounds in cosmetics—A critical review. Cosmetics. 2018. vol. 5. no. 1. pp. 11. doi:10.3390/cosmetics5010011

18 Birajdar A. T., Bavage S. B., Bavage N. B. A Review on Herbal Cosmetics. International Journal of Research Publication and Reviews. vol. 2582. pp. 7421.

19 Bhutkar M.K.G., Shah M.M. Formulation and evolution of herbal antibacterial face pack. Journal of Emerging Technologies and Innovative Research. 2019. vol. 6. no. 5.

20 Happy A.A., Jahan F., Momen M.A. Essential Oils: Magical Ingredients for Skin Care. J. Plant Sci. 2021. vol. 9. pp. 54-64.

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

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@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-4583-1276

Анастасия В. Терёхина 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, gorbatova.nastia@yandex.ru

Information about authors

Ekaterina Yu. Zheltoukhova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, katsturova@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-7463-9013

Polina A. Tronza student, Technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, tronza0207@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-4583-1276

Anastasiya V. Terekhina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gorbatova.nastia@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 04/04/2022	**После редакции** 25/04/2022	**Принята в печать** 23/05/2022

Received 04/04/2022	**Accepted in revised** 25/04/2022	**Accepted** 23/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-162-169 Оригинальная статья/Research article
УДК 631.527.8 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Оценка образцов ячменя по содержанию антиоксидантов в зерне в условиях Восточной Сибири

Вадим И. Полонский [1,3] vadim.polonskiy@mail.ru 0000-0002-7183-0912
Алена В. Сумина [2,1] alenasumina@list.ru 0000-0002-0466-6833

1 Красноярский государственный аграрный университет, пр.-т Мира, 90, г. Красноярск 660049, Россия
2 Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, ул. Ленина,90, г. Абакан, 655017, Россия
3 Сибирский федеральный университет, пр-т Свободный, 79, г. Красноярск,660041, Россия

Аннотация. Целью исследования является определение адаптивного потенциала образцов ячменя по суммарному содержанию антиоксидантов (ССА) в зерне и массе 1000 зерен, а также анализ связи между этими признаками ячменя с одной стороны и показателями адаптивности образцов по ним с другой. Объектом исследования выступали 10 образцов пленчатого ячменя, которые были выращены в условиях Восточной Сибири в трех экологических пунктах: Красноярский край, Республика Хакасия и Республика Тыва. Значения ГТК по этим пунктам соответственно составляли: 1,50, 1,25, 0,93. У образцов ячменя определяли величину ССА на приборе «Цвет Яуза-01-АА», в качестве образца сравнения использовали галловую кислоту. По указанным двум признакам образцов ячменя вычисляли 5 показателей их адаптивности: коэффициент экологической вариации Cv, показатель стрессоустойчивости d, параметр гомеостатичности Hom, показатель уровня и стабильности сорта ПУСС, параметр селекционной ценности сорта Cs. Найдено, что наибольший уровень ССА в зерне был характерен для образцов Уватский и Ача. По крупности зерна положительно выделились образцы Биом и Абалак. Показано, что оптимальные значения параметров адаптивности и их наименьшая сумма рангов по величине ССА в зерне были характерны для образцов Ача и Биом, а таковые по массе 1000 зерен были отмечены у одного и того же образца ячменя Такмак. Найдено, что связь между средними значениями ССА в зерне образцов ячменя и показателями их стабильности ПУСС и Cs по данному признаку была положительной и существенной. Статистически доказано наличие положительной связи между средней величиной массы 1000 зерен и параметром стабильности Cs по указанному признаку. Продемонстрированный результат может свидетельствовать о том, что при отборе образцов ячменя на повышенное значение ССА в зерне стабильность проявления этого признака в разных условиях выращивания, вероятно, будет расти.

Ключевые слова: Hordeum vulgare L, оценка, пластичность, стабильность, содержание антиоксидантов

Evaluation of barley accessions on the content of antioxidants in grain in the conditions of Eastern Siberia

Vadim I. Polonskiy [1,3] vadim.polonskiy@mail.ru 0000-0002-7183-0912
Alena V. Sumina [2,1] alenasumina@list.ru 0000-0002-0466-6833

1 Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira ave., 90, Krasnoyarsk, 660049, Russia
2 Khakass State University, Lenina st., 90, Abakan, 655017, Russia
3 Siberian Federal University, Svobodnyy ave., 79, Krasnoyarsk, 660041, Russia

Abstract. The aim of the study is to determine the adaptive potential of barley accessions by the total antioxidant content (TAC) in the grain and 1000 grain weight, as well as to analyze the relationship between these traits of barley, on the one hand, and the adaptability indicators of accessions for them, on the other. The object of the study was 10 accessions of hulled barley, which were grown under the conditions of Eastern Siberia in three ecological points: Krasnoyarsk Territory, Republic of Khakassia and Republic of Tyva. The HTC values for these items were respectively: 1.50, 1.25, 0.93. In barley accessions, the TAC value was determined using the Tsvet Yauza-01-AA device; gallic acid was used as a reference sample. According to these two traits of barley accessions, 5 indicators of their adaptability were calculated: the coefficient of ecological variation Cv, the stress resistance index d, the homeostatic parameter Hom, the indicator of the level and stability of the variety PUSS, the parameter of the selection value of the variety Cs. It was found that the highest level of TAC in the grain was characteristic of the Uvatsky and Acha accessions. Biom and Abalak accessions positively stood out in terms of grain size. It is shown that the optimal values of the adaptability parameters and their smallest sum of ranks in terms of the TAC value in the grain were characteristic of the accessions Acha and Biom, and those in terms of the weight of 1000 grains were noted in the same accession of Takmak barley. It was found that the relationship between the average values of TAC in the grain of barley accessions and the indicators of their stability of variety stability indicator and Cs for this trait was positive and significant. The presence of a positive relationship between the average value of 1000 grain weight and the stability parameter Cs for the specified feature was statistically proven. The demonstrated result may indicate that when sampling barley for an increased value of TAC in grain, the stability of the manifestation of this trait under different growing conditions is likely to increase.

Keywords: Hordeum vulgare L, evaluation; plasticity, stability, content of antioxidants

Для цитирования
Полонский В.И., Сумина А.В. Оценка образцов ячменя по содержанию антиоксидантов в зерне в условиях Восточной Сибири // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 162–169. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-162-169

For citation
Polonskiy V.I., Sumina A.V. Evaluation of barley accessions on the content of antioxidants in grain in the conditions of Eastern Siberia. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 162–169. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-162-169

© 2022, Полонский В.И. и др. / Polonskiy V.I. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Одной из важных практических задач, стоящих перед растениеводами, является не только повышение содержания ценных веществ в урожае, но и стабильное их проявление в разных условиях выращивания. Наблюдаемые сегодня изменения климата на планете, а также возделывание сельскохозяйственных культур в регионах с тяжелыми климатическими условиями способствуют целесообразности проведения исследований сортов различных культур на их адаптивность по элементам продуктивности и содержанию биологически активных веществ в урожае. Использование адаптивных к стрессорам сортов, которые способны реализовать свой потенциал в различных условиях выращивания, может сопровождаться повышением стабильности количественных и качественных характеристик урожая [1].

Как известно, наличие неблагоприятных экологических факторов может приводить к изменению химического состава урожая [2]. Особенно это важно для территорий с резко континентальным климатом, к которым относится Восточная Сибирь. Для этого региона приоритетными являются зерновые культуры, в том числе ячмень. Литературные данные подтверждают, что зерно ячменя представляет «нутрицевтическую» ценность и считается функциональным продуктом, который обеспечивает помимо основного питания дополнительную пользу для здоровья человека [3]. В его зерне присутствуют биологически активные вещества, которые входят в состав функциональных продуктов питания [4–6]. Из этих химических соединений наибольший интерес для практики представляют полисахариды бета-глюканы, ненасыщенные жирные кислоты и антиоксиданты. Последние привлекают все больше внимания как потенциальные средства для профилактики и лечения заболеваний, связанных с окислительным стрессом. Как известно, природные антиоксидантные соединения обладают многими важными свойствами, такими как, кардиопротекторные, противораковые, омолаживающие, противовоспалительные и противомикробные [7].

В настоящее время получены экспериментальные данные об адаптивности различных образцов ячменя по элементам продуктивности [8,9]. При этом о влиянии условий выращивания на содержание в зерне ячменя ценных химических веществ, в частности антиоксидантов опубликовано небольшое количество данных [10]. Информации о возможной связи содержания антиоксидантов в зерне и стабильностью проявления этого признака в различных условиях выращивания ячменя в доступной научной литературе нам встретить не удалось. Для выработки стратегии селекции ячменя важно знать, будет ли сопровождаться отбор на повышенное содержание в зерне ценных веществ, в частности антиоксидантов, закономерным уменьшением величины стабильности образцов по этому признаку.

Цель исследования – определение адаптивного потенциала выращенных в условиях Восточной Сибири образцов ячменя по суммарному содержанию антиоксидантов (ССА) в зерне и массе 1000 зерен, а также анализ связи между этими признаками ячменя с одной стороны и показателями адаптивности образцов по ним с другой.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования использовали 10 образцов ячменя из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, которые выращивали в 2019 году в трех экологических пунктах, расположенных в Восточной Сибири. Такой дизайн эксперимента был выбран на основе имеющихся рекомендаций в литературе для пшеницы [11,12], согласно которым для повышения точности оценок по показателям адаптивности рекомендуется экологическую оценку проводить параллельно в нескольких пунктах или по схеме 1 год х 3 пункта. Экологические пункты представляли собой поля государственных сортовых участков: Краснотуранский ГСУ (Красноярский край), Бейский ГСУ (Республика Хакасия) и Пий-Хемский ГСУ (Республика Тыва). Погодные условия в пунктах исследования были контрастными: в Краснотуранском ГСУ влажные (ГТК 1,50), в Пий-Хемском ГСУ засушливые, ГТК равен 0,93, в Бейском ГСУ близкие к нормальным (ГТК 1,25). Предшественником во всех экологических пунктах являлся черный пар.

После уборки растений у каждого образца ячменя определяли массу 1000 зерен и измеряли суммарное содержание антиоксидантов (ССА) в зерне по известной методике [13], используя прибор Цвет-Яуза 01. В качестве образца сравнения применяли галловую кислоту. Повторность анализов трехкратная. По указанным признакам вычисляли 5 параметров адаптивности образцов ячменя. Они были представлены двумя показателями пластичности и тремя показателями стабильности. Первую группу составляли коэффициент экологической вариации Cv [14] и показатель стрессоустойчивости d [15]. Во вторую группу входили параметр гомеостатичности Hom [16], показатель уровня и стабильности сорта ПУСС [12], показатель селекционной ценности

сорта Cs [16]. Выбор показателей адаптивности согласуется с данными литературы, где показано, что из многих методов оценки адаптивных реакций растений среди наиболее информативных оказались «показатель уровня и стабильности сорта (ПУСС)» и «коэффициент вариации генотипа на условия среды (Cv)» [17].

В работе использовали прием ранжирования образцов по уровню их адаптивности. Для определения последнего вычисляли суммы рангов в соответствии с применяемым критерием оценки адаптивности генотипов ячменя, заключающемся в минимальной изменчивости уровня изучаемых характеристик зерна по пунктам выращивания, соответственно высшие ранги присваивали образцам с минимальными значениями Cv, d и наибольшими значениями Hom, ПУСС, Cs.

Статистическую обработку данных проводили с помощью стандартных компьютерных программ Microsoft Excel. Достоверность результатов оценивали по t-критерию при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

Средние данные по результатам выполненных измерений величины ССА в зерне образцов ячменя, выращенных в трех экологических пунктах, приведены в таблице 1. Можно видеть генотипические различия в исследуемой химической характеристике зерна ячменя. Наибольшие уровни ССА в зерне наблюдались у образцов Уватский и Ача. Полученные результаты подтвердили имеющиеся в литературе данные, в которых показана сортоспецифичность ячменя по содержанию антиоксидантов в зерне [18–19].

Таблица 1.

Показатели адаптивности и результаты ранжирования по суммарному содержанию антиоксидантов (ССА) в зерне различных образцов ячменя, выращиваемых в условиях Восточной Сибири

Table 1.

Adaptability indicators and results of ranking by the total content of antioxidants (TAC) in the grain of various barley accessions grown in Eastern Siberia

Образец Sample	№ по Каталогу ВИР VIR Catalog No.	Среднее ССА, мг/100 г. Average TAC, mg/100	Показатели адаптивности и ранги Adaptability scores and ranks					Сумма рангов Sum ranks
			Cv, %	d	Hom	ПУСС, % Variety stability indicator, %	Cs	
Буян| Buyan	31198	55,8± 3,9 а**	13,1 6	-13,1 6	0,3 6	7,3 6	43,9 8	32
Красноярский 91 Krasnoyarsk 91	31308	74,8± 1,2 б	2,2 3,5	-3,8 3	9,8 3	84,9 3	71,1 3	15,5
Ача (стандарт) Acha (standard)	30243	81,2± 1,2 в	2,1 2	-3,9 4	10,4 2	100,0 2	77,4 2	12
Биом | Biome	30984	58,7± 0,8 а	1,2 1	-2,5 1	23,5 1	104,5 1	56,3 4	8
Емеля | Emelya	31586	68,6± 6,9 аб	16,3 8	-23,8 9	0,2 8	0,1 10	48,3 6	39
Танай | Tanay	31604	62,8± 6,2 а	18,0 9	-21,1 8	0,2 8	6,6 7	44,5 7	39
Такмак | Takmak	-	68,3± 11,3 аб	28,1 10	-38,4 10	0,1 10	5,1 9	38,4 10	49
Уватский | Uvatsky	31378	86,3± 1,8 г	3,1 5	-6,0 5	4,8 5	75,3 4	80,5 1	20
Абалак | Abalak	31201	53,3± 4,8 а	14,1 7	-16,1 7	0,2 8	6,2 8	39,3 9	39
Оленек | Olenyok	31199	59,2± 1,0 а	2,2 3,5	-3,4 2	8,7 4	53,1 5	55,9 5	19,5
Коэффициент ранговой корреляции | Спирмена Spearman's rank correlation coefficient			0,959*	0,915*	0,976*	0,927*	0,896*	-

Примечание: числитель – величины показателей адаптивности; знаменатель – ранги образцов; • значения коэффициентов ранговой корреляции Спирмена являются существенными по t-критерию при $p \leq 0,05$; ** значения в строках с разными буквами различаются между собой существенно по t-критерию при $p \leq 0,05$

Note: the numerator is the value of adaptability indicators; the denominator is the ranks of the samples; • Spearman's rank correlation coefficients are significant according to the t-test at $p \leq 0.05$; ** values in strings with different letters differ significantly from each other by the t-test at $p \leq 0.05$

Таблица 2.

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа влияния пункта выращивания и генотипа на характеристики зерна образцов ячменя

Table 2.

The results of a two-way ANOVA analysis of the effect of growing point and genotype on the grain characteristics of barley samples

Характеристика Characteristic	Источник варьирования Source of variation	Степени свободы Degrees of freedom	Средний квадрат Medium square	Вклад факторов,% Contribution of factors,%	$F_ф$	$F_{0,5}$
Суммарное содержание антиоксидантов Total content of antioxidant	Пункт | Item	2	1748,37	52,09	2339,70	3,11
	Генотип | Genotype	9	1466,14	43,68	1962,01	1,99
	Пункт и генотип | Item and genotype	18	142,06	4,23	190,11	1,87
Масса 1000 зерен Weight 1000 grains	Пункт| Item	2	610,86	77,64	1497,70	3,11
	Генотип | Genotype	9	133,89	17,02	328,28	1,99
	Пункт и генотип | Item and genotype	18	42,04	5,34	103,08	1,87

Таблица 3.

Показатели адаптивности и результаты ранжирования по массе 1000 зерен различных образцов ячменя, выращиваемых в условиях Восточной Сибири

Table 3.

Adaptability indicators and results of ranking by weight of 1000 grains of various barley accessions grown in Eastern Siberia

Образец Sample	№ по Каталогу ВИР VIR Catalog No.	Среднее ССА, мг/100 г. Average TAC, mg/100	Показатели адаптивности и ранги Adaptability scores and ranks					Сумма рангов Sum ranks
			Cv, %	d	Hom	ПУСС, % | Variety stability indicator, %	Cs	
Буян | Buyan	31198	45,8± 3,0 а**	11,4 6	-10,0 7	0,4 7,5	180,4 5	38,5 3	28,5
Красноярский 91 Krasnoyarsk 91	31308	38,2± 2,6 б	11,5 7	-8,0 6	0,4 7,5	124,4 9	30,9 8,5	38
Ача (стандарт) Acha (standard)	30243	44,8± 5,2 а	19,6 10	-15,3 10	0,2 10	100,0 10	30,9 8,5	48,5
Биом | Biome	30984	46,6± 2,4 а	8,8 3	-7,9 5	0,7 3,5	241,9 2	39,6 1	14,5
Емеля | Emelya	31586	37,6± 2,2 б	10,1 5	-7,6 4	0,5 5	137,2 8	30,8 10	32
Танай | Tanay	31604	44,8± 3,3 а	12,5 9	-10,3 8	0,4 7,5	157,4 7	36,3 5	36,5
Такмак| Takmak	–	43,7± 1,6 а	6,4 1	-5,0 1	1,4 1	292,5 1	38,9 2	6
Уватский Uvatsky	31378	40,6± 2,2 аб	9,1 4	-6,7 3	0,7 3,5	177,6 6	34,1 7	23,5
Абалак | Abalak	31201	46,4± 3,2 а	11,6 8	-10,7 9	0,4 7,5	182,0 4	37,1 4	32,5
Оленек | Olenyok	31199	41,2± 1,8 аб	7,3 2	-5,9 2	1,0 2	228,0 3	35,8 6	15
Коэффициент ранговой корреляции Спирмена Spearman's rank correlation coefficient			0,944*	0,847*	0,944*	0,915*	0,681	-

Примечание: числитель – величины показателей адаптивности; знаменатель – ранги образцов; • значения коэффициентов ранговой корреляции Спирмена являются существенными по t-критерию при $p \le 0,05$; ** значения в строках с разными буквами различаются между собой существенно по t-критерию при $p \le 0,05$|

Note: the numerator is the value of adaptability indicators; the denominator is the ranks of the samples; • Spearman's rank correlation coefficients are significant according to the t-test at $p \le 0.05$; ** values in strings with different letters differ significantly from each other by the t-test at $p \le 0.05$

Таблица 4.

Корреляционная связь между одноименными показателями адаптивности по содержанию антиоксидантов в зерне и величине массы 1000 зерен образцов ячменя

Table 4.

Correlation between the same indicators of adaptability according to the content of antioxidants in the grain and the weight of 1000 grains of barley samples

Значения коэффициентов корреляции | Correlation coefficient value				
Cv	d	Hom	ПУСС | Variety stability indicator	Cs
-0,271	-0,288	-0,022	-0,192	-0,613

Таблица 5.

Корреляционная связь между средним суммарным содержанием антиоксидантов в зерне, величиной массы 1000 зерен образцов ячменя и показателями их адаптивности по этим признакам

Table 5.

Correlation between the average total content of antioxidants in the grain, the weight of 1000 grains of barley samples and indicators of their adaptability for these traits

Характеристика Characteristic	Значения коэффициентов корреляции Correlation coefficient value				
	Cv, %	d	Hom	ПУСС,% Variety stability indicator,%	Cs
Величина ССА в зерне TAC value in grain	-0,286	0,171	0,070	0,486	0,814*
Масса 1000 зерен Weight of 1000 grains	0,216	-0,435	-0,110	0,310	0,718*

*значения коэффициентов корреляции существенны при $p \leq 0,05$

*values of correlation coefficients are significant at $p \leq 0.05$

Как правило, перед выполнением оценки адаптивности образцов по хозяйственно-ценным признакам целесообразно провести дисперсионный анализ влияния внешних («пункт») и внутренних («генотип») факторов, а также их взаимодействия на изменчивость исследуемых признаков с целью установления их существенности. Результаты проделанных вычислений представлены в таблице 2. Можно видеть статистически значимую долю влияния условий выращивания и генотипа на изучаемые признаки ячменя (Fфакт > F05). При этом варьирование обоих признаков находится, главным образом, под контролем внешних факторов. В литературе на образцах ячменя одними авторами показано, что основной вклад в содержание фенольных соединений в зерне, которые играют значимую роль в его антиоксидантной активности, вносят условия окружающей среды [20], другие авторы указывают на существенное влияние генотипа на содержание токолов и витамина Е, проявляющих антиоксидантные свойства [21].

Результаты найденных показателей адаптивности образцов ячменя по уровню ССА в зерне приведены в таблице 1. Из них следует, что минимальные значения параметров пластичности принадлежат образцу ячменя Биом, а максимальные величины показателей стабильности – соответственно образцу ячменя Ача. На основании зарегистрированной наименьшей суммы рангов можно заключить, что по уровню адаптивности лидируют образцы Биом и Ача (таблица 1).

Средние данные по результатам выполненных измерений массы 1000 зерен образцов ячменя, выращенных в трех экологических пунктах, приведены в таблице 3. Можно видеть генотипические различия в исследуемой физической характеристике зерна ячменя. Наибольшие значения массы 1000 зерен наблюдались у образцов Биом и Абалак. Минимальные значения параметров пластичности были отмечены у образцов ячменя Такмак и Оленек, максимальные показатели стабильности были характерны для образца Такмак. В итоге образцу Такмак практически по всем рассматриваемым параметрам адаптивности были присвоены высшие ранги по признаку «масса 1000 зерен» (таблица 3).

По результатам ранжирования ячменя по адаптивности в прикладном плане интерес представляют следующие 3 образца: 1) Биом (повышенная стабильность по обоим исследуемым признакам); 2) Оленек (повышенная стабильность по массе 1000 зерен и средний ее уровень по ССА); 3) Буян (средние значения стабильности по обоим признакам). Подчеркнем, что образцы Ача и Красноярский 91 одновременно характеризовались повышенной стабильностью по уровню ССА и пониженной стабильностью по массе 1000 зерен, а образец Такмак наоборот проявил минимальную стабильность по уровню ССА и максимальную стабильность по массе 1000 зерен, для образца Танай была зарегистрирована пониженная стабильность по обоим изучаемым признакам ячменя.

Отметим почти полное совпадение результатов ранжирования образцов по их адаптивности, вычисленных на базе разных показателей пластичности и стабильности. Это подтверждается существенными значениями коэффициентов корреляции Спирмена между рангами по отдельным параметрам адаптивности и суммой рангов (таблицы 1 и 3) за исключением показателя селекционной ценности сорта Cs для признака «масса 1000 зерен». Полученный эффект дает основание предположить, что абсолютное большинство используемых в работе параметров адаптивности по химическому и физическому признакам зерна оценивают один и тот же образец ячменя практически одинаково. Иначе говоря, повышенный уровень пластичности образца однозначно предполагает пониженную величину его стабильности и наоборот. Этот вывод подтверждают зарегистрированные в литературе результаты для овса [22], согласно которым показатель стабильности (Hom) отрицательно коррелируют с параметрами пластичности (Cv).

Проанализируем возможную корреляционную связь между одноименными показателями адаптивности образцов ячменя по уровню ССА в зерне с одной стороны и таковыми по величине массы 1000 зерен с другой. Данные вычислений приведены в таблице 4. Для всех указанных параметров пластичности и стабильности можно видеть наличие слабой и средней отрицательной корреляции, которая ни в одном случае статистически доказана не была. Полученный результат может говорить о наличии тенденции снижения стабильности образцов ячменя по уровню ССА в зерне при повышении их стабильности по крупности зерна и наоборот.

Далее рассмотрим возможную связь между абсолютными значениями (средние по трем пунктам исследования) химического и физического признаков зерна образцов ячменя с одной стороны и показателями их адаптивности, определенными по этим признакам, с другой. Результаты приведены в таблице 5. Можно видеть, что корреляционная связь между значениями ССА в зерне образцов ячменя и показателями их пластичности по данному признаку была слабой. В случае учета параметров стабильности указанная связь была положительной от слабой до сильной и существенной для показателя селекционной ценности сорта Cs. Что касается признака ячменя «масса 1000 зерен», то в работе статистически удалось доказать наличие положительной связи между средней величиной указанного признака и параметром стабильности Cs образцов ячменя. Продемонстрированный в таблице 5 результат может свидетельствовать о том, что при отборе ячменя на повышенные значения ССА в зерне и массы 1000 зерен стабильность проявления этих признаков в разных условиях выращивания, вероятно, снижаться не будет. Более того, она может иметь тенденцию к увеличению.

Заключение

В условиях Восточной Сибири по максимальной величине ССА в зерне выделились образцы ячменя Уватский и Ача а по массе 1000 зерен всех превзошли образцы Биом и Абалак. Найдено, что изменчивость этих хозяйственно-ценных признаков ячменя обусловлена в большей степени внешними условиями выращивания.

Показано, что оптимальные значения параметров адаптивности и их наименьшая сумма рангов по величине ССА в зерне были характерны для образцов Ача и Биом, а таковые по массе 1000 зерен были отмечены у одного и того же образца ячменя Такмак. По результатам ранжирования ячменя по адаптивности в прикладном плане интерес представляют следующие 3 образца: Биом (повышенная стабильность по обоим исследуемым признакам), Оленек (повышенная стабильность по массе 1000 зерен и средний ее уровень по ССА), Буян (средние значения стабильности по обоим признакам).

Установлено почти полное совпадение результатов ранжирования образцов по их адаптивности, вычисленных на базе разных показателей пластичности и стабильности. Это подтверждается существенными значениями коэффициентов корреляции Спирмена между рангами по отдельным параметрам адаптивности и суммой рангов за исключением показателя селекционной ценности сорта Cs для признака «масса 1000 зерен». Полученный эффект дает основание предположить, что абсолютное большинство используемых в работе параметров адаптивности по химическому и физическому признакам зерна оценивают один и тот же образец ячменя практически одинаково.

Между одноименными показателями адаптивности образцов ячменя по уровню ССА в зерне с одной стороны и таковыми по величине массы 1000 зерен с другой зафиксировано наличие слабой и средней отрицательной корреляции, которая ни в одном случае статистически доказана не была. Полученный результат может говорить о наличии тенденции снижения стабильности образцов ячменя по уровню ССА в зерне при повышении их стабильности по крупности зерна и наоборот.

Найдено, что корреляционная связь между средними значениями ССА в зерне, а также массы 1000 зерен образцов ячменя и показателем их стабильности Cs по данным признакам была положительной и существенной. Продемонстрированный результат может свидетельствовать о том, что при отборе образцов ячменя на повышенное значение ССА в зерне и массы 1000 зерен стабильность проявления этих признаков в разных условиях выращивания, вероятно, снижаться не будет. Более того, она может иметь тенденцию к увеличению.

Литература

1 Левакова О.В. Селекционная работа по созданию адаптированных к нечерноземной зоне РФ сортов ярового ячменя и перспективы развития данной культуры в Рязанской области // Зерновое хозяйство России. 2021. № 1(73). С. 14–19. doi: 10.31367/2079–8725–2021–73–1–14–19

2 Wang Y., Frei M. Stressed food – The impact of abiotic environmental stresses on crop quality // Agriculture. Ecosystems and Environment. 2011. V. 141. P. 271–286.

3 Derakhshani Z., Malherbe F., Panozzo J.F., Bhave M. Evaluation of Diverse Barley Cultivars and Landraces for Contents of Four Multifunctional Biomolecules with Nutraceutical Potential // Current Research in Nutrition and Food Science. 2020. V. 8. №. 2. P. 380–390. doi: 10.12944/CRNFSJ.8.2.03

4 Dykes L., Rooney L.W. Phenolic Compounds in Cereal Grains and Their Health Benefits // Cereal Foods of World. 2007. V. 32. № 3. P. 105–111.

5 Polonskiy V.I., Loskutov I.G., Sumina A.V. Biological role and health benefits of antioxidant compounds in cereals // Biological Communications 2020. V. 65. № 1. P. 53–67.

6 Siurek B., Rosicka-Kaczmarek J., Nebesny E. Bioactive compounds in cereal grains – occurrence, structure, technological significance and nutritional benefits – a review // Food Science and Technology International. 2012. V. 18. № 6. P. 559–68. doi: 10.1177/1082013211433079

7 Li A.–N., Li S., Zhang Y.–J., Xu X.–R. et al. Resources and Biological Activities of Natural Polyphenols // Nutrients. 2014. V. 6. P. 6020–6047.

8 Серебренников Ю.И. Пластичность и стабильность ярового ячменя по урожаю зерна и массе 1000 зёрен // Вестник НГАУ. 2020. Т. 2. № 55. С. 50–59. doi: 10.31677/2072–6724–2020–55–2–50–59

9 Юсова О.А., Николаев П.Н., Бендина Я.Б., Сафонова И.В. и др. Стрессоустойчивость сортов ячменя различного агроэкологического происхождения для условий резко континентального климата // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. №. 4. С. 44–55. doi: 10.30901/2227–8834–2020–4–44–55

10 Сумина А.В., Полонский В.И. Сравнительная характеристика пшеницы, овса и ячменя по суммарному содержанию антиоксидантов в зерне // Вестник КрасГАУ. 2021. № 10. С. 203–208.

11 Singh B., Singh J.P., Kaur A., Singh N. Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review // Food Research International. 2017. V. 101. P. 1-16. doi: 10.1016/j.foodres.2017.09.026

12 Wu G., Johnson S.K., Bornman J.F., Bennett S.J. et al. Changes in whole grain polyphenols and antioxidant activity of six sorghum genotypes under different irrigation treatments // Food Chemistry. 2017. V. 214. P. 199-207. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.07.089

13 Федина П.А., Яшин А.Я., Черноусова Н.И. Определение антиоксидантов в продуктах растительного происхождения амперометрическим методом // Химия растительного сырья. 2010. № 2. С. 91–97.

14 Shahidi F., Chandrasekara A. Millet grain phenolics and their role in disease risk reduction and health promotion: A review // Journal of Functional Foods. 2013. V. 5. №. 2. P. 570-581. doi: 10.1016/j.jff.2013.02.004

15 Liang S., Liang K. Millet grain as a candidate antioxidant food resource: a review // International Journal of Food Properties. 2019. V. 22. №. 1. P. 1652-1661. doi: 10.1080/10942912.2019.1668406

16 Socaci S.A., Fărcaş A.C., Diaconeasa Z.M., Vodnar D.C. et al. Influence of the extraction solvent on phenolic content, antioxidant, antimicrobial and antimutagenic activities of brewers' spent grain // Journal of Cereal Science. 2018. V. 80. P. 180-187. doi: 10.1016/j.jcs.2018.03.006

17 Волкова Л.В., Щенникова И.Н. Сравнительная оценка методов расчёта адаптивных реакций зерновых культур // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3 С. 140–146. doi: 10.25750/1995–4301–2020–3–140–146

18 Do T.D.T., Cozzolino D., Muhlhausler B., Box A. et al. Antioxidant capacity and vitamin E in barley: Effect of genotype and storage // Food Chemistry 2015. V. 187. № 15. P. 65–74.

19 Ge X., Jing L., Zhao K., Su C. et al. The phenolic compounds profile, quantitative analysis and antioxidant activity of four naked barley grains with different color // Food Chemistry. 2021. V. 335. №. 1. P. 127655. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127655

20 Rao S., Santhakumar A.B., Chikwo K.A., Blanchard C.L. Investigation of phenolic compounds with antioxidant activity in barley and oats affected by variation in growing location // Cereal Chemistry. 2020. P. 772–782. doi: 10.1002/cche.10291.

21 Ehrenbergerová J., Belcrediová N., Prýma J., Vaculová K. et al. Effect of cultivar, year grown, and cropping system on the content of tocopherols and tocotrienols in grains of hulled and hulless barley // Plant Foods for Human Nutrition. 2006. V. 61. № 3. P. 145–50. doi: 10.1007/s11130–006–0024–6

22 Тулякова М.В., Баталова Г.А., Лоскутов И.Г., Пермякова С.В. и др. Оценка адаптивных параметров коллекционных образцов овса пленчатого по урожайности в условиях Кировской области // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182. № 1. С. 72–79. doi: 10.30901/2227–8834–2021–1–72–79

References

1 Levakova O.V. Breeding work on the creation of varieties of spring barley adapted to the non-chernozem zone of the Russian Federation and the prospects for the development of this crop in the Ryazan region. Grain Economy of Russia. 2021. no. 1(73). pp. 14–19.doi: 10.31367/2079–8725–2021–73–1–14–19 (in Russian).

2 Wang Y., Frei M. Stressed food – The impact of abiotic environmental stresses on crop quality. Agriculture. Ecosystems and Environment. 2011. vol. 141. pp. 271–286.

3 Derakhshani Z., Malherbe F., Panozzo J.F., Bhave M. Evaluation of Diverse Barley Cultivars and Landraces for Contents of Four Multifunctional Biomolecules with Nutraceutical Potential. Current Research in Nutrition and Food Science. 2020. vol. 8. no. 2. pp. 380–390. doi: 10.12944/CRNFSJ.8.2.03

4 Dykes L., Rooney L.W. Phenolic Compounds in Cereal Grains and Their Health Benefits. Cereal Foods of World. 2007. vol. 32. no. 3. pp. 105–111.

5 Polonskiy V.I., Loskutov I.G., Sumina A.V. Biological role and health benefits of antioxidant compounds in cereals. Biological Communications 2020. vol. 65. no. 1. pp. 53–67.

6 Siurek B., Rosicka-Kaczmarek J., Nebesny E. Bioactive compounds in cereal grains – occurrence, structure, technological significance and nutritional benefits – a review. Food Science and Technology International. 2012. vol. 18. no. 6. pp. 559–68. doi: 10.1177/1082013211433079

7 Li A.–N., Li S., Zhang Y.–J., Xu X.–R. et al. Resources and Biological Activities of Natural Polyphenols. Nutrients. 2014. vol. 6. pp. 6020–6047.

8 Serebrennikov Yu.I. Plasticity and stability of spring barley in terms of grain yield and weight of 1000 grains. Bulletin of NGAU. 2020. vol. 2. no. 55. pp. 50–59. doi: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-50-59 (in Russian).

9 Yusova O.A., Nikolaev P.N., Bendina Ya.B., Safonova I.V. Stress resistance of barley cultivars of different agroecological origin for conditions of sharply continental climate. Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2020. vol. 181. no. 4. pp. 44–55. doi: 10.30901/2227-8834-2020-4-44-55 (in Russian).

10 Sumina A.V., Polonsky V.I. Comparative characteristics of wheat, oats and barley according to the total content of antioxidants in grain. Bulletin of KrasGAU. 2021. no. 10. pp. 203–208. (in Russian).

11 Singh B., Singh J.P., Kaur A., Singh N. Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review. Food Research International. 2017. vol. 101. pp. 1-16. doi: 10.1016/j.foodres.2017.09.026

12 Wu G., Johnson S.K., Bornman J.F., Bennett S.J. et al. Changes in whole grain polyphenols and antioxidant activity of six sorghum genotypes under different irrigation treatments. Food Chemistry. 2017. vol. 214. pp. 199-207. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.07.089

13 Fedina P.A., Yashin A.Ya., Chernousova N.I. Determination of antioxidants in plant products by the amperometric method. Chemistry of vegetable raw materials. 2010. no. 2. pp. 91–97. (in Russian).

14 Shahidi F., Chandrasekara A. Millet grain phenolics and their role in disease risk reduction and health promotion: A review. Journal of Functional Foods. 2013. vol. 5. no. 2. pp. 570-581. doi: 10.1016/j.jff.2013.02.004

15 Liang S., Liang K. Millet grain as a candidate antioxidant food resource: a review. International Journal of Food Properties. 2019. vol. 22. no. 1. pp. 1652-1661. doi: 10.1080/10942912.2019.1668406

16 Socaci S.A., Fărcaş A.C., Diaconeasa Z.M., Vodnar D.C. et al. Influence of the extraction solvent on phenolic content, antioxidant, antimicrobial and antimutagenic activities of brewers' spent grain. Journal of Cereal Science. 2018. vol. 80. pp. 180-187. doi: 10.1016/j.jcs.2018.03.006

17 Volkova L.V., Shchennikova I.N. Comparative evaluation of methods for calculating adaptive reactions of grain crops. Theoretical and applied ecology. 2020. no. 3. pp. 140–146. doi: 10.25750/1995–4301–2020–3–140–146 (in Russian).

18 Do T.D.T., Cozzolino D., Muhlhausler B., Box A. et al. Antioxidant capacity and vitamin E in barley: Effect of genotype and storage. Food Chemistry 2015. vol. 187. no. 15. pp. 65–74.

19 Ge X., Jing L., Zhao K., Su C. et al. The phenolic compounds profile, quantitative analysis and antioxidant activity of four naked barley grains with different color. Food Chemistry. 2021. vol. 335. no. 1. pp. 127655. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127655

20 Rao S., Santhakumar A.B., Chikwo K.A., Blanchard C.L. Investigation of phenolic compounds with antioxidant activity in barley and oats affected by variation in growing location. Cereal Chemistry. 2020. pp. 772–782. doi: 10.1002/cche.10291

21 Ehrenbergerová J., Belcrediová N., Prýma J., Vaculová K. et al. Effect of cultivar, year grown, and cropping system on the content of tocopherols and tocotrienols in grains of hulled and hulless barley. Plant Foods for Human Nutrition. 2006. vol. 61. no. 3. pp. 145–50. doi: 10.1007/s11130–006–0024–6

22 Tulyakova M.V., Batalova G.A., Loskutov I.G., Permyakova S.V. Evaluation of adaptive parameters of collection samples of hulled oats in terms of productivity in the conditions of the Kirov region. Works on applied botany, genetics and breeding. 2021. vol. 182. no. 1. pp. 72–79. doi: 10.30901/2227–8834–2021–1–72–79 (in Russian).

Сведения об авторах

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
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

Information about authors

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
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

Вклад авторов

Вадим И. Полонский консультация в ходе исследования, написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат
Алена В. Сумина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Contribution

Vadim I. Polonskiy consultation during the study wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Alena V. Sumina 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 06/04/2022	**После редакции** 29/04/2022	**Принята в печать** 23/05/2022

Received 06/04/2022	**Accepted in revised** 29/04/2022	**Accepted** 23/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-170-178 Оригинальная статья/Research article
УДК 001.61: 664.25: 664.641.2 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Экспоненциальное сглаживание динамического ряда числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси

Наталья А. Шмалько [1] kafedra-tith@ya.ru 0000-0002-8939-0265
Игорь А. Никитин [2] nikito.igor@gmail.com 0000-0002-8988-5911
Дарья А. Велина [2] kattim67@gmail.com 0000-0002-2398-3375
Марс Ф. Хайруллин [2] 89049755219@ya.ru 0000-0003-1697-7281

1 Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия
2 Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия

Аннотация. Важнейшими статистическими показателями динамического ряда являются абсолютный цепной и базисный прирост, цепной и базисный темп прироста, темп наращивания и др., описывающие текущее состояние процесса без составления прогноза. Классический подход к прогнозированию рядов основан на выборе подходящей теоретической модели тренда с неизвестными параметрами с последующим его моделированием. Применимость метода экспоненциального сглаживания к исследуемому динамическому ряду заключается в возможности прогнозирования нестационарного временного ряда, в котором вес члена ряда уменьшается экспоненциально и практически не оказывает какое-либо влияние на значение экспоненциальной средней, заменяющей наблюдаемое значение ряда. Целью работы явилось проведение экспоненциального сглаживания динамического ряда числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси. В данном случае исследованию была представлена последовательность наблюдений показателя числа разжижения, упорядочиваемого в зависимости от повышения дозировки амилопектинового кукурузного крахмала в кукурузной крахмалистой смеси. Число разжижения для кукурузной крахмалистой смеси, состоящей из кукурузной муки тонкого помола (ГОСТ 14176) и кукурузного амилопектинового крахмала (ГОСТ 32159) в соотношении: 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90, 0:100 получали расчетным путем. Экспоненциальное сглаживание динамического ряда числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси позволило получить достоверный прогноз о динамике показателя качества процесса разжижения в указанном интервале. Стандартные погрешности прогнозируемых значений числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси при дозировке амилопектинового кукурузного крахмала в смеси от 0 % до 35,0 % включительно находятся в пределах требований сходимости ГОСТ 30498 (ИСО 3093) для результатов измерений. Стабильный рост динамики числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси обеспечивается при замене кукурузной муки амилопектиновым кукурузным крахмалом в количестве не более 35,0%.

Ключевые слова: динамический ряд, экспоненциальное сглаживание, число разжижения, кукурузный крахмал, кукурузная мука.

Exponential smoothing of dynamic series liquefaction number of corn starch mixture

Natalya A. Shmal′ko [1] kafedra-tith@ya.ru 0000-0002-8939-0265
Igor A. Nikitin [2] nikito.igor@gmail.com 0000-0002-8988-5911
Daria A. Velina [2] kattim67@gmail.com 0000-0002-2398-3375
Mars F. Khayrullin [2] 89049755219@ya.ru 0000-0003-1697-7281

1 Kuban State Technological University, Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russia
2 K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia

Abstract. The most important statistical indicators of the time series are the absolute chain and basic growth, chain and basic growth rates, growth rates, etc., which describe the current state of the process without making a forecast. The classical approach to forecasting series is based on the choice of a suitable theoretical model of the trend with unknown parameters, followed by its modeling. The applicability of the exponential smoothing method to the investigated dynamic series lies in the possibility of predicting a non-stationary time series, in which the weight of the series member decreases exponentially and practically does not have any effect on the value of the exponential average, which replaces the observed value of the series. The aim of the work was to carry out exponential smoothing of the dynamic series of the liquefaction number of the corn starch mixture. In this case, the study presents a sequence of observations of the index of liquefaction, ordered depending on the increase in the dosage of amylopectin corn starch in the corn starch mixture. The liquefaction number for corn starch mixture consisting of fine corn flour (GOST 14176) and corn amylopectin starch (GOST 32159) in the ratio: 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90, 0:100 were received by calculation. Exponential smoothing of the dynamic series of the liquefaction number of corn starch mixture makes it possible to obtain a reliable forecast of the dynamics of the quality indicator at the liquefaction process in the specified interval. The standard errors of the predicted values of the liquefaction number of corn starch mixture at a dosage of amylopectin corn starch in a mixture from 0% to 35.0 % inclusive are within the convergence requirements of GOST 30498 (ISO 3093) for measurement results. A stable growth in the dynamics of the number of liquefaction of corn starch mixture is provided when replacing corn flour with amylopectin corn starch in an amount of not more than 35.0 %.

Keywords: time series, exponential smoothing, liquefaction number, corn starch, corn flour.

Для цитирования
Шмалько Н.А., Никитин И.А., Велина Д.А., Хайруллин М.Ф. Экспоненциальное сглаживание динамического ряда числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 170–178. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-170-178

For citation
Shmal′ko N.A., Nikitin I.A., Velina D.A., Khayrullin M.F. Exponential smoothing of dynamic series liquefaction number of corn starch mixture. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 170–178. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-170-178

© 2022, Шмалько Н.А. и др. / Shmal'ko N.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Как известно, «анализ временных рядов – совокупность математико-статистических методов анализа, предназначенных для выявления структуры временных рядов и их прогнозирования… Выявление структуры временного ряда необходимо для того, чтобы построить математическую модель того явления, которое является источником анализируемого временного ряда…» [1]. Очевидно, что «…выбор метода решения задачи прогнозирования определяется существенными его характеристиками – сложностью задачи и ее обширностью. Так, при решении задач прогнозирования первого уровня сложности и обширности процесса применяют экстраполяционный метод уровня обширности и сложности – *экспоненциальное сглаживание*, позволяющий получить краткосрочный прогноз…» [2].

Для решения статистических задач достоверность разработанных прогнозов во многом определяется тем, насколько правильно выбран метод прогнозирования, иначе говоря, для получения достоверных прогнозов вначале необходимо определить метод прогнозирования, соответствующий специфике объекта прогнозирования. «…Классический подход к прогнозированию рядов основан на выборе подходящей теоретической модели тренда с неизвестными параметрами, ее параметрической идентификации по данным наблюдения ряда и последующем использовании модели для экстраполяции ряда на период прогнозирования…» [3].

«…Главное достоинство модели прогнозирования, основанной на экспоненциальной скользящей средней, заключается в том, что она способна адаптироваться к новому уровню процесса без значительных реакций на случайные отклонения. Однако данная модель дает значительную ошибку в случае, когда ряд имеет трендовую составляющую. Специально для этого случая существует несколько адаптивных моделей экспоненциального сглаживания… [4]. Моделирование заключается в том, что ряд динамики сглаживается с помощью скользящей средней, в которой веса подчиняются экспоненциальному закону. В таком случае, среднюю называют *экспоненциальной средней*, которая является характеристикой последних значений ряда динамики, которым присваивается наибольший вес [3].

В анализе технологических процессов «…*экспоненциальное сглаживание при текущем предупредительном контроле* в отличие от анализа экономических показателей имеет ряд особенностей: одной из них является отсутствие надобности в определении длительного прогнозирования, другой – необходимость учета погрешностей измерения… Поскольку при текущем предупредительном контроле основной целью является быстрое обнаружение резкого изменения процесса, то алгоритм расчета базируется на результатах краткосрочного (на один шаг вперед) прогнозирования» [5].

При необходимости описания текущего состояния процесса без составления прогноза вначале прибегают к вычислению таких статистических показателей динамического ряда, как абсолютный цепной и базисный прирост, цепной и базисный темп прироста, темп наращивания и т. п. Так, абсолютный прирост определяется в разностном сопоставлении двух уровней ряда динамики в единицах измерения исходной информации и рассчитывается по цепному и базисному приростам [6]:

– цепной прирост:

$$\Delta y_{\text{ц}} = y_i - y_{i-1} \qquad (1)$$

– базисный прирост:

$$\Delta y_{\text{б}} = y_i - y_1 \qquad (2)$$

Темпы прироста характеризуют абсолютный прирост в относительных величинах, а вычисляемый в процентах темп показывает, на сколько процентов изменяется сравниваемый уровень с уровнем, принятым за базу сравнения. Как и абсолютный прирост, подразделяется на цепной и базисный:

– цепной темп прироста:

$$T_{\text{прц}i} = \Delta y_i / y_{i-1} \qquad (3)$$

– базисный темп прироста:

$$T_{\text{прб}} = \Delta y_{\text{б}i} / y_1 \qquad (4)$$

Распространенным в статистике показателем динамики является темп роста, характеризующий отношение двух уровней ряда и выражающийся в виде коэффициента или в процентах, вычисляется цепным или базисным:

– цепной темп роста:

$$T_{\text{рц}i} = y_i / y_{i-1} \qquad (5)$$

– базисный темп роста:

$$T_{\text{рб}} = y_{\text{б}i} / y_1 \qquad (6)$$

Абсолютное значение 1% прироста равно: цепной: 1% $u_{\text{i}} = y_{\text{i}} - {}_1$ / 100%; базисный: 1%$_{\text{б}} = y_{\text{б}}$ / 100%.

Статистическим показателем динамики в условиях интенсификации изучаемого процесса является темп наращивания, который измеряет наращивание потенциала процесса во времени:

$$T_{\text{н}} = \Delta y_{\text{ц}i} / y_1 \qquad (7)$$

Средний уровень интервального ряда y динамики характеризует типическую величину абсолютных уровней и рассчитывается по формуле:

$$\overline{y} = \frac{\sum y_i}{n} \quad (8)$$

Средний темп роста вычисляется как:

$$\overline{T_p} = \sqrt[n-1]{\frac{y_n}{y_1}} \quad (9)$$

Средний темп прироста равен разности:

$$\overline{T_{np}} = \overline{T_p} 1 \quad (10)$$

Средний абсолютный прирост представляет собой обобщенную характеристику индивидуальных абсолютных приростов ряда динамики:

$$\overline{dy} = \frac{y_n - y_1}{n-1} \quad (11)$$

Экспоненциальная средняя вычисляется по рекуррентной формуле:

$$S_t = \alpha \times Y_t + (1-\alpha) \times S_{t-1} \quad (12)$$

где S_t – значение экспоненциальной средней в момент t; S_{t-1} – значение экспоненциальной средней в момент (t = 1); начальный параметр S_0 берут или равным значению первого уровня ряда y_1, или равным средней арифметической нескольких первых членов ряда; Y_t – значение экспоненциального процесса в момент t; α – вес t-ого значения ряда динамики (или параметр сглаживания).

Последовательное применение формулы (12) дает возможность вычислить экспоненциальную среднюю через значения всех уровней данного ряда динамики. Наиболее важной характеристикой в этой модели является параметр сглаживания α, по величине которой практически и осуществляется прогноз. В случае, если α близко к единице, то в прогнозе существенно учитывается величина ошибки последнего прогнозирования. При малых значениях α прогнозируемая величина близка к предыдущему прогнозу.

Если α близко к 0, то веса, по которым взвешиваются уровни ряда динамики убывают медленно, т. е. при прогнозе учитываются все прошлые уровни ряда. Обычно на практике значение α находится в пределах от 0,1 до 0,3, почти никогда не превышая значение 0,5 [7].

Базовое уравнение имеет следующий вид:

$$S_{t+1} = S_t \times (1-\alpha) + \alpha \times Y_t \quad (13)$$

где $S_{(t)}$ – это прогноз, сделанный в момент времени t.

Стандартная ошибка (погрешность) рассчитывается по формуле:

$$e_t = \sqrt{\frac{\sum (y_i - S_{i-1})^2}{n-1}} \quad (14)$$

где i = (t – 2, t).

Специалисты отмечают [8], что разжижение крахмала является ключевым этапом в промышленном производстве сиропов. Для повышения эффективности этого процесса было проведено исследование влияния концентрации кукурузного крахмала на ход желатинизации и разжижения. Как показали опыты, повышенные концентрации крахмала (свыше 45%) вызывают ингибирование набухания и разрушение гранул крахмала и приводят к сохранению кристалличности крахмала после термической обработки, что связывают с протеканием неполной желатинизации, вызванной низкой подвижностью молекул воды и полимерных цепей.

Целью данной работы явилось проведение экспоненциального сглаживания динамического ряда числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси, состоящей из кукурузной муки тонкого помола и кукурузного амилопектинового крахмала. В исследовании представлена последовательность наблюдений показателя числа разжижения, упорядочиваемого в зависимости от повышения дозировки амилопектинового кукурузного крахмала в кукурузной крахмалистой смеси.

Материалы и методы

Число разжижения для кукурузной крахмалистой смеси, состоящей из кукурузной муки тонкого помола [9] и кукурузного амилопектинового крахмала [10] в соотношении: 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90, 0:100 получали расчетным путем. Для расчета числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси использовали опытные данные числа падения, определяемого по стандартному методу [11], сущность которого заключается в достижении быстрой клейстеризации водной суспензии муки или цельносмолотого зерна в кипящей водяной бане и последующем определении степени разжижения альфа-амилазой крахмала, содержащегося в пробе. Например, с требуемым значением числа падения подбирают мучные хлебопекарные смеси [12, 13], если число падения перевести в число разжижения. Расчеты статистических показателей динамического ряда числа разжижения без составления прогноза и вычисление его экспоненциальной средней производились с помощью интернет-ресурсов [6, 7], визуализация вычислений прогнозных значений в приложении MS Excel 2007.

Результаты

Цепные показатели ряда динамики числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси представлены в таблице 1. Расчеты показывают, что при 100%-ном содержании амилопектинового кукурузного крахмала в смеси число разжижения, по сравнению с содержанием в 90%, увеличивается на 72 ед. или на 33,6%. Максимальный прирост числа разжижения (на 72 ед.) наблюдается при максимальной дозировке амилопектинового кукурузного крахмала в смеси, т. е. 100%. Минимальный прирост числа разжижения (на 3 ед.) зафиксирован при 20%-ной дозировке амилопектинового кукурузного крахмала в смеси.

Таблица 1.

Цепные показатели ряда динамики числа разжижения

Table 1.

Chain exponents of the liquefaction number dynamics series

Дозировка амилопектинового крахмала, % Dosage of amylopectin starch,%	Число разжижения, единиц Number of liquefaction units	Абсолютный прирост Absolute increase	Темп прироста, % Rate of increase, %	Темпы роста, % Growth rate, %	Абсолютное содержание 1% прироста Absolute content of 1% increase	Темп наращения, % Rate of build-up, %
0	15	–	–	100	–	0
10	19	4	26.67	126.67	0.15	26.67
20	22	3	15.79	115.79	0.19	20
30	30	8	36.36	136.36	0.22	53.33
40	71	41	136.67	236.67	0.3	273.33
50	82	11	15.49	115.49	0.71	73.33
60	141	59	71.95	171.95	0.82	393.33
70	160	19	13.48	113.48	1.41	126.67
80	200	40	25	125	1,6	266.67
90	214	14	7	107	2	93.33
100	286	72	33.64	133.64	2.14	480
Итого | Total	1240					

Темп наращения показывает, что тенденция динамического ряда числа разжижения возрастающая, что свидетельствует об ускорении роста параметра. Базисные показатели ряда динамики числа разжижения представлены в таблице 2. В смеси, содержащей 100% амилопектинового кукурузного крахмала, по сравнению со смесью с 0%-ным содержанием амилопектинового кукурузного крахмала число разжижения увеличилось на 271 ед. или на 1806,7%. Сводные данные ряда динамики числа разжижения приведены в таблице 3.

Таблица 2.

Базисные показатели ряда динамики числа разжижения

Table 2.

Basic indicators of a number of dynamics of the liquefaction number

Дозировка амилопектинового крахмала, % Dosage of amylopectin starch, %	Число разжижения, единиц | Number of liquefaction units	Абсолютный прирост Absolute increase	Темп прироста, % Rate of increase, %	Темпы роста, % Growth rate, %
0	15	–	–	100
10	19	4	26.67	126.67
20	22	7	46.67	146.67
30	30	15	100	200
40	71	56	373.33	473.33
50	82	67	446.67	546.67
60	141	126	840	940
70	160	145	966.67	1066.67
80	200	185	1233.33	1333.33
90	214	199	1326.67	1426.67
100	286	271	1806.67	1906.67
Итого | Total	1240			

Средний уровень интервального ряда y динамики числа разжижения равен: $\bar{y} = \sum y_i / n = 1240/11 = 112,73$. Соответственно, среднее значение числа разжижения между 0%-ной и 100%-ной дозировками амилопектинового крахмала в смеси составило 112,73 ед.

Таблица 3.

Сводная таблица данных ряда динамики числа разжижения

Table 3.

Summary table of data on the dynamics of the liquefaction number

Дозировка амилопектинового крахмала, % Dosage of amylopectin starch, %	Число разжижения | Liquefaction number	Абсолютный прирост Absolute increase		Темп роста Growth rate, %		Темп прироста Rate of increase, %		Абсолютное содержание 1% прироста Absolute content of 1% increase
		цепной	базисный	цепной	базисный	цепной	базисный	
0	15	–	–	100	100	–	–	–
10	19	4	4	126.67	126.67	26.67	26.67	0.15
20	22	3	7	115.79	146.67	15.79	46.67	0.19
30	30	8	15	136.36	200	36.36	100	0.22
40	71	41	56	236.67	473.33	136.67	373.33	0.3
50	82	11	67	115.49	546.67	15.49	446.67	0.71
60	141	59	126	171.95	940	71.95	840	0.82
70	160	19	145	113.48	1066.67	13.48	966.67	1.41
80	200	40	185	125	1333.33	25	1233.33	1.6
90	214	14	199	107	1426.67	7	1326.67	2
100	286	72	271	133.64	1906.67	33.64	1806.67	2.14

Средний темп роста равен: $\overline{T_p} = \sqrt[n-1]{y_n / y_1} = \sqrt[10]{286/15} = 1,3428$. В среднем за весь период рост анализируемого показателя составил 1,3428.

Средний темп прироста равен: $\overline{T_{np}} = \overline{T_p} - 1 = 1,3428 - 1 = 0,343$. В среднем число разжижения с каждым интервалом увеличивалось на 34,3%.

Средний абсолютный прирост равен: $\overline{dy} = (y_n - y_1)/(n-1) = (286 - 15)/10 = 27,1$. С каждым интервалом динамического ряда число разжижения в среднем увеличивалось на 27,1.

Параметр α вычислялся как: $\alpha = 2/(21 + 1) = 0,0909$. В качестве S_0 брали первое значение ряда, $S_0 = y_1 = 15$. Для экспоненциального сглаживания динамического ряда числа разжижения дополнили данные наблюдений (таблица 4) с шагом 5 ед.

$S_{(t+1)}$ отражает прогноз во временной период, следующий непосредственно за моментом времени t: $S_{(21+1)} = 280,854\ (1 - 0,0909) + 0,0909 \times 286 = 281,322$. Стандартная ошибка (погрешность) равна: $e_t = \sqrt{\Sigma (y_i - S_{i-1})^2 / (n-1)} = \sqrt{67,29/(21-1)} = 1,834$

Таблица 4.

Экспоненциальная средняя динамического ряда числа разжижения

Table 4.

Exponential average of the dynamic series of the liquefaction number

t	y	S_t	Формула | Formula	$(y - S_t)^2$
0	15	15	(1 – 0.0909)×15 + 0.0909×15	0
5	17	16.818	(1 – 0.0909)×17 + 0.0909×15	0.0331
10	19	18.802	(1 – 0.0909)×19 + 0.0909×16.82	0.0393
15	20	19.891	(1 – 0.0909)×20 + 0.0909×18.8	0.0119
20	22	21.808	(1 – 0.0909)×22 + 0.0909×19.89	0.0367
25	25	24.71	(1 – 0.0909)×25 + 0.0909×21.81	0.0842
30	30	29.519	(1 – 0.0909)×30 + 0.0909×24.71	0.231
35	41	39.956	(1 – 0.0909)×41 + 0.0909×29.52	1.089
40	71	68.178	(1 – 0.0909)×71 + 0.0909×39.96	7.963
45	77	76.198	(1 – 0.0909)×77 + 0.0909×68.18	0.643
50	82	81.473	(1 – 0.0909)×82 + 0.0909×76.2	0.278
55	107	104.68	(1 – 0.0909)×107 + 0.0909×81.47	5.384
60	141	137.698	(1 – 0.0909)×141 + 0.0909×104.68	10.9
65	148	147,064	(1 – 0.0909)×148 + 0.0909×137.7	0,877
70	160	158.824	(1 – 0.0909)×160 + 0.0909×147.06	1.383
75	185	182.621	(1 – 0.0909)×185 + 0.0909×158.82	5.662
80	200	198.42	(1 – 0.0909)×200 + 0.0909×182.62	2.496
85	207	206.22	(1 – 0.0909)×207 + 0.0909×198.42	0.608
90	214	213.293	(1 – 0.0909)×214 + 0.0909×206.22	0.5
95	231	229.39	(1 – 0.0909)×231 + 0.0909×213.29	2.591
100	286	280.854	(1 – 0.0909)×286 + 0.0909×229.39	26.479
				67.29

Для визуализации вычисления каждого прогноза в MS Excel использовали отдельную, но алгебраически эквивалентную формулу (таблица 5). Оба компонента – данные предыдущего наблюдения и предыдущий прогноз – каждого прогноза умножали на коэффициент, отображающий вклад данного компонента в текущий прогноз (рисунок 1).

Таблица 5.

Расчет экспоненциального сглаживания динамического ряда числа разжижения в MS Excel 2007

Table 5.

Calculation of exponential smoothing of the dynamic series of the liquefaction number in MS Excel 2007

t	y	Сглаженные уровни | Smoothed levels	Стандартные погрешности | Standard errors
0	15	15	#Н/Д
5	17	16.8182	#Н/Д
10	19	18.80167	#Н/Д
15	20	19.89107	1.843569
20	22	21.8083	1.883597
25	25	24.70987	2.314485
30	30	29.51913	3.769172
35	41	39.95639	7.527346
40	71	68.17814	19.35202
45	77	76.19809	19.7766
50	82	81.47261	18.9314
55	107	104.6796	15.94924
60	141	137.6985	25.84882
65	148	147.0636	26.31187
70	160	158.8241	23.04088
75	185	182.6206	17.87597
80	200	198.4202	19.61779
85	207	206.2201	18.80456
90	214	213.2928	12.05796
95	231		
100	286		

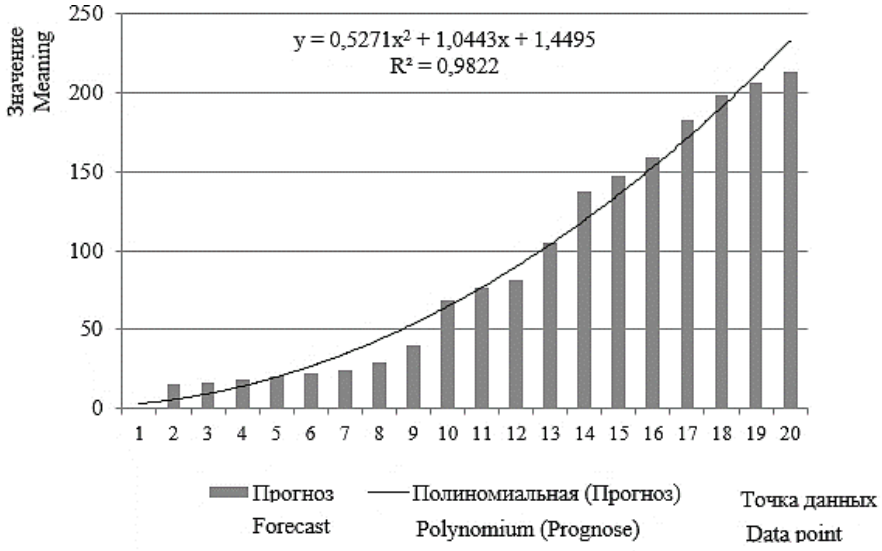


Рисунок 1. Экспоненциальное сглаживание динамического ряда числа разжижения с полиномиальной линией тренда

Figure 1. Exponential smoothing of the dynamic series of the liquefaction number with a polynomial trend line

Обсуждение

Следует отметить, что удобство исследуемого метода применительно к наблюдению динамического ряда числа разжижения заключается в возможности прогнозирования нестационарного временного ряда, имеющего случайные изменения уровня и угла наклона. По мере удаления от текущего момента времени t «в прошлое» вес соответствующего члена ряда быстро (экспоненциально) уменьшается и практически перестает оказывать какое-либо влияние на значение экспоненциальной средней, заменяющей наблюдаемое значение ряда y_t, когда в сглаживании участвуют все данные, полученные к текущему моменту t.

Метод прогнозирования сглаживания учитывает эффекты выброса функции намного лучше, чем способы, использующие регрессивный анализ. Экспоненциальная средняя y_t является примером асимметричной взвешенной скользящей средней, в которой учитывается степень старения данных: более «старая» информация с меньшим весом входит в формулу (12) для расчета сглаженного значения уровня ряда [14-20].

Заключение

Проведение экспоненциального сглаживания динамического ряда числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси позволяет получить достоверный прогноз о динамике показателя объекта исследования в изучаемом интервале. Стандартные погрешности прогнозируемых значений числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси при дозировке амилопектинового кукурузного крахмала в смеси от 0 до 35,0% включительно находятся в пределах требований сходимости стандарта [11] для результатов измерений. Отсюда следует, что стабильный рост динамики числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси обеспечивается при замене кукурузной муки амилопектиновым кукурузным крахмалом в количестве не более 35,0%. Тем самым, задача прогнозирования первого уровня сложности и обширности процесса разжижения решена методом экспоненциального сглаживания с целью получения краткосрочного прогноза.

Благодарности

Исследования выполнялись с использованием оборудования ЦКП «Исследовательский центр пищевых и химических технологий» КубГТУ (CKP_3111), развитие которого поддерживается Министерством науки и высшего образования РФ (Соглашение № 075–15–2021–679).

Литература

1 Семиохин С.И., Самарев Р.С. Обзор современных подходов к прогнозированию временных рядов // Молодежный научно-практический вестник. 2017. № 12. С. 3–16.

2 Симанков В.С., Бучацкая В.В. Выбор методов прогнозирования при исследовании сложных систем // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2012. № 2. С. 118–123.

3 Шубат О.М., Блинов Д.В. Исследование рядов динамики в экономике и менеджменте. URL:https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13795/1/%D0%91%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%B2%2C%20%D0%A8%D1%83%D0%B1%D0%B0%D1%82_%D0%AD%D0%9E%D0%A0.pdf (дата обращения: 28.01.2021).

4 Шевченко И.В. Некоторые модели анализа и прогнозирования временных рядов // Системная информатика. 2013. № 2. С. 23–40.

5 Керенский А.М. О текущем предупредительном контроле процесса на базе экспоненциального сглаживания // Авиационная и ракетно-техническая техника. 2009. № 3–2 (19). С. 227–230.

6 Статистические показатели динамики. URL: https://axd.semestr.ru/dinam/group.php

7 Сглаживание экспоненциальным методом. URL: https://math.semestr.ru/trend/exponential.php

8 Li Zh., Liu W., Gu Zh., Li C. et al. The effect of starch concentration on the gelatinization and liquefaction of corn starch // Food Hydrocolloids. 2015. V. 48. P. 189–196. doi: 10.1016/j.foodhyd.2015.02.030

9 ГОСТ 14176–69. Мука кукурузная. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2006. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200022248

10 ГОСТ 32159–2013. Крахмал кукурузный. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200104210

11 ГОСТ ISO 3093–2016. Зерно и продукты его переработки. Определение числа падения методом Хагберга-Пертена. М.: Стандартинформ, 2019. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200140380

12 Stefan E.–M., Voicu G., Constantin G.A., Ferdes M. Falling number vs liquefaction number in alfa-amylase activity estimation for bakery flour // Conference: International Symposium ISB-INMA TEH 2015, Agricultural and mechanical engineering, Romania, Bucharest, 2015. P. 461–466.

13 Вершинина О.Л., Зернаева Е.А., Бондаренко А.Н. Влияние мучной композитной смеси на хлебопекарные свойства ржаной муки // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2018. № 2–3 (362–363). С. 44–46.

14 Кричевский М.Л. Методы бизнес-прогнозирования: лекции (контент) по дисциплине. URL: http://eos.ibi.spb.ru/umk/15_3/5/5_A.html

15 Jain D., Katyal P. Optimization of gluco-amylase production from Aspergillus spp. for its use in saccharification of liquefied corn starch // 3 Biotech. 2018. V. 8. №. 2. P. 1-9. doi: 10.1007/s13205-018-1131-4

16 Szymanowska-Powałowska D., Lewandowicz G., Kubiak P., Błaszczak W. Stability of the process of simultaneous saccharification and fermentation of corn flour. The effect of structural changes of starch by stillage recycling and scaling up of the process // Fuel. 2014. V. 119. P. 328-334. doi: 10.1016/j.fuel.2013.11.034

17 Xue P., Zhao Y., Wen C., Cheng S. et al. Effects of electron beam irradiation on physicochemical properties of corn flour and improvement of the gelatinization inhibition // Food chemistry. 2017. V. 233. P. 467-475. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.04.152

18 Chen Y., Delaney L., Johnson S., Wendland P. et al. Using near infrared spectroscopy to determine moisture and starch content of corn processing products // Journal of Near Infrared Spectroscopy. 2017. V. 25. №. 5. P. 348-359. doi: 10.1177/0967033517728146

19 Huang X., Chen M., Lu X., Li Y. et al. Direct production of itaconic acid from liquefied corn starch by genetically engineered Aspergillus terreus // Microbial cell factories. 2014. V. 13. №. 1. P. 1-10. doi: 10.1186/s12934-014-0108-1

20 Pervez S., Aman A., Iqbal S., Siddiqui N.N. et al. Saccharification and liquefaction of cassava starch: an alternative source for the production of bioethanol using amylolytic enzymes by double fermentation process // BMC biotechnology. 2014. V. 14. №. 1. P. 1-10. doi: 10.1186/1472-6750-14-49

References

1 Semiokhin S.I., Samarev R.S. Review of modern approaches to time series forecasting. Youth Scientific and Practical Bulletin. 2017. no. 12. pp. 3–16. (in Russian).

2 Simankov V.S., Buchatskaya V.V. The choice of forecasting methods in the study of complex systems. Bulletin of the Adyghe State University. Series 4: Natural-mathematical and technical sciences. 2012. no. 2. pp. 118–123. (in Russian).

3 Shubat O.M., Blinov D.V. Study of series of dynamics in economics and management. URL:https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13795/1/%D0%91%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%B2%2C%20%D0%A8%D1%83%D0%B1%D0%B0%D1%82_%D0%AD%D0%9E%D0%A0.pdf (in Russian).

4 Shevchenko I.V. Some models of analysis and forecasting of time series. System informatics. 2013. no. 2. pp. 23–40. (in Russian).

5 Kerensky A.M. On the current preventive control of the process based on exponential smoothing. Aviation and rocket technology. 2009. no. 3–2 (19). pp. 227–230. (in Russian).

6 Statistical indicators of dynamics. Available at: https://axd.semestr.ru/dinam/group.php (in Russian).

7 Smoothing by exponential method. Available at: https://math.semestr.ru/trend/exponential.php (in Russian).

8 Li Zh., Liu W., Gu Zh., Li C. et al. The effect of starch concentration on the gelatinization and liquefaction of corn starch. Food Hydrocolloids. 2015. vol. 48. pp. 189–196. doi: 10.1016/j.foodhyd.2015.02.030

9 GOST 14176–69. Corn flour. Specifications. M., Standartinform, 2006. Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200022248 (in Russian).

10 GOST 32159–2013. Corn starch. General specifications. Moscow, Standartinform, 2019. Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200104210 (in Russian).

11 GOST ISO 3093–2016. Grain and products of its processing. Determination of the falling number by the Hagberg-Perten method. M., Standartinform, 2019. Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200140380 (in Russian).

12 Stefan E.–M., Voicu G., Constantin G.A., Ferdes M. Falling number vs liquefaction number in alfa-amylase activity estimation for bakery flour. Conference: International Symposium ISB-INMA TEH 2015, Agricultural and mechanical engineering, Romania, Bucharest, 2015. pp. 461–466.

13 Vershinina O.L., Zernaeva E.A., Bondarenko A.N. Influence of a flour composite mixture on the baking properties of rye flour. Izvestia of higher educational institutions. Food technology. 2018. no. 2–3 (362–363). pp. 44–46. (in Russian).

14 Krichevsky M.L. Methods of business forecasting: lectures (content) on the discipline. Available at: http://eos.ibi.spb.ru/umk/15_3/5/5_A.html (in Russian).

15 Jain D., Katyal P. Optimization of gluco-amylase production from Aspergillus spp. for its use in saccharification of liquefied corn starch. 3 Biotech. 2018. vol. 8. no. 2. pp. 1-9. doi: 10.1007/s13205-018-1131-4

16 Szymanowska-Powałowska D., Lewandowicz G., Kubiak P., Błaszczak W. Stability of the process of simultaneous saccharification and fermentation of corn flour. The effect of structural changes of starch by stillage recycling and scaling up of the process. Fuel. 2014. vol. 119. pp. 328-334. doi: 10.1016/j.fuel.2013.11.034

17 Xue P., Zhao Y., Wen C., Cheng S. et al. Effects of electron beam irradiation on physicochemical properties of corn flour and improvement of the gelatinization inhibition. Food chemistry. 2017. vol. 233. pp. 467-475. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.04.152

18 Chen Y., Delaney L., Johnson S., Wendland P. et al. Using near infrared spectroscopy to determine moisture and starch content of corn processing products. Journal of Near Infrared Spectroscopy. 2017. vol. 25. no. 5. pp. 348-359. doi: 10.1177/0967033517728146

19 Huang X., Chen M., Lu X., Li Y. et al. Direct production of itaconic acid from liquefied corn starch by genetically engineered Aspergillus terreus. Microbial cell factories. 2014. vol. 13. no. 1. pp. 1-10. doi: 10.1186/s12934-014-0108-1

20 Pervez S., Aman A., Iqbal S., Siddiqui N.N. et al. Saccharification and liquefaction of cassava starch: an alternative source for the production of bioethanol using amylolytic enzymes by double fermentation process. BMC biotechnology. 2014. vol. 14. no. 1. pp. 1-10. doi: 10.1186/1472-6750-14-49

Сведения об авторах

Наталья А. Шмалько к.т.н., доцент, кафедра пищевой инженерии, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, kafedra-tith@ya.ru

https://orcid.org/0000-0002-8939-0265

Игорь А. Никитин д.т.н., доцент, заведующий кафедрой биотехнологий продуктов питания из растительного и животного сырья, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, nikito.igor@gmail.com

https://orcid.org/0000-0002-8988-5911

Information about authors

Natalya A. Shmal'ko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food engineering department, Kuban State Technological University, Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russia, kafedra-tith@ya.ru

https://orcid.org/0000-0002-8939-0265

Igor A. Nikitin Dr. Sci. (Chem.), associate professor, head of department of biotechnology of food products from plant and animal raw materials, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, nikito.igor@gmail.com

https://orcid.org/0000-0002-8988-5911

Дарья А. Велина младший научный сотрудник, кафедра биотехнологий продуктов питания из растительного и животного сырья, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (первый казачий университет), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, kattim67@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-2398-3375

Марс Ф. Хайруллин к.т.н., ведущий научный сотрудник, отдел комплексных научных исследований, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (первый казачий университет), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, 89049755219@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-1697-7281

Вклад авторов

Наталья А. Шмалько написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Игорь А. Никитин предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания
Дарья А. Велина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты
Марс Ф. Хайруллин консультация в ходе исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Daria A. Velina junior researcher, biotechnology of food products from plant and animal raw materials department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, kattim67@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-2398-3375

Mars F. Khayrullin Cand. Sci. (Engin.), leading researcher, integrated research department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, 89049755219@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-1697-7281

Contribution

Natalya A. Shmal′ko wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Igor A. Nikitin proposed a scheme of the experiment and organized production trials
Daria A. Velina review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Mars F. Khayrullin consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 07/04/2022	**После редакции** 25/04/2022	**Принята в печать** 26/05/2022

Received 07/04/2022	**Accepted in revised** 25/04/2022	**Accepted** 26/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-179-190 Оригинальная статья/Research article
УДК 001.61: 664.22/.27: 664.64.014 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Аналитическое выравнивание временного ряда числа разжижения кукурузной крахмальной смеси

Наталья А. Шмалько [1] kafedra-tith@ya.ru 0000-0002-8939-0265
Игорь А. Никитин [2] nikito.igor@gmail.com 0000-0002-8988-5911
Дарья А. Велина [2] kattim67@gmail.com 0000-0002-2398-3375
Марс Ф. Хайруллин [2] 89049755219@ya.ru 0000-0003-1697-7281

1 Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия
2 Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия

Аннотация. Статистическое описание развития динамических процессов во времени осуществляется с помощью временных рядов. Для устранения случайных колебаний и построения аналитической функции тренда временного ряда применяется процедура аналитического выравнивания. Выбор вида функции тренда осуществляется методом конечных разностей, расчет параметров тренда – методом наименьших квадратов. Целью данной работы явилось аналитическое выравнивание временного ряда числа разжижения кукурузной крахмальной смеси, полученного в опыте на приборе ПЧП-99. Механизм протекания клейстеризации крахмала с заданной скоростью разжижения в подобных условиях требует дополнительного теоретического и экспериментального изучения. Экспериментально установлено, что в кукурузной крахмальной смеси увеличение доли амилопектинового крахмала приводит при прогреве набухающей водно-крахмальной суспензии к повышению максимальной вязкости образующегося геля. В процессе дальнейшей клейстеризации кукурузной крахмальной смеси с повышением доли амилопектинового крахмала сила геля уменьшается за счет сохранения подвижности молекул воды при переходе в системе золь-гель, что способствует повышению числа разжижения. Расчеты показали, что процесс разжижения крахмального геля можно описать экспоненциальным уравнением тренда: $y = a \cdot e^{bt}$, являющимся частным случаем показательного тренда. Опытные данные не содержат аномальные значения, ошибка аппроксимации регрессионного уравнения тренда временного ряда составляет менее 5 %. Статистическая значимость коэффициентов линеаризованного уравнения тренда доказана в пользу гипотезы существования временного ряда. Полученные оценки уравнения регрессии позволяют использовать его в прогнозных целях, обеспечивая точность до 95,42 % от общей вариабельности числа разжижения при отсутствии автокорреляции остатков первого порядка. Проверка нормальности распределения остаточной компоненты по *RS*-критерию показала адекватность трендовой модели, гипотеза об отсутствии гетероскедастичности по тестам Спирмена и Голдфелда-Квандта принимается.

Ключевые слова: временной ряд, аналитическое выравнивание, клейстеризация, число разжижения, кукурузный крахмал.

Analytical time series alignment liquefaction number of corn starch mixture

Natalya A. Shmal′ko [1] kafedra-tith@ya.ru 0000-0002-8939-0265
Igor A. Nikitin [2] nikito.igor@gmail.com 0000-0002-8988-5911
Daria A. Velina [2] kattim67@gmail.com 0000-0002-2398-3375
Mars F. Khayrullin [2] 89049755219@ya.ru 0000-0003-1697-7281

1 Kuban State Technological University, Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russia
2 K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia

Abstract. The statistical description of the development of dynamic processes in time is carried out using time series. To eliminate random fluctuations and build an analytical function of the trend of the time series, an analytical alignment procedure is used. The choice of the type of the trend function is carried out by the method of finite differences, the calculation of the trend parameters – by the method of least squares. The purpose of this work was the analytical alignment of the time series of the liquefaction number of the corn starch mixture obtained in the experiment on the PChP-99 device. The mechanism of starch gelatinization with a given liquefaction rate under such conditions requires additional theoretical and experimental study. Calculations have shown that the process of liquefaction of starch gel corresponds to the exponential trend equation: $y = a \cdot e^{bt}$, which is a particular case of an exponential trend. It has been experimentally established that an increase in the proportion of amylopectin starch in a corn starch mixture leads to an increase in the maximum viscosity of the resulting gel when the swelling water-starch suspension is heated. In the process of further gelatinization of corn starch mixture with an increase in the proportion of amylopectin starch, the strength of the gel decreases due to the preservation of the mobility of water molecules during the transition in the sol-gel system, which contributes to an increase in liquefaction number. Experimental data do not contain anomalous values; the error in approximating the regression equation for the trend of the time series is less than 5 %. The statistical significance of the coefficients of the linearized trend equation is proved in favor of the hypothesis of the existence of a time series. The obtained estimates of the regression equation make it possible to use it for predictive purposes, providing an accuracy of up to 95.42 % of the total variability of the liquefaction number in the absence of autocorrelation of first-order residues. Checking the normality of the distribution of the residual component according to the *RS* test showed the adequacy of the trend model, the hypothesis of the absence of heteroscedasticity according to the Spearman and Goldfeld-Quandt tests is accepted.

Keywords: time series, analytical alignment, gelatinization, liquefaction number, corn starch.

Для цитирования
Шмалько Н.А., Никитин И.А., Велина Д.А., Хайруллин М.Ф. Аналитическое выравнивание временного ряда числа разжижения кукурузной крахмальной смеси // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 179–190. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-179-190

For citation
Shmal'ko N.A., Nikitin I.A., Velina D.A., Khayrullin M.F. Analytical time series alignment liquefaction number of corn starch mixture. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 179–190. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-179-190

© 2022, Шмалько Н.А. и др. / Shmal'ko N.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Статистическое описание развития динамических процессов во времени осуществляется с помощью временных рядов. «…Временным рядом (или динамическим рядом) называется последовательность значений показателя (или признака), упорядоченная в хронологическом порядке, т. е. в порядке возрастания временного параметра, отдельные же наблюдения временного ряда называются его уровнями…» [1]. Одновременно «…*временной ряд* рассматривается как одна из реализаций случайного процесса, члены которого, как правило, не являются статистически независимыми и одинаково распределенными… С помощью различных преобразований исходного временного ряда можно изучить его структуру и имеющиеся в нем закономерности, чтобы привести его к виду, пригодному для моделирования, в том числе добиться его стационарности…» [2].

Как отмечают исследователи [3]: «Анализ временных рядов включает широкий спектр разведочных процедур и исследовательских методов, которые ставят две основные цели: определение природы временного ряда и предсказание будущих значений временного ряда по настоящим и прошлым значениям (для целей прогнозирования). Обе эти цели требуют, чтобы модель ряда была идентифицирована и формально описана… Во многих случаях более результативным является применение *метода аналитического выравнивания*. Содержанием этого метода является то, что основная тенденция развития процесса (*тренд*) рассчитывается как функция времени: $\hat{y}_t = f(t)$. Теоретические уровни $\hat{y}_t$ определяются с использованием той адекватной математической функции, которая наилучшим образом отображает основную тенденцию временного ряда. Подбор адекватной функции тренда обычно осуществляется методом наименьших квадратов [4], при котором минимизируется сумма квадратов отклонений между эмпирическими y_t и теоретическими $\hat{y}_t$ уровнями ряда. Для оценки точности трендовой модели используют *коэффициент детерминации* R^2…», отсюда сама «…трендовая модель адекватна изучаемому процессу и отражает тенденцию его развития во времени при значениях R^2, близких к 1. Тем самым, подбор математической функции, по которой рассчитываются теоретические уровни ряда, является исследовательской проблемой, требующей своего решения при применении метода аналитического выравнивания. Если выбранный тип математической функции адекватен основной тенденции развития изучаемого процесса, то синтезированная трендовая модель может иметь полезное применение при изучении его сезонных колебаний, прогнозировании и решении ряда других практических задач…» [5].

Наряду с этим, моделирование технологических объектов (процессов) с нестационарными характеристиками при анализе статистических данных и временных рядов на начальном этапе включает анализ случайных процессов, начиная «…с выяснения состава временных рядов: тренда или долгосрочной тенденции в развитии ряда (например, изменений характеристик процесса вследствие дезактивации катализатора в химической реакции); периодических компонент; интервенций (в том числе, резких изменений характера поведения процесса под воздействием каких-либо причин); стационарности случайного остатка и его свойств» [6]. При этом отмечается, что «…пользоваться трендовыми моделями для краткосрочных и среднесрочных прогнозов следует только при выполнении следующих условий: во-первых, период времени, за который изучается прогнозируемый процесс, должен быть достаточным для выявления закономерностей; во-вторых, трендовая модель в анализируемый период должна развиваться эволюционно; в-третьих, процесс, описываемый временным рядом, должен обладать определенной инерционностью; в-четвертых, автокорреляционная функция временного ряда и его остаточного ряда должна быть быстро затухающей» и т. п. [5].

Целью данной работы явилось аналитическое выравнивание временного ряда экспериментальных значений числа разжижения кукурузной крахмальной смеси, состоящей из образцов нативного и амилопектинового крахмалов.

Механизм протекания клейстеризации крахмала с заданной скоростью разжижения при данных условиях требует дополнительного теоретического и экспериментального изучения. Во-первых, особую роль играет тип структуры крахмала, оказывающий влияние на изменение реологических свойств водной суспензии в процессе клейстеризации, т. е. на параметры плавления гранул крахмала и температуру перехода упорядоченной термодинамической структуры в неупорядоченное состояние [7]. Во-вторых, по мере повышения температуры увеличивается колебание молекул в крахмальных гранулах, разрушая межмолекулярные связи, что приводит к освобождению мест связывания для взаимодействия с молекулами воды посредством водородных связей. Проникновение воды и рост разделения больших длинных цепей крахмальных молекул повышает неупорядоченность в общей структуре, что уменьшает число и размер кристаллических областей [8]. В-третьих, при продолжении нагрева крахмальных гранул в присутствии избытка воды

происходит полная утрата их кристалличности с полной потерей очертаний. Во время клейстеризации гранул крахмала начальное повышение температуры приводит к значительному подъему вязкости крахмальной суспензии, что связывают с набуханием гранул, а затем набухшие крахмальные гранулы разрываются и дезинтегрируют, вызывая снижение вязкости суспензии [9, 10].

Иными словами, в статистическом анализе нестационарного процесса клейстеризации крахмала [11] следует говорить не столько о необходимости изучения температуры клейстеризации [12, 13], сколько о времени (длительности) и режиме прогрева водной суспензии [14, 15], которое требуется, чтобы при некоторой заданной температуре вызвать определенную фазу клейстеризации, что говорит о необходимости построения временного ряда опытных данных и проведения его аналитического исследования.

Материалы и методы

Материалами исследования послужили производственные образцы кукурузного крахмала: нативного высшего сорта и амилопектинового, соответствующего требованиям ГОСТ 32159–2013 [16] (ООО «НД-техник», г. Светлоград, Россия; регистрационный номер декларации ТС N RU Д-RU. АЯ 21.В.01861). Показатели крахмалов, приведенные в удостоверении о качестве, представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Качественные показатели нативного и амилопектинового кукурузных крахмалов

Table 1.

Qualitative indicators of native and amylopectin corn starches

Наименование показателя The name of the indicator	Крахмал нативный The native starch		Крахмал амилопектиновый The amylopectin starch	
	Характеристика и норма The characteristic and norm	Фактическое значение The actual value	Характеристика и норма The characteristic and norm	Фактическое значение The actual value
Внешний вид Appearance	Однородный порошок The homogeneous powder	Соответствует Respond	Однородный порошок The homogeneous powder	Соответствует Respond
Цвет Colour	Белый, допускается желтоватый оттенок White, yellowish tint is allowed	Соответствует Respond	Белый, допускается желтоватый оттенок White, yellowish tint is allowed	Соответствует Respond
Запах Flavour	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха Belongs to starch, odorless	Соответствует Respond	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха Belongs to starch, odorless	Соответствует Respond
Массовая доля влаги,%, не более Mass fraction of moisture,%, no more	14.0	13.6	16.0	14.4
Массовая доля общей золы в пересчете на сухое вещество,%, не более Mass fraction of total ash in terms of dry matter,%, no more	0.2	0.12	0.3	0.12
Кислотность – объем раствора гидроокиси натрия концентрацией 0,1 моль/дм^3 (0,1 н) на нейтрализацию кислот и кислых солей в 100 г. сухого вещества крахмала, см^3, не более Acidity – the volume of a solution of sodium hydroxide with a concentration of 0.1 mol/dm^3 (0.1 n) for the neutralization of acids and acid salts in 100 g of starch dry matter, cm^3, no more	20	18	25	16
Массовая доля протеина в пересчете на сухое вещество,%, не более Mass fraction of protein in terms of dry matter,%, no more	0.8	0.4	1.0	0.3
Содержание диоксида серы (SO_2), мг/кг, не более Content of sulfur dioxide (SO_2), mg/kg, no more	50	26	50	20
Количество крапин на 1 дм^2 ровной поверхности The number of specks on 1 dm^2 of a flat surface	300	58	500	50
Примеси других металлов Impurities of other metals	Не допускается Not allowed	Не обнаружены Not detected	Не допускается Not allowed	Не обнаружены Not detected
Цветная реакция с йодом Color reaction with iodine	Не нормируется Not standardized	–	От красной до красно-фиолетовой From red to red-purple	Соответствует Respond

Число разжижения образцов смеси кукурузного крахмала изучали при определении числа падения как «…времени, необходимого для перемешивания водно-мучной суспензии мешалкой и ее падения с верхнего до нижнего положения в вискозиметрической пробирке; при этом опытная суспензия клейстеризуется в результате нагревания ее во время перемешивания в кипящей водяной бане и подвергается разжижению» при реализации стандартного метода [17] на приборе ПЧП-99.

Расчет параметров тренда временного ряда числа разжижения смеси кукурузного крахмала осуществляли методом наименьших квадратов (МНК). Для определения параметров математической функции при анализе тренда в рядах динамики использовали способ отсчета времени от условного начала. Аномальные значения временного ряда выявляли с использованием критерия Ирвина. Качество уравнения тренда оценивали с помощью средней относительной ошибки аппроксимации. Размер погрешности прогноза показателя *y* рассчитывали с учетом коэффициента несоответствия Тейла. Для измерения тесноты зависимости вычисляли эмпирическое корреляционное отношение. Для выявления силы связи между признаками их критерии оценивали по шкале Чеддока: $0,1 < \eta < 0,3$ – слабая; $0,3 < \eta < 0,5$ – умеренная; $0,5 < \eta < 0,7$ – заметная; $0,7 < \eta < 0,9$ – высокая; $0,9 < \eta < 1$: весьма высокая.

Проверку гипотез относительно коэффициентов линеаризованного уравнения тренда осуществляли по оценке статистической значимости его коэффициентов и коэффициента детерминации. Для анализа коррелированности отклонений использовали статистику Дарбина-Уотсона. Оценку адекватности и точности полученной трендовой модели производили путем проверки нормальности распределения остаточной компоненты по *RS*-критерию. Проверку наличия гетероскедастичности остатков проводили при помощи тестов Спирмена и Голдфелда–Квандта.

Проверку результатов численного решения системы уравнений МНК и других параметров временного ряда производили при помощи онлайн-калькулятора «Расчет параметров уравнения тренда» (http://math.semestr.ru/trend/trend.php).

Результаты

Исходные данные экспериментального определения числа падения кукурузной крахмальной смеси послужили для изучения темпов роста уровня ее числа разжижения (таблица 2).

Таблица 2.

Темпы роста уровня числа разжижения (yi)

Table 2.

The rate of growth of the level of the liquefaction number

y_i	Δ^1_t	Δ^2_t	Темп роста Growth rate
14	–	–	–
19	5	–	1,357
31	12	7	1,632
36	5	-7	1,161
72	36	31	2,000
109	37	1	1,514
167	58	21	1,532
207	40	-18	1,240
231	24	-16	1,116
273	42	18	1,182
286	13	-29	1,048

В полученном временном ряду аномальных значений по критерию Ирвина не обнаружили (таблица 3), в связи с чем, полученные опытные данные подвергали дальнейшей статистической обработке.

Таблица 3.

Расчетные значения критерия Ирвина для временного ряда

Table 3.

Calculated values of the Irwin criterion for a time series

t	y	$(y_i - y_{ср})^2$ $(y_i - y_{average})^2$	λ
1	14	13774,223	–
2	19	12625,587	0,0476
3	31	10072,86	0,114
4	36	9094,223	0,0476
5	72	3524,041	0,342
6	109	500,132	0,352
7	167	1269,95	0,552
8	207	5720,86	0,381
9	231	9927,405	0,228
10	273	20060,86	0,400
11	286	23912,405	0,124
	1445	110482,545	

Решение системы уравнений МНК (1) с полученными данными имеет вид:

$$\begin{cases} a_0 n + a_1 \sum t = \sum y; \\ a_0 \sum t + a_1 \sum t^2 = \sum yt. \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} 11a + 55 \cdot b = 48,73; \\ 55 \cdot a + 385 \cdot b = 279,75. \end{cases}$$

Из первого уравнения системы выражали *a* и подставляли во второе уравнение, поскольку $a = 2,788$, $b = 0,328$, отсюда получили уравнение тренда $y = 16,255e^{0,328t}$ с целью произведения вычисления для подстановки в систему уравнений МНК (таблица 4).

Таблица 4.

Вычисления для постановки в систему уравнений МНК

Table 4.

Calculations for setting the least squares method into a system of equations

t	ln(y)	t^2	y^2	$t \cdot y$
0	2,639	0	6,965	0
1	2,944	1	8,67	2,944
2	3,434	4	11,792	6,868
3	3,584	9	12,842	10,751
4	4,277	16	18,29	17,107
5	4,691	25	22,009	23,457
6	5,118	36	26,194	30,708
7	5,333	49	28,438	37,329
8	5,442	64	29,62	43,539
9	5,609	81	31,466	50,485
10	5,656	100	31,99	56,56
55	48,728	385	228,275	279,748
Ср. знач. | Ave value	4,43	35	20,752	25,432

Учитывая, что эмпирические коэффициенты тренда *a* и *b* являются лишь оценками теоретических коэффициентов β_i, а само уравнение отражает лишь общую тенденцию в поведении рассматриваемых переменных, установили, что коэффициент тренда $b = 0{,}328$ показывает среднее изменение результативного показателя (в единицах измерения *y*) с изменением периода времени *t* на единицу его измерения. Для изучаемого временного ряда числа разжижения с увеличением *t* на 1 единицу *y* изменится в среднем на 0,328. Сравнительная оценка результатов опыта и расчета приведена в таблице 5.

Таблица 5.

Расчетные и опытные значения числа разжижения

Table 5.

Calculated and experimental values of the liquefaction number

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Уопыт Уexperience	14	19	31	36	72	109	167	207	231	273	286
Урасчет Уcalculation	16	21	31	44	60	84	116	158	224	311	432

Качество уравнения тренда оценивали с помощью средней относительной ошибки аппроксимации:

$$\bar{A} = \frac{\sum |y_t - y_i| : y_i}{n} 100\ \% = \frac{0{,}4868}{11} 100\ \% = 4{,}43\ \% \quad (2)$$

Поскольку полученная ошибка меньше 7%, то данное уравнение можно использовать в качестве тренда. Размер погрешности прогноза показателя *y* по коэффициенту несоответствия Тейла составил

$$K_T = \frac{\sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}{\sqrt{\sum y_i^2}} = \frac{0{,}568}{228{,}27491671} = 0{,}00249 \quad (3)$$

Эмпирическое корреляционное отношение по шкале Чеддока получено весьма высокое, очевидно, что изменение временного периода *t* существенно влияет на число разжижения *y*.

$$\eta = \sqrt{\frac{\sum (\bar{y} - y_t)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}} = \sqrt{\frac{11{,}854}{12{,}422}} = 0{,}977, \quad (4)$$

где $\sum (\bar{y} - y_t)^2 = 12{,}422 - 0{,}568 = 11{,}854.$

Расчетный индекс детерминации равен:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - y_t)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{0{,}568}{12{,}422} = 0{,}954, \quad (5)$$

т. е. в 95,42% случаев *t* влияет на изменение параметра *y*. Другими словами, точность подбора уравнения тренда получена высокая. Для оценки качества параметров уравнения оформили расчетную таблицу (таблица 6).

Таблица 6.

Расчетная таблица параметров уравнения

Table 6.

Calculation table of equation parameters

t	y	y(t)	$(y_i - y_{ср})^2$ $(y_i - y_{average})^2$	$(y_i - y(t))^2$	$(y_i - y(t)): y_i$
0	2,6390573296153	2,788	3,207	0,0223	0,0566
1	2,9444389791664	3,117	2,206	0,0297	0,0585
2	3,4339872044851	3.445	0,992	0,000121	0,0032
3	3,5835189384561	3,773	0,716	0,036	0,0529
4	4,2766661190161	4,102	0,0234	0,0307	0,041
5	4,6913478822291	4,430	0,0684	0,0684	0,0558
6	5,1179938124168	4,758	0,474	0,13	0,0703
7	5,3327187932654	5,086	0,815	0,0607	0,0462
8	5,4424177105218	5,415	1,025	0,000774	0,00511
9	5,609471795185	5,743	1,392	0,0178	0,0238
10	5,6559918108199	6,071	1,504	0,172	0,0734
		48,728	12,422	0,568	0,487

Точность определения оценок параметров уравнения тренда изучали путем вычисления дисперсии ошибки уравнения и стандартной ошибки уравнения.

Дисперсия ошибки уравнения получилась равной:

$$S_y^2 = \frac{\sum(y_i - y_t)^2}{n-m-1} = \frac{0,568}{9} = 0,06315 \quad (6)$$

где $m = 1$ – количество влияющих факторов в модели тренда.

Стандартная ошибка уравнения определена как:

$$S_y = \sqrt{S_y^2} = \sqrt{0,06315} = 0,2513 \quad (7)$$

$$S_b = S_y \frac{\sqrt{\sum t^2}}{n\sigma_t} = 0,2513\frac{\sqrt{385}}{11\times 3,1623} = 0,142 \quad (8)$$

$$S_a = \frac{S_y}{\sqrt{n}\sigma_t} = \frac{0,2513}{\sqrt{11}\times 3,1623} = 0,024 \quad (9)$$

Проверку гипотез относительно коэффициентов линеаризованного уравнения тренда осуществляли по оценке статистической значимости его коэффициентов и коэффициента детерминации. Статистическую значимость коэффициентов оценивали при помощи *t*-статистики (критерий Стьюдента), для чего по таблице Стьюдента находили $T_{табл}$. Для изучаемого тренда $T_{табл}$ $(n - m - 1; 0,95) = (9; 0,95) = 2,26$.

$$t_a = \frac{a}{S_a} = \frac{2,788}{0,024} = 116,17 > 2,26 \quad (10)$$

Тем самым подтвердили статистическую значимость коэффициента *a*, поэтому тренд у временного ряда существует.

$$t_b = \frac{b}{S_b} = \frac{0,328}{0,142} = 2,31 > 2,26 \quad (11)$$

Статистическая значимость коэффициента *b* также подтверждена.

Доверительные интервалы для коэффициентов уравнения тренда с надежностью 95% определены следующие:

$$\left(b - t_{набл} \times S_b; b + t_{набл} \times S_b\right) \quad (12)$$

$$(0,328 – 2,26 • 0,024; 0,328 + 2,26 • 0,024) = (0,274; 0,382);$$

$$\left(a - t_{набл} \times S_a; a + t_{набл} \times S_a\right) \quad (13)$$

$$(2,788 – 2,26 • 0,142; 2,788 + 2,26 • 0,142) = (2,467; 3,109).$$

Определение коэффициента детерминации осуществляли при помощи *F*-статистики и критерия Фишера.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - y_t)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{0,5684}{12,4222} = 0,9542 \quad (14)$$

$$F = \frac{R^2}{1-R^2}\frac{n-m-1}{m} = \frac{0,9542}{1-0,9542}\frac{11-1-1}{1} = 187,7001 \quad (15)$$

По табличным данным находили критическое значение критерия Фишера $F_{кр}(1; 9; 0,05) = 5,12$, где *m* – количество факторов в уравнении тренда ($m = 1$).

Поскольку $F > F_{кр}$, то коэффициент детерминации и уравнение тренда являются статистически значимыми. В исследуемой ситуации 95,42% от общей вариабельности *y* объясняется изменением временного параметра, сами параметры модели статистически значимы, и полученные оценки уравнения регрессии позволяют использовать его для прогноза (таблица 7).

Таблица 7.

Экспоненциальный тренд для прогноза уровня числа разжижения

Table 7.

Exponential trend for predicting the level of the liquefaction number

t	*y*	*y(t)*	$\|y - y(t)\|$
0	2,6390573296153	2,788	0,149
1	2,9444389791664	3,117	0,172
2	3,4339872044851	3,445	0,011
3	3,5835189384561	3,773	0,19
4	4,2766661190161	4,102	0,175
5	4,6913478822291	4,43	0,262
6	5,1179938124168	4,758	0,36
7	5,3327187932654	5,086	0,246
8	5,4424177105218	5,415	0,0278
9	5,609471795185	5,743	0,133
10	5,6559918108199	6,071	0,415

Предпосылкой построения качественной регрессионной модели по МНК является независимость значений случайных отклонений от значений отклонений во всех других наблюдениях, что гарантирует отсутствие коррелированности между любыми отклонениями и, в частности, между соседними отклонениями. В этом случае предусматривается проверка на наличие автокорреляции остатков.

Автокорреляция (или последовательная корреляция) определяется как корреляция между наблюдаемыми показателями, упорядоченными во времени, что применимо для показателей временных рядов. Последствие влияния автокорреляции на точность предсказания модели схоже с последствиями проявления гетероскедастичности, т. е. появления неоднородности наблюдений, выражающейся в неодинаковой (непостоянной) дисперсии случайной ошибки полученной регрессионной модели. Отсюда,

выводы по точности модели только по *t*- и *F*-статистикам, определяющих значимость коэффициента регрессии и коэффициента детерминации, могут быть неверными.

Для определения степени автокорреляции вычисляли коэффициент автокорреляции и проверяли его значимость при помощи критерия стандартной ошибки.

$$r_1 \approx \frac{\sum \overline{\varepsilon_i}\,\overline{\varepsilon_{i-1}}}{\sum \varepsilon_i^2} = \frac{0,284}{0,568} = 0,499 \qquad (16)$$

$$S_{eY} = \frac{1}{\sqrt{n}} = \frac{1}{\sqrt{11}} = 0,302 \qquad (17)$$

Поскольку коэффициент автокорреляции первого порядка r_1 находится в интервале: $-2,26 \cdot 0,302 < r_1 < 2,26 \cdot 0,302$, то можно считать, что данные не показывают наличие автокорреляции первого порядка.

При статистическом анализе уравнения регрессии на начальном этапе проверили выполнимость условия статистической независимости отклонений между собой при некоррелированности соседних величин e_i (таблица 8).

Таблица 8.

Статистический анализ обнаружения автокорреляций

Table 8.

Statistical analysis of autocorrelation detection

y	y(x)	$e_i = y - y(x)$	e^2	$(e_i - e_{i-1})^2$
2,639	2,788	-0,149	0,0223	
2,944	3,117	-0,172	0,0297	0,000524
3,434	3,445	-0,011	0,000121	0,026
3,584	3,773	-0,19	0,036	0,0319
4,277	4,102	0,175	0,0307	0,133
4,691	4,43	0,262	0,0684	0,00747
5,118	4,758	0,36	0,13	0,00968
5,333	5,086	0,246	0,0607	0,0129
5,442	5,415	0,0278	0,000774	0,0478
5,609	5,743	-0,133	0,0178	0,026
5,656	6,071	-0,415	0,172	0,0794
			0,568	0,375

Для анализа коррелированности отклонений использовали статистику Дарбина–Уотсона

$$DW = \frac{\sum \left(e_i - e_{i-1}\right)^2}{\sum e_i^2} = \frac{0,37}{0,57} = 0,66 \qquad (18)$$

Критические значения d_1 и d_2 определяли на основе справочной таблицы для требуемого уровня значимости α = 0,01 и 0,05, числа наблюдений n = 11 и количества объясняющих переменных m = 1.

Автокорреляция отсутствует, когда гипотеза H_0 об отсутствии автокорреляции не отвергается (принимается) при выполнении следующего условия:

$$d_1 < DW \; u \; d_2 < DW < 4 - d_2 \qquad (19)$$

Вопрос об отвержении или принятии гипотезы H_0 остается открытым (область неопределенности критерия):

$$d_1 \le DW \le d_2 \; или \; 4 - d_2 \le DW \le 4 - d_1 \qquad (20)$$

Принимается альтернативная гипотеза о положительной автокорреляции:

$$0 < DW < d_1 \qquad (21)$$

Принимается альтернативная гипотеза об отрицательной автокорреляции:

$$4 - d_1 < DW < 4 \qquad (22)$$

В данном случае при уровне значимости α = 0,01 вопрос об отвержении или принятии гипотезы H_0 остается открытым (область неопределенности критерия):

$$0,633 \le 0,66 \le 1,010.$$

При уровне значимости α = 0,05 принимаем альтернативную гипотезу о положительной автокорреляции:

$$0 < 0,66 < 1,08.$$

Далее производили оценку адекватности и точности трендовой модели путем проверки нормальности распределения остаточной компоненты. Методом проверки нормальности закона распределения случайной величины послужил *RS*-критерий, численно равный отношению размаха вариации случайной величины *R* к стандартному отклонению *S*:

$$RS = \frac{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}}{S_\varepsilon} \qquad (23)$$

где $\varepsilon_{max} = 0,36$ – максимальное значение остатков; $\varepsilon_{min} = -0,415$ – минимальный уровень ряда остатков; S_ε – среднеквадратическое отклонение.

Несмещенная оценка среднеквадратического отклонения получилась равной:

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum e^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,568}{11-1}} = 0,238 \qquad (24)$$

$$RS = \frac{0,36 - \left(-0,415\right)}{0,238} = 3,251.$$

Расчетное значение *RS*-критерия включено в интервал (2,7–3,7), следовательно, выполняется свойство нормального распределения, т. е. изучаемая трендовая модель адекватна по нормальности распределения остаточной компоненты.

Проверку наличия гетероскедастичности остатков производили при помощи тестов Спирмена и Голдфелда–Квандта.

При использовании теста ранговой корреляции Спирмена предполагается, что величина отклонения e_i будет либо повышаться, либо уменьшаться по мере увеличения значений факторной переменной. В таком случае, абсолютные значения отклонений e_i и значения факторного признака x_i могут быть взаимосвязанными, т. е. коррелировать друг с другом.

Для оценки силы связи рассчитывали коэффициент ранговой корреляции Спирмена, для чего вначале присваивали ранги признаку $|e_i|$ (таблица 9) и фактору x. Выполненная матрица рангов приведена в таблице 10.

Таблица 9.

Ранги признака $|e_i|$

Table 9.

Attribute Ranks $|e_i|$

x	$\|e_i\|$	Ранг x, d_x Rank x, d_x	Ранг $\|e_i\|$, d_y Rank $\|e_i\|$, d_y
0	0,149	1	4
10	0,172	2	5
20	0,011	3	1
30	0,19	4	7
40	0,175	5	6
50	0,262	6	9
60	0,360	7	10
70	0,246	8	8
80	0,0278	9	2
90	0,133	10	3
100	0,415	11	11

Результат проверки правильности составления матрицы на основе исчисления контрольной суммы составил

$$\sum x_{ij} = \frac{(1+n)n}{2} = \frac{(1+11)11}{2} = 66 \qquad (25)$$

Суммы по столбцам матрицы равны между собой и контрольной сумме, отсюда, матрица составлена правильно.

По результатам расчета вычислили коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

$$p = 1 - 6\frac{\sum d^2}{n^3 - n} = 1 - 6\frac{148}{11^3 - 11} = 0,33 \qquad (26)$$

Связь между признаком $|e_i|$ и фактором x следует признать слабой и прямой.

Таблица 10.

Матрица рангов

Table 10.

Rank matrix

Ранг x, d_x | Rank x, d_x	Ранг $\|e_i\|$, d_y | Rank $\|e_i\|$, d_y	$(d_x - d_y)^2$
1	4	9
2	5	9
3	1	4
4	7	9
5	6	1
6	9	9
7	10	9
8	8	0
9	2	49
10	3	49
11	11	0
66	66	148

Для проверки нулевой гипотезы о равенстве нулю генерального коэффициента ранговой корреляции Спирмена при конкурирующей гипотезе H_i $p \neq 0$ при уровне значимости α вычисляли критическую точку:

$$T_{кр} = t(\alpha, \kappa)\sqrt{\frac{1-p^2}{n-2}}, \qquad (27)$$

где n – объем выборки; p – выборочный коэффициент ранговой корреляции Спирмена: $t(\alpha, \kappa)$ – критическая точка двусторонней критической области, которую находят по таблице критических точек распределения Стьюдента, по уровню значимости α и числу степеней свободы $k = n - 2$.

В справочной таблице Стьюдента находили фактическое значение критерия $t(\alpha/2, k)$ = = (0,05/2; 9) = 2,685. Поскольку выполняется условие $T_{кр} > p$, то принимается гипотеза о равенстве нулю коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

$$T_{кр} = 2,685\sqrt{\frac{1-0,33^2}{11-2}} = 0,85.$$

Другими словами, коэффициент ранговой корреляции статистически не значим, поэтому ранговая корреляционная связь между оценками по двум тестам тоже незначимая.

Результативная проверка гипотезы H_0 показала отсутствие гетероскедастичности, поскольку 2,685 > 0,85.

Тест Голдфелда–Квандта осуществляет процедуру тестирования гетероскедастичности случайных ошибок регрессионной модели. В рассматриваемом случае предполагается, что стандартное отклонение $\sigma_i = \sigma(\varepsilon_i)$ пропорционально значению x_i переменной x в этом наблюдении, т. е.

$$\sigma_i^2 = \sigma^2 x_i^2, i = 1,2,\ldots,n \qquad (28)$$

Процедура проведения теста Голдфелда-Квандта осуществлялась в следующем порядке:

1) все n наблюдений упорядочивались по величине x;

2) вся упорядоченная выборка после этого разбивалась на три подвыборки размерностей k, $(n - 2k)$, k;

3) оценивались отдельные регрессии для первой подвыборки (k первых наблюдений) и для третьей подвыборки (k последних наблюдений);

4) для сравнения соответствующих дисперсий строилась соответствующая F-статистика:

$$F = S_3 \div S_1 \qquad (29)$$

Построенная F-статистика имеет распределение Фишера с числом степеней свободы

$$v_1 = v_2 = \frac{(n - c - 2 \times m)}{2} \qquad (30)$$

5) если выполняется условие $F > F_{кр}$, то гипотеза об отсутствии гетероскедастичности отклоняется.

При предположении об обратной пропорциональности между σ_i и значениями объясняющей переменной статистика Фишера для расчета имеет вид:

$$F = S_1 \div S_3 \quad (31)$$

Для изучаемого тренда упорядочивали все значения по величине x, затем находили размер подвыборки $k = (11 - 2) / 2 \approx 5$, где $c = 4n / 15 = 4 \cdot 11 / 15 \approx 2$. Оценка регрессии для первой подвыборки осуществляли путем установления параметров уравнения методом наименьших квадратов (1).

Для изучаемых данных система уравнений приобретает вид:

$$\begin{cases} 5a_0 + 10a_1 = 6,01; \\ 10a_0 + 30a_1 = 13,19. \end{cases}$$

Из первого уравнения системы выражали a_0 и подставляли во второе уравнение, отсюда получается $a_0 = 0,12$, $a_1 = 0,97$, $S_1 = 0,0415$. Решение регрессии для первой подвыборки приведено в таблице 11.

Таблица 11.

Решение регрессии для первой подвыборки

Table 11.

Regression solution for the first subsample

x	ln(y)	x^2	$\ln(y)^2$	x • ln(y)	y(x)	$(y-y(x))^2$
0	0,97	0	0,942	0	2,639	0
1	1,08	1	1,166	1,08	2,964	0,000381
2	1,234	4	1,522	2,467	3,329	0,011
3	1,276	9	1,629	3,829	3,739	0,0243
4	1,453	16	2,112	5,813	4,2	0,00587
10	6,014	30	7,371	13,189	16,871	0,0415

Оценку регрессии для третьей подвыборки осуществляли при нахождении параметров уравнения методом наименьших квадратов (1).

Для изучаемых данных система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} 5a_0 + 40a_1 = 8,46; \\ 40a_0 + 330a_1 = 67,91. \end{cases}$$

Соответственно, как и для предыдущей подвыборки, из первого уравнения выражали a_0 и подставляли во второе уравнение, отсюда получали $a_0 = 0,0251$, $a_1 = 1,49$, $S_3 = 0,00824$. Решение регрессии для третьей подвыборки представлено в таблице 12.

Таблица 12.

Решение регрессии для третьей подвыборки

Table 12.

Regression solution for the third subsample

x	ln(y)	x^2	$\ln(y)^2$	x • ln(y)	y(x)	$(y - y(x))^2$
6	1,633	36	2,666	9,8	5,163	0,00202
7	1,674	49	2,802	1,17	5,294	0,00151
8	1,694	64	2,870	13,55	5,428	0,000203
9	1,724	81	2,974	15,52	5,566	0,0019
10	1,733	100	3,002	17,33	5,707	0,00261
40	8,458	330	14,314	67,92	27,158	0,00824

Число степеней свободы равно: $v_1 = v_2 = (n - c - 2m) / 2 = (11 - 2 - 2 \cdot 1) / 2 = 3,5$, $F_{кр}(3,5; 3,5) = 7,71$, далее построили обратную F-статистику:

$$F = 0,0415 / 0,00824 = 5,04.$$

Расчеты показали, что $F < F_{кр} = 7,71$, отсюда гипотеза об отсутствии гетероскедастичности принимается.

Обсуждение

Полученные в работе опытные данные (таблица 2) совпали с положениями теории регулирования реологических свойств крахмальных систем [18–20] при составлении смеси из нативного и амилопектинового крахмалов. В опытной кукурузной крахмальной смеси увеличение доли амилопектинового крахмала приводило при прогреве набухающей водно-крахмальной суспензии к повышению максимальной вязкости образующегося геля. В процессе дальнейшей клейстеризации кукурузной крахмальной смеси с повышением доли амилопектинового крахмала сила геля уменьшалась за счет сохранения подвижности молекул воды при переходе в системе золь-гель, что способствовало повышению числа разжижения. Учитывая физическую

природу процесса плавления крахмальных гранул и его характеристики, отраженные в источниках [21, 22], в большей степени поставленной задаче изучения процесса разжижения крахмального геля соответствовало экспоненциальное уравнение тренда: $y = a \cdot e^{bt}$, являющееся частным случаем показательного тренда, приводимое при расчетах уравнения по МНК к виду: $\ln y = \ln a + bt$.

Заключение

Процедура аналитического выравнивания уравнения тренда временного ряда числа разжижения кукурузной крахмальной смеси позволила произвести статистическое описание развития динамического процесса клейстеризации крахмала во временном промежутке. Опытные данные не содержали аномальных значений и служили основой для получения регрессионного уравнения тренда временного ряда с экспоненциальной зависимостью с ошибкой аппроксимации менее 5%.

Проверка гипотез относительно коэффициентов линеаризованного уравнения тренда показала статистическую значимость гипотезы в пользу существования временного ряда. Всего 95,42% от общей вариабельности числа разжижения объясняется изменением временного параметра, при этом полученные оценки уравнения регрессии позволяют использовать его для прогноза.

При уровне значимости $\alpha = 0{,}05$ принимается альтернативная гипотеза о положительной автокорреляции, при этом автокорреляция остатков первого порядка отсутствует. Проверка нормальности распределения остаточной компоненты по *RS*-критерию показала адекватность трендовой модели, гипотеза об отсутствии гетероскедастичности по тестам Спирмена и Голдфелда-Квандта принимается.

Благодарности

Исследования выполнялись с использованием оборудования ЦКП «Исследовательский центр пищевых и химических технологий» КубГТУ (СКР_3111), развитие которого поддерживается Министерством науки и высшего образования РФ (Соглашение № 075–15–2021–679).

Литература

1 Aue A. Time series: a first course with bootstrap starter. // Journal of Time Series Analysis. 2022. V. 43. P. 341–342. doi: 10.1111/jtsa.12606

2 Кизбикенов К.О. Прогнозирование и временные ряды. Барнаул: АлтГПУ, 2017.

3 Трофимец А.А., Трофимец Е.Н. Аналитическое выравнивание временных рядов: теоретические аспекты // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. № 11–3 (79). С. 262–267.

4 Низамитдинов А.И., Лашена Т.В. Моделирование временных рядов с помощью метода наименьших квадратов // Вестник ПИТТУ имени академика М.С. Осими. 2019. № 4(13). С. 17–27.

5 Трофимец А.А., Трофимец Е.Н. Аналитическое выравнивание временных рядов: прикладные аспекты // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. № 11–3 (79). С. 256–261.

6 Веревкин А.П., Муртазин Т.М. Моделирование производственных процессов на основе когнитивной информации и временных рядов // Системная инженерия и информационные технологии. 2022. Т. 4. № 1(8). С. 12–19.

7 Fu Z. – Q., Wang L. – J., Zou H., Li D. et al. Studies on the starch–water interactions between partially gelatinized corn starch and water during gelatinization // Carbohydrate Polymers, 2014. V. 101. P. 727–732. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.09.098

8 Xing J. – J., Li D., L. – J. Wang, Adhikari B. Relationship between biphasic endotherms and multi-stage gelatinization of corn starch in excess water // LWT – Food Science and Technology, 2017. V. 81. P. 335–342. doi:10.1016/j.lwt.2017.04.012

9 Ai Y., Jane J. – I. Gelatinization and rheological properties of starch // Starch – Stärke. 2014. V. 67. №. 3–4. P. 213–224. doi:10.1002/star.201400201

10 Wang S., Copelan L. Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review // Food & Function. 2013. V. 4. P. 1564–1580.

11 Yang W.H., Rao M.A. Transient natural convection heat transfer to starch dispersion in a cylindrical container: numerical solution and experiment // Journal of Food Engineering, 1998. V. 36. № 4. P. 395–415. doi:10.1016/S0260–8774(98)00069–7

12 Xing J. – J., Li D., Wang L. – J., Adhikari B. Temperature thresholds and time-temperature dependence of gelatinization for heat-moisture treated corn starch // Journal of Food Engineering. 2018. V. 217. P. 43–49. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.08.019

13 Pérez-Santos D. – M., Velazquez G., Canonico-Franco M., Morales-Sanchez E. et al. Modeling the limited degree of starch gelatinization // Starch – Stärke. 2016. V. 68. P. 727–733. doi:10.1002/star.201500220

14 Shang M., Chen H., Wang Yu., Li Q. Effect of single and dual heat–moisture treatments on the gelatinization properties and crystalline structure of normal corn starch // Starch – Stärke. 2016. V. 68. №. 11–12. P. 1196–1202. doi:10.1002/star.201500350

15 Jin N., Kong D., Wang H. Effects of temperature and time on gelatinization of corn starch employing gradient isothermal heating program of rapid visco analyzer // Journal of Food Process Engineering. 2019. V. 42. №. 7. P. e13264. doi:10.1111/jfpe.13264

16 ГОСТ 32159–2013. Крахмал кукурузный. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200104210

17 ГОСТ ISO 3093–2016. Зерно и продукты его переработки. Определение числа падения методом Хагберга-Пертена. М.: Стандартинформ, 2019. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200140380

18 He Y., Lin Y. – L., Chen C., Tsai M. – H. et al. Impacts of Starch and the Interactions Between Starch and Other Macromolecules on Wheat Falling Number // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2019. V. 18. P. 641–654. doi:10.1111/1541–4337.12430

19 Yousefi A., Razavi S.M. Dynamic rheological properties of wheat starch gels as affected by chemical modification and concentration // Starch – Stärke. 2015. V. 67. P. 567–576. doi:10.1002/star.201500005

20 Коптелова Е.К., Кузьмина Л.Г., Лукин Н.Д. Влияние влаготермической и экструзионной обработки кукурузного крахмала на его резистентность // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 1. С. 11–14.

21 Genkina N.K., Kozlov S.S., Martirosyan V.V., Kiseleva V.I. Thermal behavior of maize starches with different amylose/amylopectin ratio studied by DSC analysis // Starch – Stärke. 2014. V. 66. P. 700–706. doi:10.1002/star.201300220

22 Katyal M., Singh N., Chopra N., Kaur A. Hard, medium-hard and extraordinarily soft wheat varieties: Comparison and relationship between various starch properties // International Journal of Biological Macromolecules. 2019. V. 123. P. 1143–1149. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.11.192

References

1 Aue A. Time series: a first course with bootstrap starter. Journal of Time Series Analysis. 2022. vol. 43. pp. 341–342. doi:10.1111/jtsa.12606

2 Kizbikenov K.O. Forecasting and time series. Barnaul, AltGPU, 2017. (in Russian).

3 Trofimets A.A., Trofimets E.N. Analytical alignment of time series: theoretical aspects. Actual scientific research in the modern world. 2021. no. 11–3 (79). pp. 262–267. (in Russian).

4 Nizamutdinov A.I., Lashina T.V. Modeling of time series using the least squares method. Bulletin of the PITTU named after academician M.S. Oshimi. 2019. no. 4(13). pp. 17–27. (in Russian).

5 Trofimets A.A., Trofimets E.N. Analytical alignment of time series: applied aspects. Actual scientific research in the modern world. 2021. no. 11–3 (79). pp. 256–261 (in Russian).

6 Verevkin A.P., Murtazin T.M. Modeling of production processes based on cognitive information and time series. System engineering and information technologies. 2022. vol. 4. no. 1(8). pp. 12–19. (in Russian).

7 Fu Z. – Q., Wang L. – J., Zou H., Li D. et al. Studies on the starch–water interactions between partially gelatinized corn starch and water during gelatinization. Carbohydrate Polymers. 2014. vol. 101. pp. 727–732. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.09.098

8 Xing J. – J., Li D., L. – J. Wang, Adhikari B. Relationship between biphasic endotherms and multi-stage gelatinization of corn starch in excess water. LWT – Food Science and Technology. 2017. vol. 81. pp. 335–342. doi:10.1016/j.lwt.2017.04.012

9 Ai Y., Jane J. – I. Gelatinization and rheological properties of starch. Starch – Stärke, 2014. vol. 67. no. 3–4. pp. 213–224. doi:10.1002/star.201400201

10 Wang S., Copelan L. Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review. Food & Function. 2013. vol. 4. pp. 1564–1580.

11 Yang W.H., Rao M.A. Transient natural convection heat transfer to starch dispersion in a cylindrical container: numerical solution and experiment. Journal of Food Engineering. 1998. vol. 36. no. 4. pp. 395–415. doi:10.1016/S0260–8774(98)00069–7

12 Xing J. – J., Li D., Wang L. – J., Adhikari B. Temperature thresholds and time-temperature dependence of gelatinization for heat-moisture treated corn starch. Journal of Food Engineering. 2018. vol. 217. pp. 43–49. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.08.019

13 Pérez-Santos D. – M., Velazquez G., Canonico-Franco M., Morales-Sanchez E. et al. Modeling the limited degree of starch gelatinization. Starch – Stärke. 2016. vol. 68. pp. 727–733. doi:10.1002/star.201500220.

14 Shang M., Chen H., Wang Yu., Li Q. Effect of single and dual heat–moisture treatments on the gelatinization properties and crystalline structure of normal corn starch. Starch – Stärke. 2016. vol. 68. no. 11–12. pp. 1196–1202. doi: 10.1002/star.201500350

15 Jin N., Kong D., Wang H. Effects of temperature and time on gelatinization of corn starch employing gradient isothermal heating program of rapid visco analyzer. Journal of Food Process Engineering. 2019. vol. 42. no. 7. pp. e13264. doi: 10.1111/jfpe.13264

16 State Standard 32159–2013. Maize starch. General specifications. Moscow, Standartinform Publ., 2019. Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200104210 (in Russian).

17 State Standard ISO 3093–2016. Grain crops and products of their processing. Determination of the falling number according to Hagberg-Perten. Moscow, Standartinform Publ., 2019. Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200140380 (in Russian).

18 He Y., Lin Y. – L., Chen C., Tsai M. – H. et al. Impacts of Starch and the Interactions Between Starch and Other Macromolecules on Wheat Falling Number. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2019. vol. 18. pp. 641–654. doi: 10.1111/1541–4337.12430

19 Yousefi A., Razavi S.M. Dynamic rheological properties of wheat starch gels as affected by chemical modification and concentration. Starch – Stärke. 2015. vol. 67. pp. 567–576. doi:10.1002/star.201500005

20 Koptelova E.K., Kuzmina L.G., Lukin N.D. Influence of moisture-thermal and extrusion processing of corn starch on its resistance. Storage and processing of agricultural raw materials. 2018. no. 1. pp. 11–14. (in Russian).

21 Genkina N.K., Kozlov S.S., Martirosyan V.V., Kiseleva V.I. Thermal behavior of maize starches with different amylose/amylopectin ratio studied by DSC analysis. Starch – Stärke. 2014. vol. 66. pp. 700–706. doi:10.1002/star.201300220

22 Katyal M., Singh N., Chopra N., Kaur A. Hard, medium-hard and extraordinarily soft wheat varieties: Comparison and relationship between various starch properties. International Journal of Biological Macromolecules. 2019. vol. 123. pp. 1143–1149. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.11.192

Сведения об авторах

Наталья А. Шмалько к.т.н., доцент, кафедра пищевой инженерии, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, kafedra-tith@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-8939-0265

Игорь А. Никитин д.т.н., доцент, заведующий кафедрой биотехнологий продуктов питания из растительного и животного сырья, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, nikito.igor@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-8988-5911

Дарья А. Велина младший научный сотрудник, кафедра биотехнологий продуктов питания из растительного и животного сырья, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, kattim67@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-2398-3375

Марс Ф. Хайруллин к.т.н., ведущий научный сотрудник, отдел комплексных научных исследований, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, 89049755219@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-1697-7281

Information about authors

Natalya A. Shmal'ko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food engineering department, Kuban State Technological University, Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russia, kafedra-tith@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-8939-0265

Igor A. Nikitin Dr. Sci. (Chem.), associate professor, head of department of biotechnology of food products from plant and animal raw materials, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, nikito.igor@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-8988-5911

Daria A. Velina junior researcher, biotechnology of food products from plant and animal raw materials department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, kattim67@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-2398-3375

Mars F. Khayrullin Cand. Sci. (Engin.), leading researcher, integrated research department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, 89049755219@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-1697-7281

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 09/03/2022	**После редакции** 13/04/2022	**Принята в печать** 12/05/2022

Received 09/03/2022	**Accepted in revised** 13/04/2022	**Accepted** 12/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-191-199 Оригинальная статья/Research article
УДК 640 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Разработка композиции растительного сырья функционального назначения для профилактики заболеваний, связанных с дефицитом калия

Саида К. Куижева [1] rector@mkgtu.ru
Анзаур А. Схаляхов [1] arama75@mail.ru
Хазрет Р. Сиюхов [1] siukhov@mail.ru
Зарета Т. Тазова [1]
Людмила В. Лунина [1] lunina1000@mail.ru

1 Майкопский государственный технологический университет, ул. Первомайская, д.191, г. Майкоп 385000, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по разработке композиции растительного сырья функционального назначения, предназначенной для обогащения различных групп пищевых продуктов с целью профилактики заболеваний, связанных с дефицитом калия в организме человека. Дефицит калия или гипокалиемия – это одна из самых частых форм электролитного дисбаланса, сопровождающаяся тяжелыми органными и системными нарушениями. Дефицит калия возникает по разным причинам, но в последнее время, по данным многочисленных источников, отмечается высокая частота развития гипокалиемии у пациентов при коронавирусной инфекции. Улучшения обеспеченности этим макроэлементом можно достичь прежде всего повышением его поступления в организм за счет специализированных пищевых продуктов. В качестве природного источника калия в продуктах функционального назначения целесообразно использовать композиции дикорастущего растительного сырья, в химическом составе которого содержится значительное количество калия. Экспериментально нами установлены такие виды растительного сырья: душица обыкновенная (лат. Oríganum vulgáre, трава), черная смородина (лат.Ríbes nígrum, листья), ряска малая (лат.Lémna mínor, листья), черника обыкновенная (лат. Vaccinium myrtillus L., листья), тимьян обыкновенный (лат. Thimus serpyllum L, трава). Проектирование состава фитокомпозиции осуществляли методом планирования экспериментов для составления смесей. С помощью процедуры Планы для поверхностей и смесей с ограничениями модуля Планирование экспериментов пакета STATISTICA 10 был сгенерирован план экспериментов, проведены исследования по определению количественного содержания калия в опытных образцах, осуществлена математическая обработка результатов, получен научно обоснованный оптимальный компонентный состав композиции растительного сырья, в которой содержание калия составляет - 1072,8 мг/100 г. (33,53% от уровня рекомендуемого суточного потребления), что соответствует требованиям ГОСТ Р 52349-2005 и подтверждает её функциональную направленность.

Ключевые слова: гипокалиемия, растительное сырье, душица обыкновенная, черная смородина, черника обыкновенная, тимьян обыкновенный, калий, план эксперимента, дисперсионный анализ.

Development of a composition of functional plant raw materials for the prevention of diseases associated with potassium deficiency

Saida K. Kuizheva [1] rector@mkgtu.ru
Anzaur A. Shalyakhov [1] arama75@mail.ru
Khazret R. Siyukhov [1] siukhov@mail.ru
Zareta T. Tazova [1]
Lyudmila V. Lunina [1] lunina1000@mail.ru

1 Maykop State Technological University, 191 Pervomaiskaya St., Maykop 385000, Russia

Abstract. The article presents the results of research on the development of a composition of functional plant raw materials designed to enrich various groups of foodstuffs for the prevention of diseases associated with potassium deficiency in the human body. Potassium deficiency or hypokalemia is one of the most frequent forms of electrolyte imbalance accompanied by severe organ and system disorders. Potassium deficiency occurs for a variety of reasons, but recently, according to numerous sources, there is a high frequency of hypokalemia in patients with coronavirus infection. Improvement of the availability of this macronutrient can be achieved primarily by increasing its intake into the body through specialized food products. As a natural source of potassium in the products of functional purpose it is advisable to use compositions of wild plant raw materials, the chemical composition of which contains a significant amount of potassium. Experimentally we have established such types of plant raw materials: common oregano (lat. Oríganum vulgáre, grass), black currant (lat. Ríbes nígrum, leaves), small bramble (lat. Lémna mínor, leaves), common blueberry (lat. Vaccinium myrtillus L, leaves), common thyme (lat. Thimus serpyllum L, grass). Designing the composition of the phytocomposition was carried out by the method of planning experiments for the composition of mixtures. By using the procedure Plan for surfaces and mixtures with the constraints of the module Planning experiments package STATISTICA 10 was generated plan of experiments, studies were conducted to determine the quantitative content of potassium in the experimental samples, carried out mathematical processing of the results obtained scientifically validated optimal component composition of the composition of plant raw materials, in which the potassium content is - 1072.8 mg/100 g (33.53% of the recommended daily intake), which meets the requirements of GOST P 52349-2005 and confirmed

Keywords: hypokalemia, plant material, common oregano, black currant, common blueberry, common thyme, potassium, experimental design, analysis of variance.

Введение

Одним из главных приоритетов Государственной политики Российской Федерации в области питания является сохранение и укрепление здоровья населения, профилактика заболеваний, вызванных не только неадекватным и несбалансированным питанием, но и различными стрессовыми ситуациями.

Для цитирования
Куижева С.К., Схаляхов А.А., Сиюхов Х.Р., Тазова З.Т., Лунина Л.В. Разработка композиции растительного сырья функционального назначения для профилактики заболеваний, связанных с дефицитом калия // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 191–199. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-191-199

For citation
Kuizheva S.K., Shalyakhov A.A., Siyukhov Kh.R., Tazova Z.T., Lunina L.V. Development of a composition of functional plant raw materials for the prevention of diseases associated with potassium deficiency. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 191–199. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-191-199

© 2022, Куижева С.К. и др. / Kuizheva S.K. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

В марте 2020 года ВОЗ объявила о том, что распространение в мире заболевания, вызванного SARS-CoV-2, достигло стадии пандемии. После этого специалисты в области питания во всех странах активно включились в исследования, направленные на изучение взаимосвязи рациона питания, развития COVID-19 и профилактики постковидного синдрома. Полученные данные свидетельствуют о том, что одним из важнейших факторов, влияющим на иммунитет в период пандемии COVID-19, является обеспеченность рациона питания различными макро- и микронутриентами: витаминами, минеральными веществами и т. д. [1, 2].

Среди спектра минеральных веществ, принимающих участие в поддержании гомеостаза и адаптации организма как в норме, так и при различных патологических состояниях, особое место занимает калий.

Калий – внутриклеточный микроэлемент, необходимый для нормального функционирования клеток, поддержания кислотно-щелочного и электролитного баланса, общего объема жидкости, обеспечения нервно-мышечной возбудимости и проводимости [3, 4].

По данным [5–7] новая коронавирусная инфекция COVID-19 в 5–20% случаев протекает с развитием двусторонней пневмонии, при этом у госпитализированных пациентов в качестве частого электролитного нарушения выявляется гипокалиемия, распространенность которой варьируется в диапазоне 20–24,31% [4, 8, 9].

Поэтому в периоде профилактики и реабилитации после COVID-19, для снижения дефицита калия, может быть рекомендовано потребление обогащенных продуктов с повышенным содержанием этого макроэлемента, что положительно скажется на поддержании иммунитета, повышении функциональных резервов организма, уменьшении риска инфицирования [7, 8], продолжительности и тяжести заболевания.

В качестве обогащающей добавки считаем необходимым использовать композиции из некоторых видов дикорастущего сырья Республики Адыгея, которые содержат значительные концентрации этого макроэлемента, чем и обусловлена актуальность наших исследований.

Цель работы – разработка научно обоснованного компонентного состава композиции растительного сырья для профилактики заболеваний, связанных с нарушением обмена калия, повышения адаптационного потенциала организма человека и профилактики развития постковидного синдрома.

Одной из важнейших задач при разработке композиции являлся выбор растительного сырья и моделирование оптимального состава смеси, в которой содержание калия было бы максимальным.

По данным литературных источников [12–16] и нашим данным [17] калий содержится в таких растениях, как душица обыкновенная (трава), смородина черная (листья), ряска малая (листья), черника обыкновенная (листья), тимьян обыкновенный (трава) в достаточном количестве.

Материалы и методы

Проектирование состава композиции растительного сырья осуществляли с использованием процедуры Планы для поверхностей и смесей с ограничениями модуля Планирование экспериментов пакета STATISTICA 10 [18, 19].

Массовую концентрацию калия в опытных композициях определяли по [20] с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель 105 «М».

Работа выполнена на базе научно-исследовательской лаборатории ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет».

Результаты и обсуждения

При проектировании композиции были заданы возможные диапазоны компонентного состава в процентах. Основным критерием, обуславливающим функциональную направленность композиции принят показатель – содержание (концентрация) калия.

В таблице 1 приведена установленная рецептура композиции, полученная на основе анализа данных экспериментальных исследований химического состава отдельных компонентов смеси [17], заданы возможные диапазоны долей всех компонент.

По установленной рецептуре суммарное содержание калия – 1050 мг / 100г.

Таблица 1.

Установленная рецептура композиции растительного сырья функционального назначения

Table 1.

The established formulation of the composition of plant raw materials functional purpose

Компонентный состав | Composition	Рецептура, % | Recipe, %
Душица обыкновенная (трава) | Oregano (herb)	10
Смородина черная (листья) | Black currant (leaves)	20
Ряска малая (листья) | Small bramble (leaves)	10
Черника обыкновенная (листья) | Common bilberry (leaves)	30
Тимьян обыкновенный (трава) | Thyme (grass)	30

План экспериментов, построенный при помощи процедуры Планы для поверхностей и смесей с ограничениями модуля Планирование экспериментов [18] при числе факторов (компонент) равном 5 и ограничений (таблица 1), а также содержание калия в экспериментальных композициях (по данным наших исследований), приведены в таблице 2.

Результаты дисперсионного анализа проектируемой композиции представлены в таблице 3.

Таблица 2.

План экспериментов

Table 2.

Plan of experiments

Вершина (V) Центроид (C) Vertex (V) Centroid (C)	5 факт. смесь с ограничениями. N заданных пользователем ограничений: 0. N начальных ограничений для смеси: 5 fact. mixture with constraints. N user-defined constraints: 0. N initial constraints for the mixture:					
	Душица обыкновенная	Смородина черная	Ряска малая	Черника обыкновенная	Тимьян обыкновенный	Калий
	Oregano	Common	Blackcurrant	Small Blueberry	Common Thyme	Common Potassium
1 V	30,00	10,00	10,00	20,00	30,00	1017,17
2 V	**10,00**	**30,00**	**10,00**	**20,00**	**30,00**	**758,23**
3 V	30,00	30,00	10,00	20,00	10,00	894,62
4 V	10,00	10,00	30,00	20,00	30,00	869,81
5 V	30,00	10,00	30,00	20,00	10,00	705,45
6 V	10,00	30,00	30,00	20,00	10,00	912,69
7 V	**10,00**	**10,00**	**10,00**	**60,00**	**10,00**	**732,83**
8 V	30,00	10,00	10,00	40,00	10,00	710,11
9 V	10,00	30,00	10,00	40,00	10,00	917,35
10 V	10,00	10,00	30,00	40,00	10,00	728,17
11 V	10,00	10,00	10,00	40,00	30,00	768,39
12 C(1)	10,00	10,00	10,00	50,00	20,00	856,69
13 C(1)	10,00	10,00	30,00	30,00	20,00	852,03
14 C(1)	10,00	10,00	20,00	50,00	10,00	730,50
15 C(1)	10,00	10,00	20,00	30,00	30,00	978,22
16 C(1)	10,00	30,00	10,00	30,00	20,00	1041,21
17 C(1)	10,00	30,00	20,00	20,00	20,00	1038,88
18 C(1)	10,00	30,00	20,00	30,00	10,00	624,42
19 C(1)	10,00	20,00	10,00	50,00	10,00	825,09
20 C(1)	**10,00**	**20,00**	**10,00**	**30,00**	**30,00**	**1072,81**
21 C(1)	10,00	20,00	30,00	20,00	20,00	943,29
22 C(1)	10,00	20,00	30,00	30,00	10,00	820,43
23 C(1)	10,00	20,00	20,00	20,00	30,00	1070,48
24 C(1)	30,00	10,00	10,00	30,00	20,00	833,97
25 C(1)	30,00	10,00	20,00	20,00	20,00	831,64
26 C(1)	30,00	10,00	20,00	30,00	10,00	707,78
27 C(1)	30,00	20,00	10,00	20,00	20,00	926,23
28 C(1)	30,00	20,00	10,00	30,00	10,00	802,37
29 C(1)	30,00	20,00	20,00	20,00	10,00	800,04
30 C(1)	20,00	10,00	10,00	50,00	10,00	721,47
31 C(1)	20,00	10,00	10,00	30,00	30,00	969,19
32 C(1)	20,00	10,00	30,00	20,00	20,00	840,67
33 C(1)	20,00	10,00	30,00	30,00	10,00	716,81
34 C(1)	20,00	10,00	20,00	20,00	30,00	966,86
35 C(1)	20,00	30,00	10,00	20,00	20,00	1029,85
36 C(1)	20,00	30,00	10,00	30,00	10,00	905,99
37 C(1)	20,00	30,00	20,00	20,00	10,00	903,66
38 C(1)	20,00	20,00	10,00	20,00	30,00	1061,45
39 C(1)	20,00	20,00	30,00	20,00	10,00	809,07
40 C(2)	10,00	10,00	20,00	40,00	20,00	854,36
41 C(2)	10,00	30,00	16,67	26,67	16,67	998,464
42 C(2)	10,00	20,00	10,00	40,00	20,00	948,95
43 C(2)	10,00	16,67	30,00	26,67	16,67	872,38
44 C(2)	10,00	23,33	23,33	20,00	23,33	958,96
45 C(2)	10,00	20,00	20,00	40,00	10,00	822,76
46 C(2)	10,00	16,67	16,67	26,67	30,00	1040,59
47 C(2)	30,00	10,00	16,67	26,67	16,67	791,22
48 C(2)	30,00	16,67	10,00	26,67	16,67	854,32
49 C(2)	30,00	16,67	16,67	20,00	16,67	852,76
50 C(2)	30,00	16,67	16,67	26,67	10,00	770,15
51 C(2)	20,00	10,00	10,00	40,00	20,00	845,33
52 C(2)	16,67	10,00	30,00	26,67	16,67	803,26
53 C(2)	23,33	10,00	23,33	20,00	23,33	879.63
54 C(2)	20,00	10,00	20,00	40,00	10,00	719,14
55 C(2)	16,67	10,00	16,67	26,67	30,00	971,47
56 C(2)	16,67	30,00	10,00	26,67	16,67	992,42
57 C(2)	16,67	30,00	16,67	20,00	16,67	991,08
58 C(2)	16,67	30,00	16,67	26,67	10,00	908,27
59 C(2)	23,33	23,33	10,00	20,00	23,33	1005,72
60 C(2)	20,00	20,00	10,00	40,00	10,00	804,41
61 C(2)	16,67	16,67	10,00	26,67	30,00	1034,56
62 C(2)	16,67	16,67	30,00	20,00	16,67	864,80
63 C(2)	16,67	16,67	30,00	26,67	10,00	782,18
64 C(2)	23,33	23,33	23,33	20,00	10,00	837,51
65 C(2)	16,67	16,67	16,67	20,00	30,00	1033,01

Таблица 3.

Результаты дисперсионного анализа проектируемой композиции

Table 3.

Results of variance analysis of the projected composition

Модель Model	Дисперсионный анализ | Analysis of variance						
	SS Эффект	cc Эффект	MS Эффект	SS Ошибка	F	p	R-Кв.
Линейная | Linear	528864,2	4	132216,1	259689,2	30,54791	0,000000	0,670676
Квадратичная | Quadratic	58575,1	10	5857,5	201114,2	1,45626	0,184109	0,744958

Прм.: Калий (смесь 1 опытов 65). 5 факт. план для см.; общее знач. см. = 100, 65 опыт. Послед. подгонка моделей возраст. Сложности

Note: Potassium (mixture of 1 experiments 65). 5 actual plan for cm; total cm. = 100, 65 experiments. Last fit of models of age complexity.

Из таблицы 3 видно, что видно, что линейная модель статистически значима, так как уровень значимости критерия Фишера (F) p = 0,00 и принимает значение, меньшее принятого критического уровня значимости статистических гипотез – 0,05. Квадратичная модель не является статистически значимой, так как уровень значимости критерия Фишера (F) p = 0,184 принимает значение, большее критического уровня значимости.

Значение R^2 = 0,67, означает, что модель объясняет примерно 67% изменчивости отклика от среднего. Можно утверждать, что зависимость между откликом «калий» и компонентами смеси близка к линейной модели.

Коэффициенты уравнения регрессии приведены в таблице 4.

Таблица 4.

Коэффициенты уравнения регрессии для калия

Table 4.

Regression equation coefficients for potassium

Фактор Factor	Коэфф. (исходные комп.) | Coeff. (initial comp.)					
	Коэф.	Ст. Ош.	t(60)	p	-95,% Дов. Пред	+95,% Дов. Пред
(A) Душица обыкновенная (трава) | (A) Oregano (herb)	6,00870	0,877697	6,84599	0,000000	4,25305	7,76436
(B) Смородина черная (листья) | (B) Black currant (leaves)	12,90797	0,877697	14,70663	0,000000	11,15231	14,66362
(C) Ряска малая (листья) | (C) Small bramble (leaves)	5,40629	0,877697	6,15963	0,000000	3,65063	7,16195
(D) Черника обыкновенная (листья) | (D) Blueberry (leaves)	5,32119	0,606386	8,77525	0,000000	4,10824	6,53414
(E) Тимьян обыкновенный (трава) | (E) Common thyme (herb)	16,22549	0,877697	18,48643	0,000000	14,46984	17,98115

Прм.: Калий; R-кв.=, 6707; Скор., 6487 (смесь 1 опытов 65). 5 факт. план для см.; общее знач. см. = 100, 65 опыт. ЗП Калий; Остаточн. SS = 4328,154

Note.: Potassium; R sq.=, 6707; Scor., 6487 (mixture of 1 experiments 65). 5 Actual plan for cm; total cm. = 100, 65 experiments. ST Potassium; Residual. SS = 4328.154

В соответствие с буквенными обозначениями предикторов в таблице 4 и, обозначив отклик «калий» буквой Z, линейное уравнение регрессии примет вид:

$$Z = 6{,}0087 \cdot A + 12{,}908 \cdot B + 5{,}406 \cdot C + 5{,}321 \cdot D + 16{,}225 \cdot E$$

Ограничения на предикторы модели можно представить в виде системы линейных неравенств:

$$\begin{cases} 10 \le A \le 30 \\ 10 \le B \le 30 \\ 10 \le C \le 30 \\ 20 \le D \le 60 \\ 10 \le E \le 30 \\ A + B + C + D + E = 100 \end{cases}$$

Уравнение регрессии с условиями данной системы представляют математическую формулировку задачи линейного программирования. Так как R^2, равное 0,67 значительно меньше 1, то некоторые значения отклика, соответствующие 65 опытам, могут быть расположены в недостаточной близи к пятимерной поверхности отклика – гиперплоскости. Это означает, что могут быть большие остатки – разности между экспериментальными значениями и вычисленными при помощи линейной модели.

Воспользовавшись диаграммой Парето (рисунок 1), найдены доли компонент смеси: душица обыкновенная = 16,368; смородина черная = 22,374; ряска малая = 15,845; черника обыкновенная = 20,152; тимьян обыкновенный = 25,261;

Вычисленные значения предикторов удовлетворяют условиям (2). В таблице 5 в строке предсказанное отображено предсказанное калькулятором программы приближенно оптимальное значение калия, равное 989,488 с 95%-м доверительным интервалом (962,854; 1016,122). При этом видно, что найденное значение калия = 989,488 не превосходит установленное значение (1050).

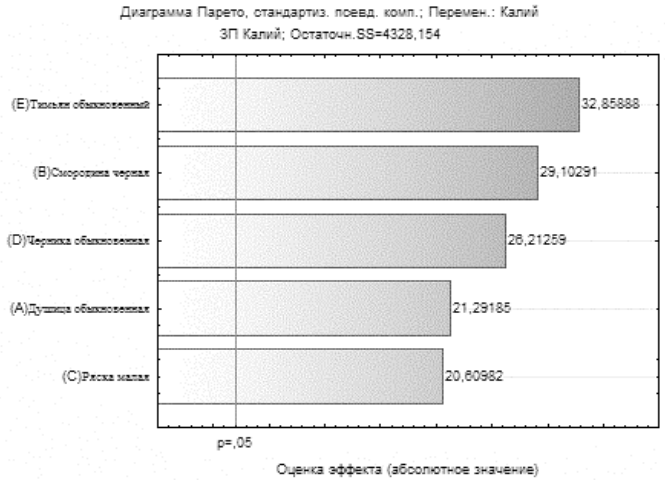


Рисунок 1. Диаграмма Парето для смеси по установленной рецептуре

Figure 1. Pareto diagram for the mixture according to the set formulation

Таблица 5.

Предсказанное значение калия по диаграмме Парето

Table 5.

Predicted potassium value from the Pareto diagram

Фактор Factor	Предсказ. знач. | Predicted value			
	Коэф.	Псевдо компн.	Коэф. * Знач.	Исходн. компон.
(A) Душица обыкновенная (трава) | (A) Oregano (herb)	752,257	0,160000	120,361	16,40000
(B) Смородина черная (листья) | (B) Black currant (leaves)	1028,227	0,310000	318,750	22,40000
(C) Ряска малая (листья) | (C) Small bramble (leaves)	728,160	0,150000	109,224	16,00000
(D) Черника обыкновенная (листья) | (D) Blueberry (leaves)	724,756	0,000000	0,000	20,00000
(E) Тимьян обыкновенный (трава) | (E) Thyme (grass)	1160,928	0,380000	441,153	25,20000
предсказан | predicted			989,488	
-95,% Дов.			962,854	
+95,% Дов.			1016,122	

Прм.: Калий; R-кв.=, 67068; Скор., 64872 (смесь 1 опытов 65). ЗП Калий; Остаточн. SS = 4328,154

Note: Potassium; R sq =, 67068; Scor, 64872 (mixture of 1 experiments 65). ST Potassium; Residual. SS = 4328.154

Далее попытаемся улучшить результат, воспользовавшись графиком *Профили предсказанных значений и функции желательности* на рисунке 2. Оптимальные значения компонент, при которых отклик достиг максимального значения = 1078,7, что больше установленного значения 1050, обозначены в основании графиков желательности: душица обыкновенная = 10; смородина черная = 30; ряска малая = 10; черника обыкновенная = 20; тимьян обыкновенный = 28,5.

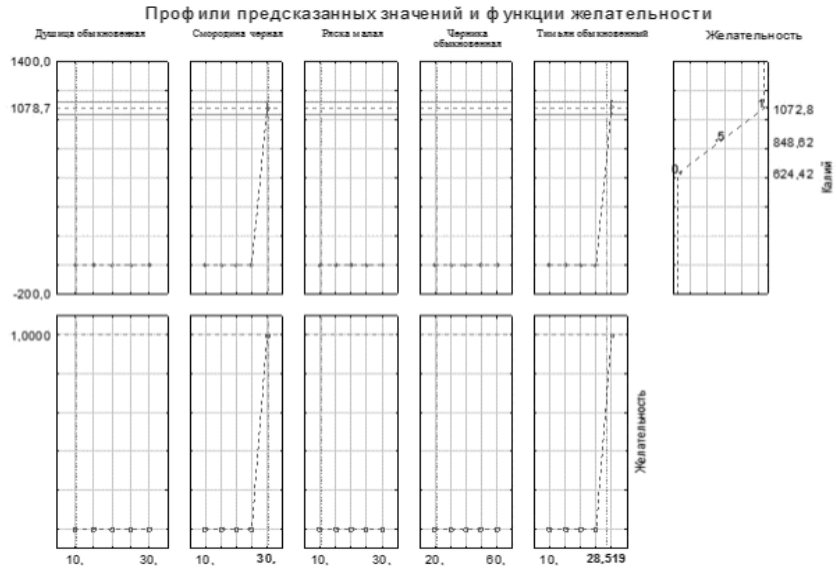


Рисунок 2. Профили предсказанных значений и функции желательности для композиции растительного сырья

Figure 2. Predicted value profiles and desirability functions for the composition of plant raw materials

Для того, чтобы сумма долей компонент смеси достигла значения 100 (%), округлили долю тимьяна обыкновенного до 30.

Расчеты, произведенные калькулятором модуля, представлены в таблице 6.

Таблица 6.

Предсказанное значение калия по графику профилей

Table 6.

Predicted potassium value from the profile graph

Фактор Factor	Предсказ. знач. | Predicted value			
	Коэф.	Псевдо компон.	Коэф. * Знач.	Исходн. компон.
(A) Душица обыкновенная (трава) | (A) Oregano (herb)	752,257	0,000000	0,000	10,00000
(B) Смородина черная (листья) | (B) Black currant (leaves)	1028,227	0,500000	514,114	30,00000
(C) Ряска малая (листья) | (C) Small bramble (leaves)	728,160	0,000000	0,000	10,00000
(D) Черника обыкновенная (листья) | (D) Blueberry (leaves)	724,756	0,000000	0,000	20,00000
(E) Тимьян обыкновенный (трава) | (E) Thyme (grass)	1160,928	0,500000	580,464	30,00000
предсказан | predicted			1094,578	
-95,% Дов.			1050,050	
+95,% Дов.			1139,106	

Прм.: Калий; R-кв.=, 67068; Скор., 64872 (смесь 1 опытов 65) ЗП Калий; Остаточн. SS = 4328,154
Note: Potassium; R sq =, 67068; Scor, 64872 (mixture of 1 experiments 65) ST Potassium; Residual. SS = 4328.154

Следует обратить внимание, что приближенно оптимальное значение достигнуто на границах диапазонов изменения долей компонент смеси (соответствует опыту v2). При этом экспериментальное значение, равное 758,2 значительно меньше, чем вычисленное по линейной модели – 1094,578. Такое расхождение можно объяснить недостаточной адекватностью модели.

В таблице 7 представлены разности между экспериментальными и предсказанными моделью значениями отклика. Наибольшее расхождение, равное -336,348 соответствует, как ни странно опыту 2, в котором предсказанное значение калия максимально (1094, 578).

Таблица 7.

Остатки между экспериментальными и предсказанными моделью значениями отклика

Table 7.

Residuals between experimental and model predicted response values

Наблюдаемый план Observable plan	Наблюдаемые, предсказанные значения и остатки (смесь 1 опытов 65). 5 факт. план для см.; общее знач. см. = 100, 65 опыт. ЗП Калий; R-кв.=, 6707; Скор., 6487 Observed, predicted values and residuals (mixture of 1 experiments 65). 5 actual plan for cm.; total cm. = 100, 65 experiments. WP Potassium; R sq.=, 6707; Scor., 6487		
	Наблюдаемые | Observed	Предсказанные | Predicted	Остатки | Residuals
1	**2**	**3**	**4**
1	1017,170	956,592	60,578
2	758,230	1094,578	-336,348
3	894,620	890,242	4,378
4	869,810	944,544	-74,734
5	705,450	740,208	-34,758
6	912,690	878,194	34,496
7	732,830	724,756	8,074
8	710,110	738,506	-28,396
9	917,350	876,492	40,858
10	728,170	726,458	1,712
11	768,390	942,842	-174,452
12	856,690	833,799	22,891
13	852,030	835,501	16,529
14	730,500	725,607	4,893
15	978,220	943,693	34,527
16	1041,210	985,535	55,675
17	1038,880	986,386	52,494
18	624,420	877,343	-252,923
19	825,090	800,624	24,466
20	1072,810	1018,710	54,100
21	943,290	911,369	31,921
22	820,430	802,326	18,104
23	1070,480	1019,561	50,919
24	833,970	847,549	-13,579
25	831,640	848,400	-16,760
26	707,780	739,357	-31,577

Продолжение таблицы 7 | Continuation of table 7

1	2	3	4
27	926,230	923,417	2,813
28	802,370	814,374	-12,004
29	800,040	815,225	-15,185
30	721,470	731,631	-10,161
31	969,190	949,717	19,473
32	840,670	842,376	-1,706
33	716,810	733,333	-16,523
34	966,860	950,568	16,292
35	1029,850	992,410	37,440
36	905,990	883,367	22,623
37	903,660	884,218	19,442
38	1061,450	1025,585	35,865
39	809,070	809,201	-0,131
40	854,360	834,650	19,710
41	998,464	949,754	48,710
42	948,950	909,667	39,283
43	872,380	849,732	22,648
44	958,960	972,438	-13,478
45	822,760	801,475	21,285
46	1040,590	993,988	46,602
47	791,220	811,769	-20,549
48	854,320	861,780	-7,460
49	852,760	862,347	-9,587
50	770,150	789,652	-19,502
51	845,330	840,674	4,656
52	803,260	803,737	-0,477
53	879,630	880,448	-0,818
54	719,140	732,482	-13,342
55	971,470	947,993	23,477
56	992,420	953,770	38,650
57	991,080	954,338	36,742
58	908,270	881,642	26,628
59	1005,720	980,471	25,249
60	804,410	807,499	-3,089
61	1034,560	998,004	36,556
62	864,800	854,315	10,485
63	782,180	781,620	0,560
64	837,510	836,215	1,295
65	1033,010	998,571	34,439

Учитывая существенные расхождения между вычисленным и экспериментальным значением, по-видимому, целесообразно в качестве оптимальных значений долей выбрать доли компонент, соответствующие опыту 20 со значением калия, равным 1072,8 (превосходящим установленное значение 1050): душица обыкновенная (трава) = 10; смородина черная (листья) = 20; ряска малая (листья) = 10; черника обыкновенная (листья) = 30; тимьян обыкновенный (трава) = 30.

Заключение

В результате проведенных исследований с применением методов анализа данных, реализованных в пакете STATISTICA, разработан качественный и количественный состав композиции растительного сырья функционального назначения для профилактики заболеваний, связанных с дефицитом калия, представляющей собой смесь при следующем соотношении компонентов, мас.%: душица обыкновенная (трава) = 10; смородина черная (листья) = 20; ряска малая (листья) = 10; черника обыкновенная(листья) = 30; тимьян обыкновенный (трава) = 30.

Разработанная композиция растительного сырья имеет определенную функциональную направленность и может быть использована для обогащения различных групп пищевых продуктов

Литература

1 Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Бурляева Е.А., Хотимченко С.А. и др. COVID-19: новые вызовы для медицинской науки и практического здравоохранения // Вопросы питания. 2020. Т. 89. №. 3. С. 6-13. doi: 10.24411/0042-8833-2020-10024

2 Fernández-Quintela A., Milton-Laskibar I., Trepiana J., GómezZorita S. et al. Key aspects in nutritional management of COVID-19 patients // J. Clin. Med. 2020. V. 9. № 8. doi: 10.3390/jcm9082589

3 Остроумова О.Д., Переверзев А.П., Клепикова М.В. Лекарственно-индуцированный дефицит электролитов. Часть 1. Лекарственно-индуцированная гипокалиемия // РМЖ. 2020. Т. 28. №. 11. С. 20-28.

4 Эбзеева Е.Ю., Остроумова О.Д., Кроткова И.Ф. и др. Дефицит электролитов на фоне новой коронавирусной инфекции и постковидного астенического синдрома // Русский медицинский журнал. Медицинское обозрение. 2021. Т. 5. №. 5. С. 245-251. doi: 10.32364/2587-6821-2021-5-5-245-251

5 Wu Z., McGoogan J.M. Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in China: summary of a report of 72 314 cases from the Chinese Center for Disease Control and Prevention // jama. 2020. V. 323. №. 13. P. 1239-1242. doi: 10.1001/jama.2020.2648

6 Cummings M.J., Baldwin M.R., Abrams D. et al. Epidemiology, clinical course, and outcomes of critically ill adults with COVID-19 in New York City: a prospective cohort study // The Lancet. 2020. V. 395. №. 10239. P. 1763-1770. doi: 10.1016/S0140-6736(20)31189-2

7 Старичкова А.А., Цыганкова О.В., Хидирова Л.Д., Старичков А.А., Литвиненко П.И. Кардиометаболические нарушения при SARS-CoV-2-инфекции и постковидном синдроме // Лечащий Врач. 2022. № 3. P. 49-58. doi: 10.51793/OS.2022.25.3.008

8 Noori M., Nejadghaderi S.A., Sullman M.J.M. et al. How SARS-CoV-2 might affect potassium balance via impairing epithelial sodium channels? // Mol Biol Rep. 2021. V. 48. №. 9. P. 6655-6661. doi: 10.1007/s11033-021-06642-0

9 Noori M., Nejadghaderi S. A., Sullman M.J.M. et al. Epidemiology, prognosis and management of potassium disorders in Covid-19 // Rev Med Virol. 2022. V. 32. №. 1. P. e2262. doi: 10.1002/rmv.2262

10 Марченкова Л.А., Макарова Е.В., Юрова О.В. Роль микронутриентов в комплексной реабилитации пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19 // Вопросы питания. 2021. №2 (534). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/rol-mikronutrientov-v-kompleksnoy-reabilitatsii-patsientov-s-novoy-koronavirusnoy-infektsiey-covid-19

11 Wu Z., McGoogan J.M. Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID 19) outbreak in China: summary of a report of 72314 cases from the Chinese Center for Disease Control and Prevention. J Am Med Assoc. 2020. V. 323. №. 13. P. 1239-1242. doi: 10.1001/jama.2020.2648

12 Кароматов И.Д., Асадова Ш.И. Лекарственное растение чабрец обыкновенный // Биология и интегративная медицина. 2017. №11. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/lekarstvennoe-rastenie-chabrets-obyknovennyy

13 Типсина Н.Н., Яковчик Н.Ю. Исследование черники // Вестник КрасГАУ. 2013. №11. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-cherniki

14 Петрова С.Н., Кузнецова А.А. Состав плодов и листьев смородины черной Ribes n igrum (обзор) // Химия растительного сырья. 2014. №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sostav-plodov-i-listiev-smorodiny-chernoy-ribes-n-igrum-obzor

15 Боков Д.О., Морохина С.Л. Фармакотерапевтическое действие и использование в практической медицине травы душицы обыкновенной // Медицина и здравоохранение. 2012. С. 52-59. URL: https://moluch.ru/conf/med/archive/62/2946/

16 Климова Е.В. Исследование химического состава ряски малой (lémna mínor) и перспективы использования в пищевой промышленности // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2015. №6(35). С.3–7.

17 Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2018621175. Биологически активные вещества дикорастущего растительного сырья Северо-Кавказского региона. 03 августа 2018 г.

18 Халафян А.А. Statistica 6. Математическая статистика с элементами теории вероятностей. М.: Бином, 2010. 491 с.

19 Промышленная статистика: Контроль качества, анализ процессов, планирование экспериментов в пакете STATISTICA. М.: Книжный дом «Либроком», 2013. 384 с.

20 СтП00668034-23-14-2009. Материалы растительного происхождения. Метод определения массовой концентрации катионов аммония, калия, натрия, магния, кальция с применением капиллярного электрофореза. Аттестация: ГНУ СКЗНИИСиВ.

References

1 Tutelyan V.A., Nikityuk D.B., Burlyaeva E.A., Khotimchenko S.A. et al. COVID-19: new challenges for medical science and practical healthcare. Nutritional Issues. 2020. vol. 89. no. 3. pp. 6-13. doi: 10.24411/0042-8833-2020-10024 (in Russian).

2 Fernández-Quintela A., Milton-Laskibar I., Trepiana J., GómezZorita S. et al. Key aspects in nutritional management of COVID-19 patients. J. Clin. Med. 2020. vol. 9. no. 8. doi: 10.3390/jcm9082589

3 Ostroumova O.D., Pereverzev A.P., Klepikova M.V. Drug-induced electrolyte deficiency. Part 1. Drug-induced hypokalemia. BC. 2020. vol. 28. no. 11. pp. 20-28. (in Russian).

4 Ebzeeva E.Yu., Ostroumova O.D., Krotkova I.F. Electrolyte deficiency against the background of a new coronavirus infection and post-covid asthenic syndrome. Russian Medical Journal. Medical review. 2021. vol. 5. no. 5. pp. 245-251. doi: 10.32364/2587-6821-2021-5-5-245-251 (in Russian).

5 Wu Z., McGoogan J.M. Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in China: summary of a report of 72 314 cases from the Chinese Center for Disease Control and Prevention. jama. 2020. vol. 323. no. 13. pp. 1239-1242. doi: 10.1001/jama.2020.2648

6 Cummings M.J., Baldwin M.R., Abrams D. et al. Epidemiology, clinical course, and outcomes of critically ill adults with COVID-19 in New York City: a prospective cohort study. The Lancet. 2020. vol. 395. no. 10239. pp. 1763-1770. doi: 10.1016/S0140-6736(20)31189-2

7 Starichkova A.A., Tsygankova O.V., Khidirova L.D., Starichkov A.A., Litvinenko P.I. Cardiometabolic disorders in SARS-CoV-2 infection and post-covid syndrome. 2022. no. 3. pp. 49-58. doi: 10.51793/OS.2022.25.3.008 (in Russian).

8 Noori M., Nejadghaderi S.A., Sullman M.J.M. et al. How SARS-CoV-2 might affect potassium balance via impairing epithelial sodium channels? Mol Biol Rep. 2021. vol. 48. no. 9. pp. 6655-6661. doi: 10.1007/s11033-021-06642-0

9 Noori M., Nejadghaderi S. A., Sullman M.J.M. et al. Epidemiology, prognosis and management of potassium disorders in Covid-19. Rev Med Virol. 2022. vol. 32. no. 1. pp. e2262. doi: 10.1002/rmv.2262

10 Marchenkova L.A., Makarova E.V., Yurova O.V. The role of micronutrients in the complex rehabilitation of patients with a new coronavirus infection COVID-19. Nutritional Issues. 2021. no. 2 (534). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/rol-mikronutrientov-v-kompleksnoy-reabilitatsii-patsientov-s-novoy-koronavirusnoy-infektsiey-covid-19 (in Russian).

11 Wu Z., McGoogan J.M. Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID 19) outbreak in China: summary of a report of 72314 cases from the Chinese Center for Disease Control and Prevention. J Am Med Assoc. 2020. vol. 323. no. 13. pp. 1239-1242. doi: 10.1001/jama.2020.2648

12 Karomatov I.D., Asadova Sh.I. Medicinal plant common thyme. Biology and Integrative Medicine. 2017. no. 11. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/lekarstvennoe-rastenie-chabrets-obyknovennyy (in Russian).

13 Tipsina N.N., Yakovchik N.Yu. Bilberry research. Bulletin of KrasGAU. 2013. no. 11. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-cherniki (in Russian).

14 Petrova S.N., Kuznetsova A.A. The composition of fruits and leaves of blackcurrant Ribes n igrum (review). Chemistry of plant raw materials. 2014. no. 4. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/sostav-plodov-i-listiev-smorodiny-chernoy-ribes-n-igrum-obzor (in Russian).

15 Bokov D.O., Morokhina S.L. Pharmacotherapeutic action and use in practical medicine of herb oregano. Medicine and Health. 2012. pp. 52-59. Available at: https://moluch.ru/conf/med/archive/62/2946/ (in Russian).

16 Klimova E.V. Study of the chemical composition of duckweed (lémna mínor) and prospects for use in the food industry. Technology and commodity science of innovative food products. 2015. no. 6(35). pp. 3–7. (in Russian).

17 Certificate of state registration of the database no. 2018621175. Biologically active substances of wild-growing plant raw materials of the North Caucasus region. August 03, 2018. (in Russian).

18 Khalafyan A.A. Statistica 6. Mathematical statistics with elements of probability theory. M., Binom, 2010. 491 p. (in Russian).

19 Industrial statistics: Quality control, process analysis, experiment planning in the STATISTICA package. M., Book house "Librocom", 2013. 384 p. (in Russian).

20 StP00668034-23-14-2009. materials of vegetable origin. Method for determining the mass concentration of ammonium, potassium, sodium, magnesium, calcium cations using capillary electrophoresis. Certification, GNU SKZNIISiV. (in Russian).

Сведения об авторах

Саида К. Куижева д.э.н., профессор, ректор, Майкопский государственный технологический университет, ул. Первомайская, д.191, г. Майкоп 385000, Россия, rector@mkgtu.ru

Анзаур А. Схаляхов д.т.н., профессор, кафедра технологии, машин и оборудования пищевых производств, Майкопский государственный технологический университет, ул. Первомайская, д.191, г. Майкоп 385000, Россия, arama75@mail.ru

Хазрет Р. Сиюхов д.т.н., профессор, кафедра технологии, машин и оборудования пищевых производств, Майкопский государственный технологический университет, ул. Первомайская, д.191, г. Майкоп 385000, Россия, siukhov@mail.ru

Зарета Т. Тазова к.т.н., доцент, кафедра стандартизации, метрологии и товарной экспертизы, Майкопский государственный технологический университет, ул. Первомайская, д.191, г. Майкоп 385000, Россия

Людмила В. Лунина к.т.н., доцент, кафедра стандартизации, метрологии и товарной экспертизы, Майкопский государственный технологический университет, ул. Первомайская, д.191, г. Майкоп 385000, Россия, lunina1000@mail.ru

Information about authors

Saida K. Kuizheva Dr Sci. (Econ.), professor, rector, Maikop State Technological University, 191 Pervomaiskaya St., Maykop 385000, Russia, rector@mkgtu.ru

Anzaur A. Shalyakhov Dr Sci. (Engin.), professor, technology, machines and equipment of food production department, Maikop State Technological University, 191 Pervomaiskaya St., Maykop 385000, Russia, arama75@mail.ru

Khazret R. Siyukhov Dr Sci. (Engin.)., professor, technology, machines and equipment of food production department, Maikop State Technological University, 191 Pervomaiskaya St., Maykop 385000, Russia, siukhov@mail.ru

Zareta T. Tazova Cand. Sci. (Engin)., associate professor, standardization, metrology and commodity expertise department, Maikop State Technological University, 191 Pervomaiskaya St., Maykop 385000, Russia

Lyudmila V. Lunina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, standardization, metrology and commodity expertise department, Maikop State Technological University, 191 Pervomaiskaya St., Maykop 385000, Russia, lunina1000@mail.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 11/04/2022	**После редакции** 12/05/2022	**Принята в печать** 31/05/2022
Received 11/04/2022	**Accepted in revised** 12/05/2022	**Accepted** 31/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-200-209 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.858/613.24 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Технологические аспекты приготовления желейного мармелада пониженной сахароемкости и калорийности с использованием натурального углеводосодержащего продукта

Газибег О. Магомедов [1] gazibeck.magomedov@ya.ru 0000-0002-7201-8387
Инесса В. Плотникова [1] plotnikova_2506@mail.ru 0000-0001-5959-6652
Анастасия А. Литвинова [1] a.a.litvinova-vgta@mail.ru 0000-0001-7004-1420
Магомед Г. Магомедов [1] mmg@inbox.ru 0000-0003-2494-4973
Виктор Е. Плотников [1] viktor_plotnikov_1999@mail.ru 0000-0001-6707-8337

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

Аннотация. В статье описаны характеристика и свойства различных сортов натурального мёда – гречишного и подсолнечного, представлен их сравнительный анализ химического состава, показателей качества, активности ферментов, антиоксидантной активности, содержания витамина С, микробиологических показателей. Описан инновационный способ получения желейного мармелада без добавления сахара на основе мёда путём формования методом «шприцевания» в полимерную барьерную оболочку. Установлено, что замена сахара белого и патоки крахмальной на натуральный мёд в рецептуре желейного мармелада приводит к снижению сахароемкости, калорийности изделия, повышению его пищевой ценности, антиоксидантой активности, антибактериальных свойств за счёт внесения с мёдом эссенциально важных для организма человека веществ (витаминов группы В, С, антиоксидантов, антисептиков, ферментов, минеральных веществ и др.). Использование нового способа формования и упаковки мармелада в полимерную барьерную оболочку приводит к продлению срока хранения мармелада до 6 месяцев. Анализ изменения качества образцов желейного мармелада показал, что удаление влаги, а с этим и процесс их высыхания после хранения в течение 180 сут происходит интенсивнее – в 2,2 раза в образце мармелада, упакованного по традиционной технологии, при этом содержание редуцирующих веществ (к общей массе высохшего мармелада) в данном образце увеличилось на 11,3%. Повседневное потребление разработанного изделия способствует повышению иммунитета, жизненного тонуса, нормализации обмена веществ, укреплению сердечной мышцы, нервной системы, улучшению усвоения пищи, работы желудочно-кишечного тракта и др. Разработанный мармелад диетического назначения можно рекомендовать в первую очередь детям в период их роста, пожилым людям, спортсменам и взрослым при большой физической нагрузке, страдающим ожирением.

Ключевые слова: мёд гречишный, мед подсолнечниковый, мармелад желейный, показатели качества, активность ферментов, антиоксидантная активность, содержание витамина С, микробиологические показатели, пищевая ценность.

Technological aspects of the preparation of jelly marmalade of reduced sugar content and caloric content using a natural carbohydrate-containing product

Gazibeg O. Magomedov [1] gazibeck.magomedov@ya.ru 0000-0002-7201-8387
Inessa V. Plotnikova [1] plotnikova_2506@mail.ru 0000-0001-5959-6652
Anastasiia A. Litvinova [1] a.a.litvinova-vgta@mail.ru 0000-0001-7004-1420
Magomed G. Magomedov [1] mmg@inbox.ru 0000-0003-2494-4973
Viktor E. Plotnikov [1] viktor_plotnikov_1999@mail.ru 0000-0001-6707-8337

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

Abstract. The article describes the characteristics and properties of natural honey varieties - buckwheat and sunflower. It also presents their comparative analysis of chemical composition, quality indicators, enzyme activity, antioxidant activity, vitamin C content and microbiological indicators. The innovative method of sugar-free jelly marmalade production based on honey by injection molding into a polymeric barrier shell is described. It has been stated that the replacement of white sugar and starch syrup by natural honey in jelly marmalade recipe leads to sugar and calorie content decrease of the product, an increase in its nutritional value, antioxidant activity, antibacterial properties due to the application with honey essential substances for a human body (vitamins of group B, C, antioxidants, antiseptics, enzymes, minerals, etc.). The use of a new method of forming and marmalade packaging in a polymer barrier shell leads to an extension of marmalade shelf life up to 6 months. Analysis of changes in the quality of jelly marmalade samples showed that moisture removal, and with it the process of drying after storage for 180 days, occurs more intensively – 2.2 times in a sample of marmalade packed according to traditional technology, while the content of reducing substances (to the total mass of dried marmalade) in this sample increased by 11.3 %. Daily consumption of the developed product helps to increase immunity, vitality, it normalizes metabolism, strengthens heart muscle, nervous system, it also improves food absorption, work of the gastrointestinal tract, etc. The developed dietary marmalade can be recommended primarily to children during their growth, the elderly people, athletes and adults with heavy physical exertion, obese as well.

Keywords: buckwheat honey, sunflower honey, jelly marmalade, quality indicators, enzyme activity, antioxidant activity, vitamin C content, microbiological parameters, nutritional value.

Для цитирования

Магомедов Г.О., Плотникова И.В., Литвинова А.А., Магомедов М.Г., Плотников В.Е. Технологические аспекты приготовления желейного мармелада пониженной сахароемкости и калорийности с использованием натурального углеводосодержащего продукта // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 200–209. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-200-209

For citation

Magomedov G.O., Plotnikova I.V., Litvinova A.A., Magomedov M.G., Plotnikov V.E. Technological aspects of the preparation of jelly marmalade of reduced sugar content and caloric content using a natural carbohydrate-containing product. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 200–209. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-200-209

© 2022, Магомедов Г.О. и др. / Magomedov G.O. et al.

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

Введение

Современные тенденции формирования рациона здорового питания диктуют необходимость создания новых разработок высокопитательных кондитерских изделий низкой сахароёмкости и калорийности. Разработка таких изделий позволит перевести данную продукцию из группы риска в группу продуктов здорового питания. Осуществить такой перевод возможно путем использования инновационных способов получения изделий с максимальной реализацией и сохранением полезных свойств функциональных пищевых ингредиентов [1].

Желейный мармелад по традиционной технологии готовят на основе сахара белого и патоки крахмальной в соотношении 1:(0,3÷0,5) с добавлением студнеобразователя (агар-агара, пектина, желатина и др.), при этом в изделии содержится значительное количество легкоусвояемых углеводов – от 60 до 80 г., что обуславливает его высокую калорийность – 340–400 ккал (1418–1668 кДж)/100 г продукта. Содержание таких полезных веществ, как пищевые волокна, макро- и микроэлементы, витамины в желейном мармеладе приближено к нулю [2, 3].

Существуют способы получения мармелада с использованием мёда, однако данный ингредиент добавляют в незначительных количествах в качестве улучшения вкусоароматических свойств продукта [4].

С позиций здорового питания мёд по своей целебности не имеет себе равных, некоторые называют его эликсиром молодости и жизни, он относится к продуктам функционального назначения, так как в его составе содержится около 300 полезных веществ [5].

Потребление мёда в России, по сравнению с европейскими странами, в 10 раз ниже и составляет – 350–400 г/год, в связи с этим, на рынке продуктов питания мёд необходимо продвигать не только как самостоятельный продукт для повседневного употребления, но и как натуральный сахаросодержащий ингредиент для промышленного производства кондитерских изделий повышенной пищевой ценности [6].

Мёд является мощным источником энергии, так как в основном состоит из 80 % углеводов, которые представлены моно- и дисахаридами (фруктозой – 36 %, глюкозой – 32 %, мальтозой – 8 %, сахарозой – 2 %), около 25 олигосахаридами – 3,6 %. Благодаря большому содержанию углеводов, мёд является важным энергетическим продуктом. Однако, несмотря на высокое содержание углеводов, доказано, что мёд из-за большого содержания фруктозы незначительно повышает уровень глюкозы в крови, его гликемический индекс варьируется от 32 до 91 хлебных единиц [7].

В мёде содержится около 0,8 % протеинов, 10–15 % азотистых веществ небелковой природы, представленных 23 аминокислотами и аминами. Ферменты в мёде представлены в виде диастазы, инвертазы, каталазы, оксидазы, протеолитических энзимов; алкалоиды в виде морфия, кофеина и др.; витамины в виде пиридоксина (B_6), рибофлавина (B_2), тиамина (B_1), биотина (Е), токоферола (Е), никотиновой (РР), пантотеновой (B_5), фолиевой (B_9) и аскорбиновой (С) кислоты; органические кислоты в виде яблочной, молочной, глюконовой, лимонной, янтарной, винной, щавелевой, малоновой, муравьиной кислоты. Из 24 микроэлементов, необходимых нашему организму, в мёде содержится 22 (калий, натрий, кальций, магний, железо, фосфор, медь, марганец, никель, серебро, сера, молибден, йод, кобальт, цинк и др.), которые находятся в таком же соотношении, как и в крови человека, что обуславливает быстрое усвоение мёда организмом. В различных видах мёда идентифицировано более 500 летучих компонентов. Концентрация флавоноидов колеблется от 60 до 460 мкг/100 г [6, 7].

Высокая антиоксидантная активность мёда обусловлена наличием аскорбиновой кислоты, глюкозооксидзы, каталазы, фенольных кислот, флавоноидов, органических кислот, каротиноидных соединений, протеинов и аминокислот. Определена значительная взаимосвязь между антиоксидантной активностью мёда, количеством фенолов в нём и замедлением процесса окисления липопротеинов *in vitro* в плазме крови человека.

Выявлено пребиотическое действие мёда по отношению к трем видам лактобактерий, выделенных в кишечнике человека. В отличие от сахарозы, он увеличивает как *in vivo* (действие в тонком и толстом кишечнике), так и *in vitro* развитие полезных бактерий *Lactobacillus acidophilus* и *Lactobacillus plantarum*. Благодаря бактерицидному и противовоспалительному действию мёд эффективен против грамположительных бактерий, при лечении некоторых заболеваний желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой системы, он подавляет *in vitro* вирусы герпеса и краснухи и др. [8].

В связи с этим, актуальным и перспективным направлением развития кондитерской отрасли является проведение комплексного анализа качества и санитарно-гигиенических свойств различных видов мёда и желейного мармелада, приготовленного на его основе по инновационной технологии.

Материалы и методы

Объектами исследований являлись образцы мёда натурального (гречишный и подсолнечный) – ГОСТ 19792–2017 «Мёд натуральный. Технические условия», мармелад желейный – ГОСТ 6442–2014 Мармелад. Общие технические условия.

Определение в мёде органолептических показателей проводили в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52451; массовой доли влаги – по ГОСТ 31774–2012; массовой доли редуцирующих сахаров – по ГОСТ 32167–2013; диастазного числа – по ГОСТ 34232–2017; массовой доли гидроксиметилфурфураля – по ГОСТ 31768–2012; активность инвертазы мёда по методике, разработанной на кафедре биологии, биоресурсов и аквакультуры Новосибирского государственного аграрного университета. Органолептическую оценку качества желейного мармелада анализировали в соответствии с требованиями ГОСТ 5897; массовую долю влаги – по ГОСТ 5900; антиоксидантную активность оценивали с помощью анализатора «ЦветЯуза-01-АА»; наличие патогенных микроорганизмов определяли по ГОСТ 31659, количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) по ГОСТ 10444.15, плесневых грибов, дрожжей – по ГОСТ 10444.12.

Результаты и обсуждение

Для получения опытных образцов желейного мармелада выбрано два наиболее распространенных по Воронежской области сорта мёда: гречишный и подсолнечный. Образцы мёда анализировали по органолептическим и физико-химическим показателям качества, результаты анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Органолептические и физико-химические показатели качества натурального мёда

Table 1.

Organoleptic and physico-chemical quality indicators of natural honey

Показатель Indicator	ГОСТ 19792–2017 GOST 19792–2017	Сорт натурального мёда A variety of natural honey	
		Гречишный | Buckwheat	Подсолнечный | Sunflower
Органолептические показатели | Organoleptic indicators			
Консистенция Consistency	Жидкая, частично или полностью закристаллизованная Liquid, partially or completely crystallized	Частично закристаллизованная, с мелкими кристаллами Partially crystallized, with small crystals	Полностью закристаллизованная Completely crystallized
Аромат Smell	Приятный, от слабого до сильного Pleasant, from weak to strong	Сильно выраженный аромат гречихи Strongly pronounced aroma of buckwheat	Приятный аромат цветков подсолнечника Pleasant aroma of sunflower flowers
Вкус Taste	Сладкий, приятный, без постороннего привкуса Sweet, pleasant, without foreign taste	Сладкий, ярко выраженный горьковатый вкус мёда Sweet, pronounced bitter taste of honey	Сладкий, приятный вкус мёда Sweet, pleasant taste of honey
Цвет Colour	От белого до тёмного янтарного From white to dark amber	Янтарный Amber	Ярко – жёлтый Bright yellow
Физико-химические показатели | Physico-chemical indicators			
Массовая доля влаги Mass fraction of moisture, %	<20,0	17,8	17,1
Массовая доля редуцирующих веществ Mass fraction of reducing substances, %	≥65,0	85,2	84,4
Диастазное число, ед. Готе Diastase number, ed. Gote	≥8	50	46
Активность инвертазы, мг/ г Invertase activity, mg/g	–	172	148
Массовая доля гидроксиметилфурфураля, мг/кг Mass fraction of hydroxymethylfurfural, mg/kg	≥25	14,59	10,36

Как видно из полученных данных, образцы мёда соответствуют требованиям ГОСТ 19792–2017, но отличаются по цвету, вкусу и аромату, имеют разные значения диастазного числа, массовой доли гидроксиметилфурфураля, активности инвертазы, что несомненно в дальнейшем будет влиять на свойства и качество желейного мармелада.

Приготовление опытных образцов желейного мармелада осуществляли следующим образом. Агар-агар растворяли в воде при нагревании, полученный раствор охлаждали до 50–55 ºС и смешивали с подогретым мёдом температурой не более 50 ºС, в полученную смесь для улучшения органолептики и снижения привкуса сладости вносили лимонную кислоту, готовую массу подавали на формование методом «шприцевания» в полимерную барьерную оболочку марки «Амифлекс Мини», далее упакованный мармелад охлаждали до комнатной температуры и упаковывали в коробки.

Для сравнения качества мармелада готовили образец мармелада «Желейный формовой», полученный по традиционной технологии на

основе сахара и патоки (1:0,5) [9]. В исследуемых образцах производили полную замену сахара и патоки на натуральный мёд (гречишный или подсолнечный) в пересчете на сухое вещество.

Результаты анализа органолептических и физико-химических показателей желейного мармелада [10] представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Органолептические и физико-химические показатели качества желейного мармелада

Table 2.

Organoleptic and physico-chemical quality indicators of jelly marmalade

Показатель Indicator	Образец желейного мармелада | Jelly marmalade samples		
	«Желейный формовой» (традиционная технология) | "Jelly mold" (traditional technology)	«Гречишный» "Buckwheat"	«Подсолнечный» "Sunflower"
Органолептические показатели | Organoleptic indicators			
Вкус и запах Taste and smell	Характерные для данного наименования мармелада, без постороннего привкуса и запаха Characteristic of this name of marmalade, without extraneous taste and smell	Сладкий, с медовым вкусом и запахом Sweet, with honey taste and smell	
Цвет Colour	Характерный для данного наименования мармелада Characteristic of this name of marmalade	Янтарный Amber	Жёлтый Yellow
Консистенция | Consistency	Студнеобразная | Jelly – like		
Физико-химические показатели | Physico-chemical indicators			
Массовая доля влаги Mass fraction of moisture, %	18,0	39,1	38,6
Массовая доля редуцирующих веществ | Mass fraction of reducing substances, %	17,5	55,9	54,3
Титруемая кислотность, град Titrated acidity, degree	9,6	5,5	5,0
Активная кислотность Active acidity, pH	3,7	4,0	4,6

Как видно из полученных данных (таблица 2), исследуемые образцы мармелада обладают ярко выраженными медовым вкусом и запахом, завышенным содержанием влаги, редуцирующих веществ, однако это не является недостатком, так как полученная влажность является допустимой для формования мармеладной массы методом «шприцевания», а высокое содержание редуцирующих веществ обусловлено химическим составом используемых видов мёда, что в дальнейшем будет способствовать замедлению процесса высыхания и черствения при хранении мармелада.

Технологическая операция нагрева мёда до температуры 50 ºС является производственной необходимостью, так как мёд в процессе хранения приобретает кристаллическую структуру, что затрудняет его дальнейшее дозирование и транспортировку, внесение его в подогретый агаровый раствор с температурой ниже 45 °С приводит к неравномерному формированию мармеладного студня, так как температура начала студнеобразования агар-агара составляет около 40 °С.

Нагревание мёда выше 45 °С ведет к разрушению содержащихся в нём биологически активных веществ, поэтому для обеспечения их сохранности, проведён ряд исследований по изучению влияния температуры нагрева мёда на сохранность биологически активных веществ – ферментов (диастаза, инвертаза).

В мёде до и после его нагрева до 50 °С, а также в готовом желейном мармеладе активность фермента диастазы определяли по диастазному числу, инвертазы по методике, разработанной исследователями Новосибирского государственного аграрного университета, результаты анализа представлены в таблицах 3, 4 [11].

Таблица 3.

Изменение активности ферментов мёда до и после нагревания до 50 °С

Table 3.

Changes in the activity of honey enzymes before and after heating to 50 °C

Показатель Indicator	Вид мёда | Type of honey			
	«Гречишный» «Buckwheat»		«Подсолнечный» «Sunflower»	
	до нагрева before heating	после нагрева after heating	до нагрева before heating	после нагрева after heating
Диастазное число, ед. Готе Diastase number, ed. Gote	50,0	50,0	46,0	46,0
Активность инвертазы, мг/ г Invertase activity, mg/g	172,0	160,0	148,0	134,0

Таблица 4.

Изменение активности ферментов мёда в желейном мармеладе

Table 4.

Changes in the activity of honey enzymes in jelly marmalade

Показатель Indicator	Желейный мармелад Jelly marmalade	
	«Гречишный» «Buckwheat»	«Подсолнечный» «Sunflower»
Диастазное число, ед. Готе Diastase number, ed. Gote	38,0	33,7
Активность инвертазы, мг/ г Invertase activity, mg/g	120,0	106,0

Диастазное число – это количество 1%-ого раствора крахмала, $см^3$, которое разлагается за 1 ч диастазой мёда, содержащейся в 1 г безводного вещества мёда.

Методика определения активности фермента инвертазы основана на разнице концентраций моносахаров до и после инверсии сахарозы мёдом, то есть к определенной концентрации раствора мёда добавляют определенное количество сахарозы и затем эту смесь подвергают инверсии.

Установлено, что активность амилазы мёда после нагрева до 50 °С сохраняется на том же уровне, однако активность инвертазы снижается, так как данный фермент менее устойчив к воздействию температур. Снижение значений активности ферментов мёда в готовом мармеладе объясняется снижением концентрации мёда за счет высокой влажности изделия.

Относительно короткий срок хранения желейного мармелада (не более 3 месяцев) является основным препятствием для увеличения объемов его производства. В работе исследовали влияние способа формования и упаковки на изменение качества и микробиологические показатели желейного мармелада в процессе его хранения при температуре 22 ± 2 ºС в течение 180 сут. Для этого определяли показатели качества [12] двух образцов мармелада, приготовленных на основе гречишного мёда (таблица 5), причем один образец формовали шприцеванием в полимерную барьерную оболочку марки «Амифлекс Мини», а второй - методом отливки в жёсткие формы, после чего упакованный мармелад укладывали в картонные коробки.

Таблица 5.

Показатели качества желейного мармелада на основе гречишного мёда

Table 5.

Quality indicators of jelly marmalade based on buckwheat honey

Показатель Indicator	Характеристики желейного мармелада на основе гречишного мёда после хранения, сут Characteristics of jelly marmalade based on buckwheat honey after storage, day					
	Мармелад отформован в жёсткие формы и упакован в картонные коробки Marmalade is molded into rigid shapes and packed in cardboard boxes			Мармелад отформован методом шприцевания и упакован в полимерную барьерную оболочку Marmalade is molded by syringing and packed in a polymer barrier shell		
	0	90	180	0	90	180
Органолептические показатели | Organoleptic indicators						
Вкус и запах Taste and smell	Ярко выраженные, свойственные данному наименованию изделия, без постороннего привкуса и запаха Pronounced, characteristic of this product name, without extraneous taste and smell					
Цвет Colour	Свойственный цвету используемого мёда | Characteristic of the color of the honey used					
Консистенция Consistency	Студнеобразная | Jelly-like					
Поверхность Surface	Гладкая, слегка влажная Smooth, slightly moist	Гладкая, подсушенная Smooth, dried		Гладкая слегка влажная Smooth slightly moist		
Физико-химические показатели | Physico-chemical indicators						
Массовая доля влаги Mass fraction of moisture, %	39,07	21,56	17,23	39,07	38,58	38,39
Массовая доля редуцирующих веществ Mass fraction of reducing substances, %	61,53	70,30	72,80	58,65	60,36	61,53
Титруемая кислотность, град Titrated acidity, degree	5,50	7,65	8,00	5,50	5,78	6,15

Анализ изменения качества образцов желейного мармелада показал, что удаление влаги, а с этим и процесс их высыхания после хранения в течение 180 сут происходит интенсивнее – в 2,2 раза в образце мармелада, упакованного по традиционной технологии, при этом содержание редуцирующих веществ (к общей массе высохшего мармелада) в данном образце увеличилось на 11,3 %.

Как известно, мёд обладает значительной антиоксидантной активностью, которая обусловлена присутствием аскорбиновой кислоты, флаваноидов, каратиноидных соединений, ароматических кислот, в частности галловой, протокатехиновой, ванилиновой, кофейной, п-кумариновой.

Результаты анализа определения антиоксидантных свойств мёда и сохранности их после хранения в течение 180 сут в образцах желейного мармелада, упакованного в полимерную барьерную оболочку марки «Амифлекс Мини», приведены на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1, наибольшей антиоксидантной активностью – 25 мг кверцетина на 100 г продукта обладает гречишный мёд, что объясняется относительно высоким содержанием в нём флаваноида рутина и витамина С, по сравнению с подсолнечным. Для образцов желейного мармелада с использованием натурального мёда значения показателя антиоксидантной активности (мг кварцетина / 100 г продукта) составили: для образца № 3–8,8; № 5–6,8. Снижение значений антиоксидантной активности для желейного мармелада, по сравнению со значениями мёда, происходит вследствие большей влажности мармелада.

Антиоксидантная активность образцов желейного мармелада на основе гречишного и подсолнечного мёда после 180 сут хранения снизилась на 3,4 и 4,4 % (соответственно).

Успех создания полезного продукта с точки зрения пищевой ценности зависит от множества условий, одним из которых является стабильность вносимых в продукт микронутриентов [13]. Одним из значимых микронутриентов мёда является витамин С. Длительное воздействие воздуха и продолжительное нагревание в присутствии кислорода приводит к его разрушению, таким образом, его стабильность в обогащенном продукте будет зависеть от структуры продукта, технологии его производства и типа используемой упаковки [14].

Содержание витамина С определяли в используемых образцах мёда и в мармеладе до и после хранения в течение 180 сут (рисунок 2).

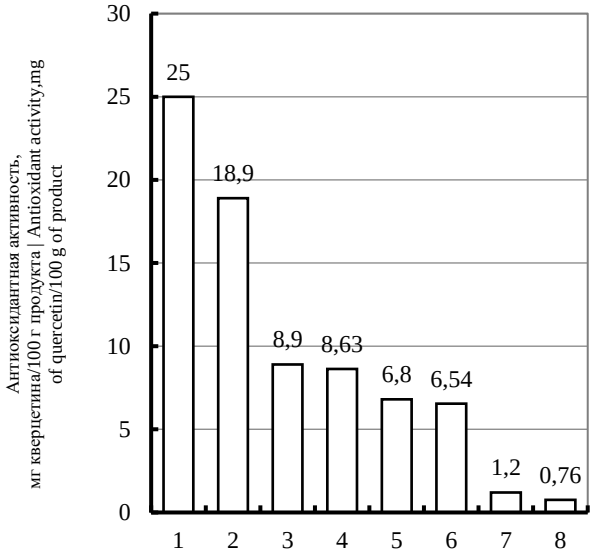


Рисунок 1. Антиоксидантная активность (относительно кверцетина) натурального мёда: 1 – гречишного; 2 – подсолнечного; образцов желейного мармелада на основе мёда: 3 – «Гречишный» до хранения; 4 – «Гречишный» после 180 сут хранения; 5 – «Подсолнечный» до хранения; 6 – «Подсолнечный» после 180 сут хранения; 7 – контрольный образец до хранения; 8 – контрольный образец после 180 сут хранения

Figure 1. Antioxidant activity (relative to quercetin) of natural honey: 1 – buckwheat; 2 – sunflower; samples of jelly marmalade based on honey: 3 – "Buckwheat" before storage; 4 – "Buckwheat" after 180 days of storage; 5 – "Sunflower" before storage; 6 – "Sunflower" after 180 days of storage; 7 – control sample before storage; 8 – control sample after 180 days of storage

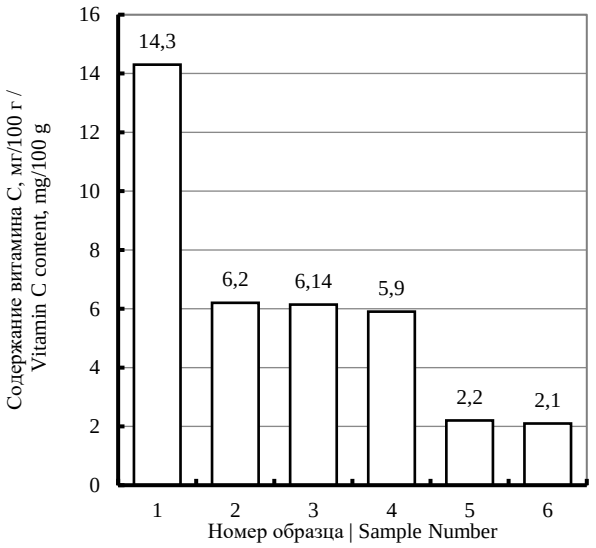


Рисунок 2. Содержание витамина *С* в натуральном мёде: 1 – гречишном; 2 – подсолнечном; в образцах желейного мармелада на основе мёда: 3 – «Гречишный» до хранения; 4 – «Гречишный» после 180 сут хранения; 5 – «Подсолнечный» до хранения; 6 – «Подсолнечный» после 180 сут хранения

Figure 2. Vitamin *C* content in natural honey: 1 – buckwheat; 2 – sunflower; in the samples of jelly marmalade based on honey: 3 – "Buckwheat" before storage; 4 – "Buckwheat" after 180 days of storage; 5 – "Sunflower" before storage; 6 – "Sunflower" after 180 days of storage

Содержание витамина *С* в гречишном мёде составило 14,3 мг/100 г продукта, в подсолнечном меньше – 6,2 мг/100 г продукта. На конец срока хранения мармелада потери витамина *С* были незначительны и составили – 3,9 % (для мармелада «Гречишный») и 4,5 % (для мармелада «Подсолнечный»), что объясняется наличием большого количества флаваноидных соединений в мёде, которые предотвращают окислительные процессы, а также отсутствием доступа света и кислорода воздуха при хранении за счет формования мармеладной массы в полимерную барьерную оболочку термоспаиванием.

Проведенные исследования по определению антиоксидантной активности и содержанию витамина *С* для образцов желейного мармелада «Гречишный» и «Подсолнечниковый» позволяют сделать вывод о том, что мёд является натуральным источником антиоксидантов и может применяться в пищевой промышленности для торможения процессов окисления, происходящих в продуктах питания при их хранении.

Оценку микробиологических показателей желейного мармелада на основе гречишного мёда определяли по общему количеству мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, плесневых грибов и дрожжей. В результате исследований выявили, что плесени и дрожжи в исследуемых образцах отсутствуют на протяжении всего срока хранения, а КМАФАнМ составляют – менее 1×10^2 КОЕ/г, что соответствует требованиям, предъявляемым ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (таблица 6) [15, 16].

Таблица 6.

Микробиологические показатели желейного мармелада на основе натурального мёда

Table 6.

Microbiological indicators of jelly marmalade based on natural honey

Микробиологические показатели Microbiological indicators	ТР ТС 021 2011 Customs Union 021/2011	Хранение мармелада на основе гречишного мёда, сут Storage of marmalade based on buckwheat honey, day					
		отформован в жёсткие формы и упакован в картонные коробки molded into rigid shapes and packed in cardboard boxes			отформован методом шприцевания и упакован в полимерную барьерную оболочку molded by syringing and packed in a polymer barrier shell		
		0	90	180	0	90	180
КМАФАнМ, КОЕ/г QMAFAnM, CFU/g	$<1\times10^3$	$<1\times10^2$	1×10^2	1×10^2	$<1\times10^2$	$<1\times10^2$	$<1\times10^2$
Дрожжи, КОЕ/г | Yeast, CFU/g	<50	Отсутствуют Missing					
Плесени, КОЕ/г | Mold, CFU/g	<100						

Применение полимерной оболочки в качестве упаковочного материала, который обладает высокой влаго- и жиронепроницаемостью, предотвращает десорбцию влаги с поверхности мармелада, а использование мёда, за счет его антибактериальных свойств, позволяет мармеладу в течение длительного срока хранения не подвергаться микробиологической порче. Антибактериальные свойства мёда обусловлены присутствием фитонцидов, эфирных масел, флавоноидов, бензойной кислотой, которые поступают в мёд из растений. Противомикробные свойства мёда носят комплексный характер и определяются целым рядом его компонентов. Считают, что формирование этих свойств обусловлено нектаром, секретом слюнных желез пчел, а также пыльцой, прополисом, воском, с которыми мёд контактирует в улье [6].

Таким образом, оценивая изменения показателей качества желейного мармелада на основе натурального мёда при хранении, можно сделать вывод о том, что полимерная барьерная оболочка «Амифлекс Мини» способствует сохранению свойств желейного мармелада и тем самым увеличению срока его хранения до 6 месяцев.

Анализ расчета пищевой и энергетической ценности, степень удовлетворения суточной потребности в пищевых веществах в соответствии с формулой сбалансированного питания [17] при употреблении 100 г желейного мармелада «Желейный формовой» по традиционной технологии и «Гречишный» на основе гречишного мёда представлены в таблица 7, 8.

Таблица 7.

Пищевая и энергетическая ценность желейного мармелада

Table 7.

Nutritional and energy value of jelly marmalade

Образец Samples	Содержание в 100 г. мармелада, г Content in 100 g of marmalade, g			Энергетическая ценность, кДж Energy value, kJ (ккал)
	Белок | Protein	Жиры | Fats	Углеводы | Carbohydrates	
«Желейный формовой» | «Jelly mold»	0,1	0,1	82	1273 (304)
«Гречишный» | «Buckwheat»	1,0	–	59	971 (232)

Таблица 8.

Степень удовлетворения суточной потребности в пищевых веществах при употреблении 100 г. желейного мармелада

Table 8.

The degree of satisfaction of the daily need for nutrients when using 100 g of jelly marmalade

Вещество Substances	Суточная потребность Daily requirement	«Желейный формовой» Jelly mold		«Гречишный» Buckwheat	
		Содержание в 100 г. Content in 100 g	Степень удовлетворения Degree of satisfaction, %	Содержание в 100 г. Content in 100 g	Степень удовлетворения Degree of satisfaction, %
Белки, г | Proteins, g	80	0,1	0,1	1,0	1,3
Жиры, г | Fats, g	80	0,1	0,1	–	–
Углеводы, г | Carbohydrates, g	400	82	21	59	15
Органические кислоты, г | Organic acids, g	2	1,2	60	1,0	50
Натрий, мг | Sodium, mg	1300	0,61	0,1	7,31	0,6
Калий, мг | Potassium, mg	2500	1,84	0,1	26,30	1,1
Кальций, мг | Calcium, mg	1000	10,69	1,1	10,23	1,0
Магний, мг | Magnesium, mg	400	4,47	1,1	2,19	0,6
Фосфор, мг | Phosphorus, mg	800	4,73	0,6	13,15	1,6
Железо, мг | Iron, mg	10	0,026	0,3	0,58	5,9
Медь, мг | Copper, mg	1	0	0	0,47	4,7
Витамин B_1, мг | Vitamin B_1, mg	1,5	0	0	0,01	0,5
Рибофлавин B_2, мг | Riboflavin B_2, mg	1,8	0	0	0,02	1,2
Витамин С, мг | Vitamin C, mg	90	0	0	6,10	6,8
Энергетическая ценность кДж (ккал) Energy value kJ (kcal)	11704 (2795)	1273 (304)	10,9	971 (232)	8,3

Расчеты пищевой и энергетическую ценности желейного мармелада на основе натурального мёда по сравнению с образцом мармелада «Желейным формовым» показали, что замена сахара и патоки на мёд, а также увеличение влажности готового изделия, обуславливают снижение углеводов – на 28 %, энергетической ценности – на 301,49 кДж (72 ккал), повышение пищевой ценности за счет увеличения содержания в продукте витаминов, минеральных веществ, органических кислот, ферментов, при этом удовлетворение потребности взрослого человека при употреблении 100 г мармелада на мёде в органических кислотах составляет – 50%, витамине *С* – 6,8%, в железе – 5,9%, в меди – 4,7%, в фосфоре – 1,6%, калии – 1,1%, кальции – 1,0%.

Заключение

На основе проведенных исследований установлено, что замена сахара и патоки крахмальной в рецептуре желейного мармелада на натуральный мёд, использование нового способа формования и упаковки мармелада в полимерную барьерную оболочку, приводит к снижению сахароемкости, калорийности изделия, повышению его пищевой ценности, антиоксидантой активности, антибактериальных свойств за счёт внесения с мёдом эссенциально важных для организма человека веществ (витаминов группы *В, С*, антиоксидантов, антисептиков, ферментов, минеральных веществ и др.), продлению срока годности мармелада до 6 месяцев. Данная работа представляет практический интерес, так как повседневное употребление разработанного изделия способствует повышению иммунитета, жизненного тонуса, нормализации обмена веществ, укреплению сердечной мышцы, нервной системы, улучшению усвоения пищи, работы желудочно-кишечного тракта и др. Разработанный желейный мармелад диетического назначения можно рекомендовать, в первую очередь детям в период их роста, пожилым людям, спортсменам и взрослым при большой физической нагрузке, страдающим ожирением.

Литература

1 Кузнецова О.Ю. Разработка кондитерских мармеладных изделий функционального назначения // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 20. С. 206–210.

2 Солдатова Е.А., Мистенева С.Ю., Савенкова Т.В. Условия и критерии обеспечения хранимоспособности кондитерских изделий // Пищевая промышленность. 2019. № 5. С. 82–85. doi: 10.24411/0235–2486–2019–10078

3 Магомедов Г.О., Плотникова И.В., Лобосова Л.А. Перспективы использования патоки в технологии производства низкокалорийных кондитерских изделий // Кондитерское производство. 2015. № 5. С. 6–11.

4 Иоргачева Е.Г., Аветисян К.В. Регулирование качества желейного мармелада с измененным углеводным составом // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. № 2/11 (80). С. 48–56. doi: 10.15587/1729–4061.2016.65768

5 Табаторович А.Н., Резниченко И.Ю. Обоснование рецептур и оценка качества желейного мармелада на основе настоя лепестков розеллы (Hibiscus sabdariffa L.) // Пищевая промышленность. 2019. №. 5. С. 66-71.

6 Крылова Э.Н., Савенкова Т.В., Кондратьев Н.Б., Маврина Е.Н. Технология производства желейного мармелада, обогащенного белком // Пищевая промышленность. 2018. №. 11. С. 17-19.

7 Данильчук Ю.В. Оценка качества мёда на основе мониторинга его физико-химических свойств // Сахар. 2012. № 9. С. 37–40.

8 Заикина В.И. Экспертиза мёда и способы обнаружения его фальсификации. М.: Дашков и К, 2012. 165 с.

9 Магомедов Г.О., Плотникова И.В., Магомедов М.Г., Трощенко В.В. Оценка качества желейного мармелада с различным углеводным составом // Известия вузов. Пищевая технология. 2018. № 1. С. 69–73. doi: 10.26297/0579–3009.2018.1.20

10 Иоргачева Е.Г., Аветисян К.В. Регулирование качества желейного мармелада с измененным углеводным составом // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. Т. 2. №. 11 (80). С. 48-56.

11 Artamonova M., Piliugina I., Aksonova O. Study of properties of jelly-fruit marmalade with herbal additives // BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. V. 30. P. 01003. doi: 10.1051/bioconf/20213001003

12 Kondratev N.B., Osipov M.V., Rudenko O.S., Kazantsev E.V. et al. The main factors of marmalade molecular structure formation // Food systems. 2021. V. 4. №. 3. P. 172-179. doi: 10.21323/2618-9771-2021-4-3-172-179

13 Пискуненко К.Р., Попов В.Г. Тенденции производства мармелада функциональной направленности // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 2. С. 72–76. doi: 10.20914/2310–1202–2020–2–72–76

14 Plotnikova I.V., Zharkova I.M., Magomedov G.O., Magomedov M.G. et al. Forecasting and quality control of confectionery products with the use of "water activity" indicator // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 640(6). P. 062003. doi: 10.1088/1755–1315/640/6/062003

15 Iorgachova K., Avetisian K. Quality adjustment for jelly marmalade of a modified carbohydrate structure // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. V. 2. №. 11. P. 48-56. doi: 10.15587/1729-4061.2016.65768

16 Жаркова И.М., Малютина Т.Н. Безопасность продовольственного сырья и продуктов питания // Современные проблемы науки и образования. 2009. № 1. С. 28–29.

17 Пономарева Е.И., Алехина Н.Н., Лукина С.И., Малютина Т.Н. и др. Практикум по введению в технологии продуктов питания (оценка качества сырья). Воронеж: ВГУИТ, 2013. 192 с.

18 Krylova E.N., Savenkova T.V., Rudenko O.S., Mavrina E.N. The use of milk protein in the production of jelly products // Food processing: Techniques and Technology. 2018. V. 48. №. 3. P. 58-64. doi: 10.21603/2074-9414-2018-3-58-64

19 Belozertseva O., Baibolova L., Pronina Y., Cepeda A. et al. The study and scientifical substantiation of critical control points in the life cycle of immunostimulating products such as pastila and marmalade // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. V. 5. №. 11. P. 113. doi:10.15587/1729-4061.2021.241526

20 Perfilova O.V., Babushkin V.A., Magomedov G.O., Magomedov M.G. Quality of jelly marmalade from fruit and vegetable semi-finished products // International Journal of Pharmaceutical Research. 2018. V. 10. №. 4. P. 721-724. doi: 10.31838/ijpr/2018.10.04.124

References

1 Kuznetsova O.Yu. Development of functional confectionery marmalade products. Bulletin of the Kazan Technological University. 2013. vol. 16. no. 20. pp. 206–210. (in Russian).

2 Soldatova E.A., Misteneva S.Yu., Savenkova T.V. Conditions and criteria for ensuring the storage capacity of confectionery. Food industry. 2019. no. 5. pp. 82–85. doi: 10.24411/0235–2486–2019–10078 (in Russian).

3 Magomedov G.O., Plotnikova I.V., Lobosova L.A. Prospects for the use of molasses in the technology of low-calorie confectionery production. Confectionery production. 2015. no. 5. pp. 6–11. (in Russian).

4 Iorgacheva E.G., Avetisyan K.V. Regulation of the quality of jelly marmalade with a modified carbohydrate composition. Eastern European Journal of Advanced Technologies. 2016. no. 2/11 (80). pp. 48–56. doi: 10.15587/1729–4061.2016.65768 (in Russian).

5 Tabatorovich A.N., Reznichenko I.Yu. Substantiation of recipes and assessment of the quality of jelly marmalade based on infusion of rosella petals (Hibiscus sabdariffa L.). Food industry. 2019. no. 5. pp. 66-71. (in Russian).

6 Krylova E.N., Savenkova T.V., Kondratiev N.B., Mavrina E.N. Production technology of jelly marmalade enriched with protein. Food industry. 2018. no. 11. pp. 17-19. (in Russian).

7 Danilchuk Yu.V. Assessment of the quality of honey based on monitoring of its physical and chemical properties. Sugar. 2012. no. 9. pp. 37–40. (in Russian).

8 Zaikina V.I. Examination of honey and methods for detecting its falsification. Moscow, Dashkov i K, 2012. 165 p. (in Russian).

9 Magomedov G.O., Plotnikova I.V., Magomedov M.G., Troshchenko V.V. Evaluation of the quality of jelly marmalade with different carbohydrate composition. Izvestiya vuzov. Food technology. 2018. no. 1. pp. 69–73. doi: 10.26297/0579–3009.2018.1.20 (in Russian).

10 Iorgacheva E.G., Avetisyan K.V. Regulation of the quality of jelly marmalade with a modified carbohydrate composition. Eastern European Journal of Advanced Technologies. 2016. vol. 2. no. 11 (80). pp. 48-56. (in Russian).

11 Artamonova M., Piliugina I., Aksonova O. Study of properties of jelly-fruit marmalade with herbal additives. BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. vol. 30. pp. 01003. doi: 10.1051/bioconf/20213001003

12 Kondratev N.B., Osipov M.V., Rudenko O.S., Kazantsev E.V. et al. The main factors of marmalade molecular structure formation. Food systems. 2021. vol. 4. no. 3. pp. 172-179. doi: 10.21323/2618-9771-2021-4-3-172-179

13 Piskunenko K.R., Popov V.G. Trends in the production of functional marmalade. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 2. pp. 72–76. doi: 10.20914/2310-1202-2020-2-72-76 (in Russian).

14 Plotnikova I.V., Zharkova I.M., Magomedov G.O., Magomedov M.G. et al. Forecasting and quality control of confectionery products with the use of "water activity" indicator. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. vol. 640(6). pp. 062003. doi: 10.1088/1755–1315/640/6/062003

15 Iorgachova K., Avetisian K. Quality adjustment for jelly marmalade of a modified carbohydrate structure. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. vol. 2. no. 11. pp. 48-56. doi: 10.15587/1729-4061.2016.65768

16 Zharkova I.M., Malyutina T.N. Safety of food raw materials and food products. Modern problems of science and education. 2009. no. 1. pp. 28–29. (in Russian).

17 Ponomareva E.I., Alekhina N.N., Lukina S.I., Malyutina T.N. et al. Workshop on introduction to food technology (assessment of the quality of raw materials). Voronezh, VSUET, 2013. 192 p. (in Russian).

18 Krylova E.N., Savenkova T.V., Rudenko O.S., Mavrina E.N. The use of milk protein in the production of jelly products. Food processing: Techniques and Technology. 2018. vol. 48. no. 3. pp. 58-64. doi: 10.21603/2074-9414-2018-3-58-64

19 Belozertseva O., Baibolova L., Pronina Y., Cepeda A. et al. The study and scientifical substantiation of critical control points in the life cycle of immunostimulating products such as pastila and marmalade. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. vol. 5. no. 11. pp. 113. doi:10.15587/1729-4061.2021.241526

20 Perfilova O.V., Babushkin V.A., Magomedov G.O., Magomedov M.G. Quality of jelly marmalade from fruit and vegetable semi-finished products. International Journal of Pharmaceutical Research. 2018. vol. 10. no. 4. pp. 721-724. doi: 10.31838/ijpr/2018.10.04.124

Сведения об авторах

Газибег О. Магомедов 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, gazibeck.magomedov@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-7201-8387

Инесса В. Плотникова к.т.н., доцент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, plotnikova_2506@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-5959-6652

Анастасия А. Литвинова к.т.н., доцент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, a.a.litvinova-vgta@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-7004-1420

Магомед Г. Магомедов 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, mmg@inbox.ru
https://orcid.org/0000-0003-2494-4973

Виктор Е. Плотников студент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, viktor_plotnikov_1999@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6707-8337

Вклад авторов

Газибег О. Магомедов предложил методику проведения эксперимента, консультировал в ходе исследования
Инесса В. Плотникова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Анастасия А. Литвинова провела эксперимент, выполнила расчёты
Магомед Г. Магомедов предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания
Виктор Е. Плотников провел обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Gazibeg O. Magomedov 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, gazibeck.magomedov@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-7201-8387

Inessa V. Plotnikova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, plotnikova_2506@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-5959-6652

Anastasiia A. Litvinova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, a.a.litvinova-vgta@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-7004-1420

Magomed G. Magomedov 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, mmg@inbox.ru
https://orcid.org/0000-0003-2494-4973

Viktor E. Plotnikov student, machines and apparatuses of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, viktor_plotnikov_1999@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6707-8337

Contribution

Gazibeg O. Magomedov suggested the methodology of the experiment, advised during the study
Inessa V. Plotnikova she wrote the manuscript, corrected it before submitting it to the editorial office and is responsible for plagiarism
Anastasiia A. Litvinova she conducted an experiment, performed calculations
Magomed G. Magomedov he proposed a methodology for conducting the experiment and organized production tests
Viktor E. Plotnikov he conducted a review of the literature sources on the problem under study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 05/04/2022	**После редакции** 28/04/2022	**Принята в печать** 18/05/2022
Received 05/04/2022	**Accepted in revised** 28/04/2022	**Accepted** 18/05/2022

Химическая технология

Chemical Technology

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-210-220 Оригинальная статья/Research article

УДК 542.06 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Исследование получения нановолокон из водных растворов поливинилового спирта методом электроспиннинга

Анна В. Лебедева [1] alebedeva2000@gmail.com 0000-0002-4188-4450
Ньунг Т. Х. Ву [1] vuhongnhungs@gmail.com 0000-0002-8462-4923
Роман О. Олехнович [1] r.o.olekhnovich@mail.ru 0000-0002-6894-1224
Светлана Н. Морозкина [1] i_norik@mail.ru 0000-0003-0122-0251
Майя В. Успенская [1] mv_uspenskaya@mail.ru 0000-0003-2510-2639

1 Центр Химической Инженерии, Университет ИТМО, Кронверкский пр., д.49, лит. А., г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

Аннотация. Поливиниловый спирт (ПВС) относится к полимерам, которые обладают большим потенциалом применения в медицине и технике. Особенно большой интерес вызывает возможность его применения в медицине в составе нановолокон, из-за его хорошей растворимости в воде, высокой биологической совместимости и нетоксичности. ПВС используют для различных фармацевтических и биомедицинских целей, как носитель для доставки белковых и лекарственных препаратов, в качестве перевязочных материалов, материалов для фильтров и как искусственные органы. В настоящее время разработано множество систем доставки лекарств, таких как гидрогели или сложные электронные микрочипы. Наностуктурные материалы особенно выгодны для быстрого высвобождения лекарств из-за их высокого отношения площади поверхности к объему. Как натуральные, так и синтетические полимеры, могут быть использованы для производства нановолоконных материалов, но сочетание разных полимеров (синтетических и натуральных) и внедрение в них различных биологически активных веществ обеспечивает особые свойства готовым материалам. В работе были исследованы свойства водных растворов на основе поливинилового спирта: электропроводность, вязкость и pH. Было изучено влияние технологических параметров процесса электроформования на получение нановолокон из водных растворов ПВС. Определена оптимальная концентрация ПВС для формирования наноструктур, равная 8 масс.%. При этой концентрации раствор ПВС имеет электропроводность, вязкость и pH равные 571 мкСм/см, 107,23 мПа·с и 6,14 соответственно. В рамках исследования получены параметры процесса электроформования, обеспечивающие возможность получения нановолокон диаметром около 170 нм: расстояние между иглой и коллектором 140 мм, скорость подачи прядильного раствора 0,2 мл/ч и напряжение между иглой и коллектором 30 кВ.

Ключевые слова: поливиниловый спирт, электроформование, технологические параметры, диаметр нановолокон, получение нановолокон

Investigation of the fabrication of nanofibers from aqueous polyvinyl alcohol solutions by electrospinning

Anna V. Lebedeva [1] alebedeva2000@gmail.com 0000-0002-4188-4450
Nhung T.H. Vu [1] vuhongnhungs@gmail.com 0000-0002-8462-4923
Roman O. Olekhnovich [1] r.o.olekhnovich@mail.ru 0000-0002-6894-1224
Svetlana N. Morozkina [1] i_norik@mail.ru 0000-0003-0122-0251
Maya V. Uspenskaya [1] mv_uspenskaya@mail.ru 0000-0003-2510-2639

1 Chemical Engineering Center, ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A, St. Petersburg, 197101, Russia

Abstract. Polyvinyl alcohol (PVA) refers to polymers that have great potential for medical and technical applications. Especially, the possibility of its medical application in nanofibres is of great interest due to its good water solubility, high biocompatibility and non-toxicity. PVA is used for various pharmaceutical and biomedical purposes, as a carrier for the delivery of proteins and drugs, as dressings, filter materials, and as artificial organs. Currently, many drug delivery systems have been developed, such as hydrogels or complex electronic microchips. Nanostructural materials are particularly advantageous for rapid drug release due to their high surface area to volume ratio. Both natural and synthetic polymers can be used to produce nanofiber materials, but the combination of different polymers (synthetic and natural) and the incorporation of various biologically active substances into them provides special properties to the finished materials. In this work, the properties of aqueous solutions based on polyvinyl alcohol were investigated: electrical conductivity, viscosity and pH. The influence of technological parameters of electroforming process on obtaining nanofibers from aqueous solutions of PVA. The optimum PVA concentration for the formation of nanostructures was determined equal to 8 wt.%. At this concentration, the PVA solution has electrical conductivity, viscosity and pH equal to 571 μS/cm, 107.23 mPa·s and 6.14 respectively. As part of the study, the electroforming process parameters were obtained to enable the production of nanofibers with a diameter of about 170 nm: distance between needle and collector 140 mm, spinning solution feed rate 0.2 ml/h and voltage between needle and collector 30 kV.

Keywords: polyvinyl alcohol, electrospinning, process conditions, nanofiber diameter, production of nanofibers

Для цитирования

Лебедева А.В., Ву Т.Х.Н., Олехнович Р.О., Морозкина С.Н., Успенская М.В. Исследование получения нановолокон из водных растворов поливинилового спирта методом электроспиннинга // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 210–220. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-210-220

For citation

Lebedeva A.V., Vu T.H.N., Olekhnovich R.O., Morozkina S.N., Uspenskaya M.V. Investigation of the fabrication of nanofibers from aqueous polyvinyl alcohol solutions by electrospinning. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 210–220. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2-210-220

© 2022, Лебедева А.В. и др. / Lebedeva A.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 разработано несколько способов получения полимерных нановолокон: вытягивание, темплатный синтез и электроформование. Одним из наиболее перспективных способов получения нановолокон и наночастиц из растворов полимеров является процесс электроформования. Электроформование – это процесс, который приводит к получению нановолокон в результате действия электростатических сил на электрически заряженную струю полимерного раствора или расплава [1–2]. За счёт варьирования технологических параметров процесса электроформования можно получить структуры различной степени упорядоченности [2].

Одним из наиболее распространенных полимеров, используемых для получения материалов методом электроформования, является поливиниловый спирт (ПВС). Поливиниловый спирт (ПВС) является полукристаллическим гидрофильным полимером с хорошей химической и термической стабильностью [3–4]. Основным преимуществом ПВС является его биоразлагаемость в физиологических средах. ПВС является нетоксичным и биосовместимым материалом, не оказывает негативного воздействия на животных и не наносит никаких повреждений коже при контакте. Сочетание ПВС с другими биоразлагаемыми полимерами, такими как полисахариды, биополиэфиры и биоразлагаемые синтетические полиэфиры, может привести к производству универсальных композиций, на основе которых можно получить биоразлагаемые композиты с широким спектром свойств [5].

ПВС используют для различных фармацевтических и биомедицинских целях, как носитель для доставки белковых и лекарственных препаратов [6–9], в качестве перевязочных материалов [10–11], материалов для фильтров [12–13] и как искусственные органы [14]. В настоящее время разработано множество систем доставки лекарств, таких как гидрогели или сложные электронные микрочипы. Наностуктурные материалы особенно выгодны для быстрого высвобождения лекарств из-за их высокого отношения площади поверхности к объему [15].

Как натуральные, так и синтетические полимеры, могут быть использованы для производства нановолоконных материалов, но сочетание разных полимеров (синтетических и натуральных) и внедрение в них различных биологически активных веществ обеспечивает особые свойства готовым материалам [16].

В статье [16] представлен обзор лекарственных растений, используемых при разработке нановолокнистых структур методом электроспининга для тканевой инженерии в качестве раневых повязок. В работах [15–19] рассматривается совместное применение нановолокон на основе ПВС с внедренными различными биологически активными веществами. В исследованиях [17–18] представлены результаты получения методом электроформования биосовместимых тканных материалов для тканевой инженерии на основе альгината натрия и жидкого экстракта алоэ вера с ПВС. Был исследован процесс высвобождения экстракта алоэ вера из полимерной матрицы.

Разработанные полимерные композиции на основе нановолокон потенциально могут использоваться в качестве средств для доставки лекарственных препаратов и БАВ благодаря их эффективности и способности к пролонгированному высвобождению лекарств. Морфология и свойства волокон зависят от трех основных параметров: параметры прядильного раствора, такие, как концентрация полимерного раствора; параметры получения, такие как напряжение и расход раствора; а также параметры окружающей среды, такие как температура и влажность [19].

Диаметр волокон, удельная площадь поверхности, размер и общий объем пор существенно влияют на диффузию жидкости, в которую погружены нановолокна, и оказывают влияние на высвобождение лекарственного средства и БАВ.

Преимущество нановолокнистых материалов заключается в том, что их структура, а именно, диаметр волокна, плотность и толщина слоя нановолокон могут контролироваться путем изменения параметров процесса [15].

В работах [2, 20–23] представлены результаты исследований по получению нановолокон из ПВС в концентрации от 7,5 до 12% [2, 20–21, 23], а в работе [22] были получены волокна из 25% водного раствора ПВС. Разброс значений диаметров в данных исследованиях составил 100–700 нм в зависимости от различных технологических режимов и концентраций прядильного раствора.

Целью работы явилось исследование процесса получения нановолокон но основе ПВС из водных растворов в зависимости от различных технологических параметров для улучшения свойств получаемых нановолокон и расширения области их применения.

Материалы и методы

Материалы

В работе использованы: поливиниловый спирт (ПВС) производства «ЛенРеактив» марки 16/1 (тех) ГОСТ 10779–78, дистиллированная вода ГОСТ 6709–72.

Методы получения

Для получения нановолокон были приготовлены водные растворы ПВС с концентрацией полимера от 5 до 9% по массе. Растворы готовили на магнитной мешалке при температуре 90 °С путём постепенного добавления навески ПВС в необходимый объём воды, общая масса раствора составляла 10 грамм. После добавления всей навески полимера перемешивание продолжалось до полного его растворения. Полученные растворы оставляли при комнатной температуре для охлаждения и деаэрации.

Формирование волокон проводили на приборе NANON-01A (МЕСС CO., LTD., Япония) путём контролируемого электроспиннинга водных растворов ПВС на предметные стёкла (25×75×1 мм), расположенных на плоском стальном коллекторе размером 150×200 мм. Рабочее напряжение варьировали в диапазоне от 16 до 30 кВ. Раствор подавался со скоростью от 0,1 до 0,4 мл/ч. Расстояние между иглой и коллектором изменялось от 100 до 150 мм. Нанесение волокон на предметные стёкла осуществлялось в течение 3–5 мин, после чего образцы сушили на воздухе в течение 24 ч. Условия окружающей среды: температура 28 ± 2 °С, влажность 30 ± 2%.

Методы исследования

Электропроводность и pH прядильных растворов измеряли на кондуктометре WTW inoLab Cond 7110 и pH-метре SevenCompact pH/Cond S213 соответственно. На реометре MCR 502 исследовали вязкость растворов с различной концентрацией ПВС.

Исследование структуры полученных волокон проводили на оптическом измерительном микроскопе Olympus STM6. Для обработки и анализа микрофотографий, а также определения размеров, получаемых наноструктур была использована программа ImageJ. Гистограммы распределения диаметров полимерных нановолокон ПВС были получены с применением программного пакета OriginPro.

Результаты и обсуждение

1. Исследование параметров раствора

Известно, что наибольшее влияние на стабильность процесса электроформования и наличие дефектов в получаемом материале оказывают такие свойства раствора, как динамическая вязкость, коэффициент поверхностного натяжения и удельная объемная электропроводность [1].

С одной стороны вязкость выступает, как нежелательный фактор, увеличивающий потери энергии на преодоление внутреннего трения в жидкой струе, однако, в ряде случаев, это положительный и даже решающий фактор для достижения желаемого результата. Во-первых, увеличение вязкости соответствует более высокой концентрации полимера и, как следствие, большая весовая производительность процесса. Во-вторых, вязкость гасит капиллярные волны, разрушающие жидкую струю, и повышает ее устойчивость. И, наконец, в-третьих, вязкость прядильного раствора связана с его реологическими и прочностными свойствами.

С ростом электропроводности раствора увеличивается вероятность и число последовательных расщеплений дрейфующей, но еще не полностью отвержденной струи, и, соответственно, эффективная скорость волокнообразования, то есть, в конечном счете, производительность процесса электроформования. С повышением электропроводности раствора степень ориентации молекулярных фрагментов в волокне увеличивается [1].

Результаты измерения вязкости, pH и электропроводности растворов представлены в таблице 1 и рисунке 1.

Из данных, представленных на графиках, видно, что с увеличением концентрации ПВС в растворе увеличивается как вязкость, так и электропроводность раствора, в то время как значения pH уменьшаются. Вязкость увеличивается за счет увеличения числа макромолекул полимера в растворе, pH раствора ПВС < 7 и постепенно снижается, что указывает на то, что раствор имеет кислую среду, т. е. молекулы ПВС диссоциируют на H + в растворе. Этим объясняется уменьшение значения pH и увеличение электропроводности с увеличением количества ПВС в растворе.

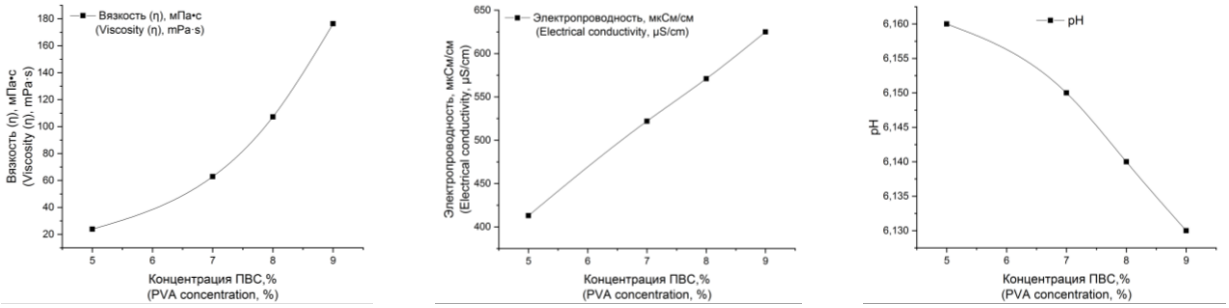
Таблица 1.

Свойства растворов на основе ПВС

Table 1.

Properties of solutions based on PVA

Концентрация ПВС, % PVA concentration, %	Вязкость (η), мПа×с Viscosity (η), mPa×s	Электропроводность, мкСм/см Electrical conductivity, μS/cm	pH
5	23,868	413	6,16
7	62,853	522	6,15
8	107,23	571	6,14
9	176,35	625	6,13



(a) (b) (c)

Рисунок 1. Свойства растворов на основе ПВС: (a) – вязкость, (b) – электропроводность, (c) – pH

Figure 1. Properties of solutions based on PVA: (a) – viscosity, (b) – electrical conductivity, (c) – pH

2. Влияние концентрации полимера на формирование волокон ПВС

Для исследования возможности изготовления нановолокон, были приготовлены растворы ПВС с концентрациями от 5% до 9%. Определение оптимальной концентрации для изготовления нановолокон ПВС было первоначально зарегистрировано путем наблюдения за процессом электропрядения с изменяемыми параметрами, включая расстояние игла-электрод, скорость расхода прядильного раствора и напряжение между иглой и осадительным электродом.

Экспериментальные данные по образованию нановолокон ПВС в зависимости от концентрации представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты образования нановолокон в экспериментах по электроспиннингу ПВС из водных растворов

Table 2.

Results of formation of nanofibers in experiments on electrospinning of PVA from aqueous solutions

Расстояние между иглой и коллектором, мм Distance between needleand collector, mm	Скорость подачи раствора, мл/ч Spinning solution feed rate, ml/h	Концентрация ПВС, % PVA concentration, %	Напряжение, кВ | Voltage, kV									
			16	18	20	22	24	26	27	28	29	30
150	0,1	5	-	O	+	+	+	+	+	+	+	+
		6	-	O	O	+	+	+	+	+	+	+
		7	O	O	O	+	+	+	+	+	+	+
		8	O	O	o	+	+	+	+	+	+	+
		9	-	O	O	+	+	+	+	+	+	+
	0,2	5	-	O	O	+	+	+	+	+	+	+
		6	-	O	O	+	+	+	+	+	+	+
		7	O	O	o	+	+	+	+	+	+	+
		8	-	O	O	+	+	+	+	+	+	+
		9	-	O	O	+	+	+	+	+	+	+
140	0,1	5	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
		6	-	-	O	+	+	+	+	+	+	+
		7	O	O	o	+	+	+	*	+	+	+
		8	-	O	+	+	+	+	+	+	+	+
		9	-	O	O	+	+	+	+	*	+	+
	0,2	5	-	-	+	+	+	+	+	+	+	*
		6	-	-	O	+	+	+	+	+	+	+
		7	O	O	o	+	+	+	+	+	+	+
		8	-	O	+	+	+	+	+	+	+	+
		9	-	-	O	+	+	*	+	*	+	+
120	0,1	5	-	-	+	+	+	+	*	*	+	+
		6	-	O	O	+	+	+	+	+	+	+
		7	O	O	o	+	+	+	+	*	*	*
		8	O	O	+	+	+	+	+	+	+	+
		9	-	-	*	+	+	+	+	+	+	+
	0,2	5	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
		6	-	-	O	+	+	+	+	+	+	+
		7	O	O	o	+	+	+	+	+	+	+
		8	-	O	+	+	+	+	+	+	+	+
		9	-	-	O	+	+	*	*	+	+	+
100	0,1	5	-	O	+	+	+	+	+	+	+	+
		6	-	O	+	+	+	+	+	+	+	+
		7	O	O	+	+	+	+	+	+	+	+
		8	-	O	+	+	+	+	+	+	+	+
		9	-	-	O	+	+	+	+	+	+	+
	0,2	5	-	-	+	+	+	+	+	+	+	*
		6	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
		7	O	o	+	+	+	+	+	+	+	+
		8	-	O	+	+	o	+	+	+	+	+
		9	-	-	+	+	+	*	+	+	+	+

Примечание: O – наблюдается много капель и мало волокон; o – наблюдаются капли и волокно; – – нановолокона не наблюдается; + – наблюдается нановолокна, капли отсутствуют; * – процесс получения нановолокон идет нестабильно, прерывается.

Note: O – many drops and few fibers are observed; o – drops and fiber are observed; – – nanofibers are not observed; + – nanofibers are observed, there are no drops; * – the process of obtaining nanofibers is unstable, interrupted

На основании данных, представленных в таблице 2, можно заключить, что лучше всего нановолокна образуются из 8%-ного раствора ПВС во всем диапазоне изменений технологических параметров процесса. При этом, чем меньше расстояние между иглой и коллектором и чем выше напряжение, тем стабильнее процесс формирования волокон.

В таблице 3 представлены фотографии нановолокон, полученных для концентрации ПВС от 5 до 9% при технологических параметрах электроформования: расстояние между иглой и коллектором 120 мм, скорость подачи раствора 0,1 мл / ч, напряжение 30 кВ. Также в таблице 3 представлены гистограммы распределения и в таблице 4 – средние значения диаметра полученных нановолокон.

Таблица 3.

Фотографии нановолокон, полученных из растворов ПВС с концентрациями 5–9%.

Table 3.

Photos of nanofibers obtained from PVA solutions with concentrations of 5–9%.

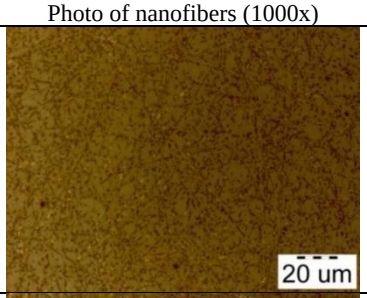
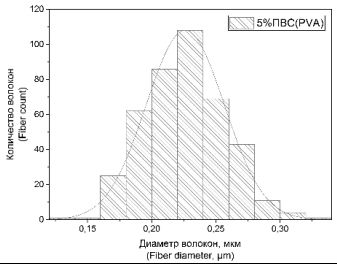
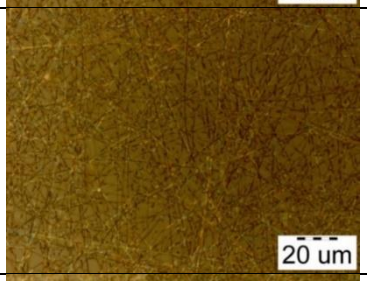
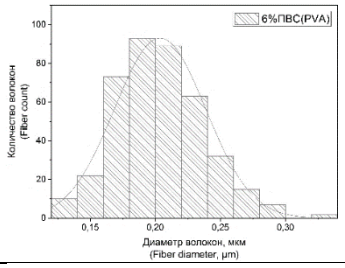
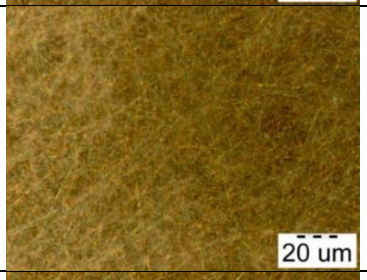
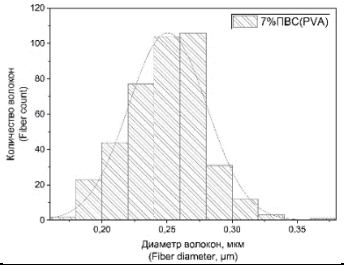
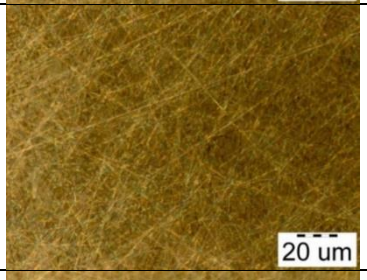
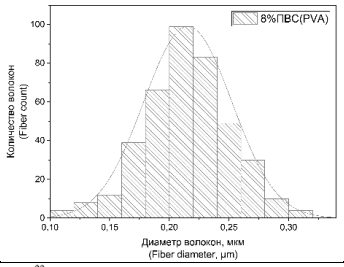
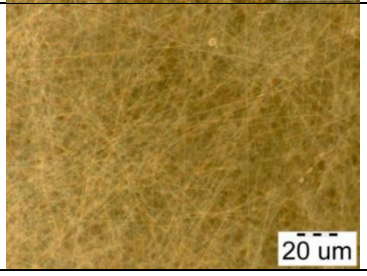
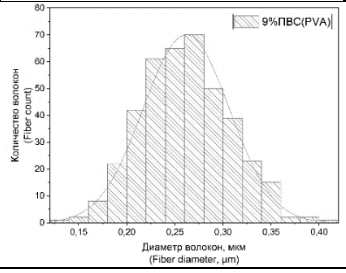
Концентрация ПВС, % PVA concentration, %	Фотография нановолокон (1000х) Photo of nanofibers (1000x)	Гистограмма распределения нановолокон по диаметрам Histogram of nanofibre distribution by diameter
5%		
6%		
7%		
8%		
9%		

Таблица 4.
Средний диаметр нановолокон ПВС
Table 4.
Average diameter of PVA nanofibers

	Концентрация ПВС (масс. %) PVA concentration (wt. %)				
	5	**6**	**7**	**8**	**9**
Средний диаметр нановолокон (нм) Average diameter of PVA nanofibers (nm)	226	204	250	215	262
Стандартное отклонение Standard deviation	30	35	30	37	45

Наименьший средний диаметр имеют волокна, полученные из 6% и 8% растворов ПВС. Однако на микрофотографиях волокон при концентрации 6% обнаруживаются дефекты «бусины» (утолщения волокон). Поэтому оптимальной концентрацией ПВС для формирования волокон в данных условиях электроспининга выбран 8% раствор, с диаметром волокон 215 ± 37нм.

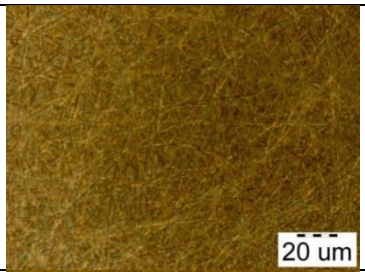
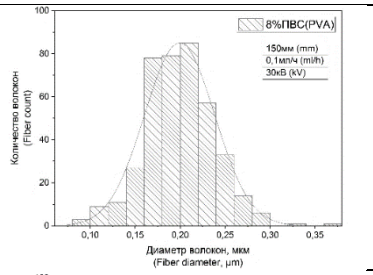
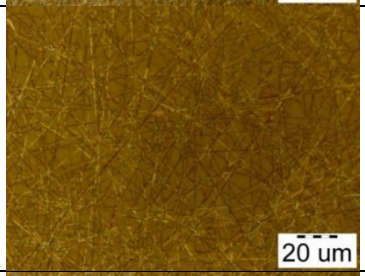
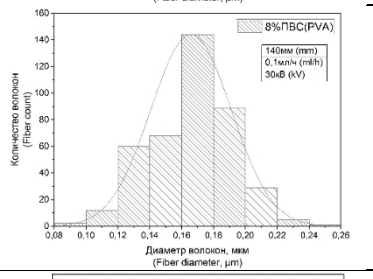
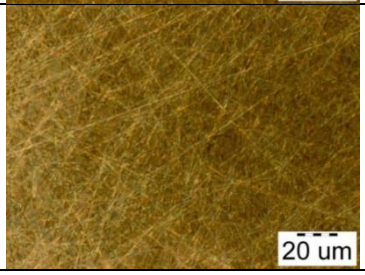
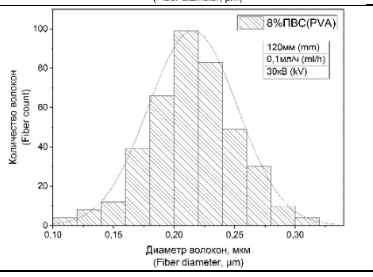
3. Влияние параметров электроформования на получение и характеристики нановолокон ПВС

Было исследовано влияние параметров электроформирования с целью поиска условий для изготовления нановолокон из водных растворов ПВС. Изучаемые параметры включают: расстояние от кончика игла до коллектора (мм), скорость подачи прядильного раствора (мл/ч) и напряжение между иглой и коллектором (кВ).

3.1 Влияние расстояния от иглы до коллектора

Раствор ПВС 8% по массе в воде был электроформован в условиях: расстояние от иглы до коллектора 100–150 мм, скорость подачи раствора 0,1 мл / ч, напряжение 30 кВ. Фотографии нановолокон и гистограммы распределения при различном расстоянии между иглой и коллектором представлены в таблице 5. Значения среднего диаметра нановолокон ПВС, полученных при разном расстоянии иглы от коллектора, представлены в таблице 6.

Таблица 5.
Фотографии 8% ПВС волокон в зависимости от расстояния меду иглой и коллектором
Table 5.
Photos of 8% PVA fibers depending from the distance between the needle and the collector

Расстояние между иглой и коллектором, мм Distance between needle and collector, mm	Фотография нановолокон (1000x) Photo of nanofibers (1000x)	Гистограмма распределения нановолокон по диаметрам | Histogram of nanofibre distribution by diameter
1	2	3
150		
140		
120		

Продолжение таблицы 5 | Continuation of table 5

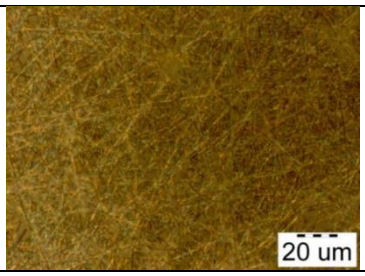
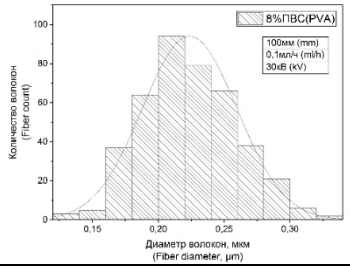
1	2	3
100		

Таблица 6.

Размер волокон ПВС в условиях электроспиннинга: скорость подачи раствора 0,1 мл/ч, напряжение 30 кВ

Table 6.

The size of PVA fibers in electrospinning conditions: spinning solution feed rate 0.1 ml/h, voltage 30 kV

	Расстояние между иглой и коллектором, мм Distance between needle and collector, mm			
	150	**140**	**120**	**100**
Средний диаметр нановолокон (нм) Average diameter of PVA nanofibers (nm)	199	166	215	224
Стандартное отклонение Standard deviation	39	25	37	36

При уменьшении расстояния между иглой и коллектором с 150 до 140, диаметр волокна уменьшается с ~200 нм до ~170 нм. При дальнейшем уменьшении расстояния, диаметр волокна увеличивается. Это может быть объяснено следующими факторами: 1) при малом расстоянии между иглой и электродом у формирующейся струи мало времени на вытяжку; 2) недостаточно времени для испарения растворителя, из-за чего волокна могут склеиваться между собой.

Минимальный средний диаметр 166 нм имеют нановолокна, полученные при расстоянии между иглой и коллектором равному 140 мм.

3.2. Влияние скорости расхода раствора

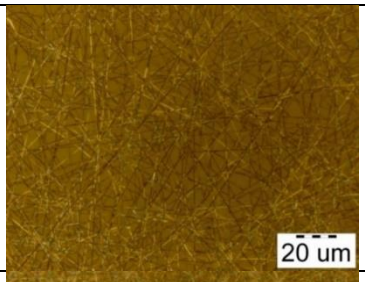
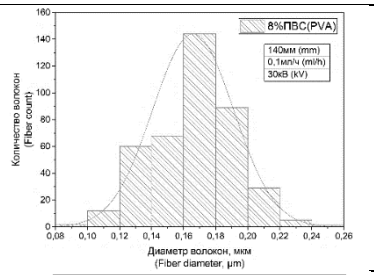
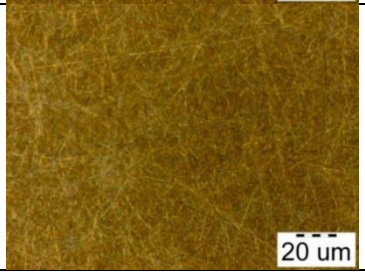
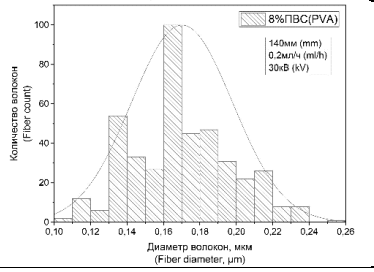
Раствор ПВС 8% по массе в воде был электроформован в условиях: расстояние между иглой и коллектором 140 мм, скорость подачи раствора 0,1–0,4 мл / ч, напряжение 30 кВ. В таблице 7 представлены фотографии нановолокон и гистограммы распределения диаметров волокон, полученных при скорости подачи раствора от 0,1 до 0,4 мл/ч. Средний диаметр нановолокон ПВС, полученных при варьировании скорости подачи раствора представлены в таблице 8.

Таблица 7.

Фотографии 8% ПВС волокон в зависимости от скорости подачи раствора

Table 7.

Photos of 8% PVA fibers depending on the speed of the solution supply

Скорость подачи раствора, мл/ч Spinning solution feed rate, ml/h	Фотография нановолокон (1000x) Photo of nanofibers (1000x)	Гистограмма распределения нановолокон по диаметрам Histogram of nanofibre distribution by diameter
1	2	3
0,1		
0,2		

Продолжение таблицы 7 | Continuation of table 7

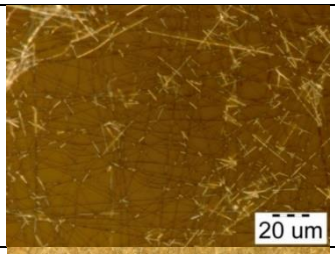
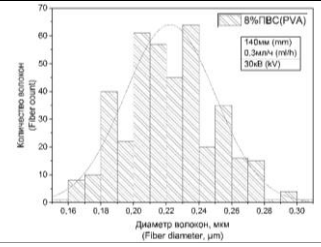
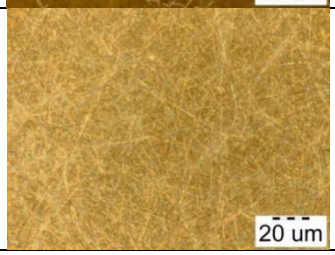
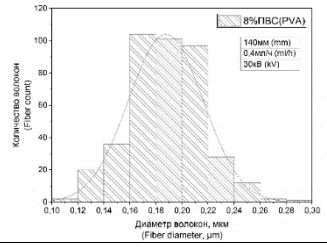
1	2	3
0,3		
0,4		

Таблица 7.

Средний диаметр волокна ПВС в зависимости от скорости подачи раствора

Table 7.

Average diameter of the PVA fiber depending on the feed rate of the solution

	Скорость подачи прядильного раствора, мл/ч Spinning solution feed rate, ml/h			
	0,1	**0,2**	**0,3**	**0,4**
Средний диаметр нановолокон (нм) Average diameter of PVA nanofibers (nm)	166	170	222	187
Стандартное отклонение Standard deviation	25	28	28	29

По мере увеличения скорости подачи раствора увеличивается средний диаметр волокна и, при этом, увеличивается количество дефектов. Минимальное значение среднего диаметра наблюдали при скорости расхода раствора 0,1 и 0,2 мл/ч. С точки зрения производительности выбран расход 0,2 мл/ч, так как при такой скорости процесс будет проходит быстрее, при этом диаметр волокон будет минимальным.

3.3. Влияние напряжения

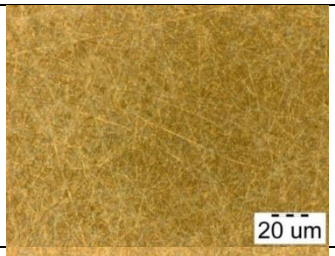
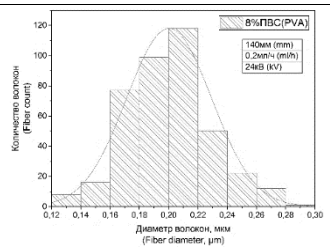
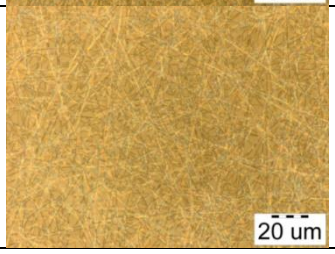
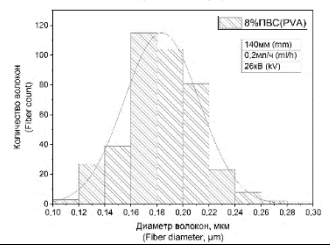
Важным параметром процесса электроспиннинга является напряжение между иглой и коллектором. Нановолокна были получены из 8% раствора ПВС при расстоянии между иглой и коллектором 140 мм, скорость подачи раствор 0,2 мл/ч, напряжение 24–30 кВ. Фотографии полученных нановолокони гистограммы распределения нановолокон по диаметрам при напряжении от 24 до 30 кВ представлены в таблице 9. В табл. 10 – средние значения диаметров.

Таблица 9.

Фотографии 8% ПВС волокон в зависимости от напряжения между иглой и коллектором

Table 9.

Photos of 8% PVA fibers depending from the voltage between the needle and the collector

Напряжение, кВ Voltage, kV	Фотография нановолокон (1000х) Photo of nanofibers (1000x)	Гистограмма распределения нановолокон по диаметрам Histogram of nanofibre distribution by diameter
1	2	3
24		
26		

Продолжение таблицы 9 | Continuation of table 9

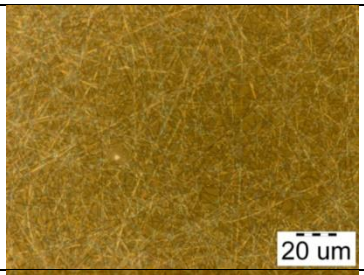
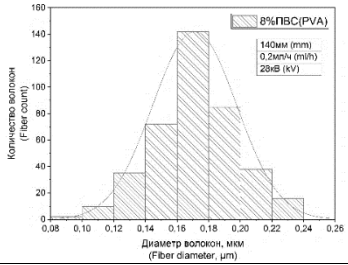
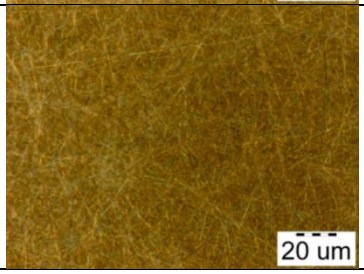
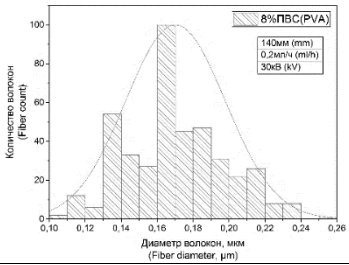
1	2	3
28		
30		

Таблица 8.
Средний диаметр волокна ПВС в зависимости от напряжения между иглой и коллектором

Table 8.
Average diameter of the PVA fiber, depending on the voltage between the needle and the collector

	Напряжение, кВ Voltage, kV			
	24	**26**	**28**	**30**
Средний диаметр нановолокон (нм) Average diameter of PVA nanofibers (nm)	200	184	171	170
Стандартное отклонение Standard deviation	29	29	27	28

По мере увеличения напряжения уменьшается средний диаметр волокна и количество дефектов («бусин» и капель).

Заключение

В работе исследованы условия получения нановолокна на основе водорастворимого и нетоксичного поливинилового спирта (ПВС). Определена оптимальная концентрация ПВС в воде для формирования нановолокон 8 масс.%. Раствор указанной концентрации имеет следующие параметры: электропроводность 571 мкСм/см, вязкость 107,23 мПа×с и pH 6,14. Определены – параметры процесса электроформования: расстояние между иглой и коллектором – 140 мм, скорость подачи прядильного раствора – 0,2 мл/ч и напряжение между иглой и коллектором – 30 кВ.

Литература

1 Перепёлкин К.Е. Физико-химические основы процессов формования химических волокон. М.: Химия, 1978. 320 с.

2 Рыклин Д.Б., Ясинская Н.Н., Демидова М.А., Азарченко В.М. и др. Исследование влияния свойств растворов поливинилового спирта на структуру электроформованных материалов // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2020. № 2(39). С. 130–139. doi:10.24411/2079–7958–2020–13913

3 Qin X.–H., Wang S.–Y. Filtration properties of electrospinning nanofibers // J. Appl. Polym. Sci. 2006. V. 102. P. 1285–1290. doi:10.1002/app.24361

4 Steinbu A., Matsumura S. Biopolymers. Cambridge: Wiley, Weinheim. 2002. 25 p.

5 Zeng J., Aigner A., Czubayko F., Kissel T., et al Poly(vinyl alcohol) Nanofibers by Electrospinning as a Protein Delivery System and the Retardation of Enzyme Release by Additional Polymer Coatings // Biomacromolecules 2005. V. 6. №. 3. P. 1484–1488. doi: 10.1021/bm0492576

6 Rahmani F., Ziyadi H., Baghali M., Luo H. et al Electrospun PVP/PVA nanofiber mat as a novel potential transdermal drug-delivery system for buprenorphine: a solution needed for pain management // Appl. Sci. 2021. V. 11. P. 2779. doi: 10.3390/app11062779

7 Vu T., Morozkina S.N., Olekhnovich R.O., Uspenskaya M.V. The effects of the solution parameters on electrospinning of poly vinyl alcohol // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM-2020. 2020. №. 5.2. P. 151–160.

8 Raja K., Prabhu C., Subramanian K.S. et al. Electrospun polyvinyl alcohol (PVA) nanofibers as carriers for hormones (IAA and GA3) delivery in seed invigoration for enhancing germination and seedling vigor of agricultural crops (groundnut and black gram) // Polym. Bull. 2021. V. 78. P. 6429–6440. doi:10.1007/s00289–020–03435–6

9 Singh B., Sharma V. Design of psyllium-PVA-acrylic acid based novel hydrogels for use in antibiotic drug delivery // International journal of pharmaceutics. 2010. V. 389. P. 94–106. doi: 10.1016/j.ijpharm.2010.01.022

10 Singh B., Pal L. Sterculia crosslinked PVA and PVA-poly(AAm) hydrogel wound dressings for slow drug delivery: mechanical, mucoadhesive, biocompatible and permeability properties // Journal of the mechanical behavior of biomedical materials. 2012. V. 9. P. 9–21. doi: 10.1016/j.jmbbm.2012.01.021

11 Tavakoli J., Tang Y. Honey/PVA hybrid wound dressings with controlled release of antibiotics: Structural, physico-mechanical and in-vitro biomedical studies // Materials Science and Engineering. 2017. V. 77. P. 318–325. doi: 10.1016/j.msec.2017.03.272

12 Sharma D.K., Li F., Wu Y. Electrospinning of Nafion and polyvinyl alcohol into nanofiber membranes: A facile approach to fabricate functional adsorbent for heavy metals // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2014. V. 457. P. 236–243.doi: 10.1016/j.colsurfa.2014.05.038

13 El-Aziz A.M., El-Maghraby A., Taha N.A. Comparison between polyvinyl alcohol (PVA) nanofiber and polyvinyl alcohol (PVA) nanofiber/hydroxyapatite (HA) for removal of Zn2+ ions from wastewater // Arabian Journal of Chemistry. 2017. V. 10. P. 1052–1060. doi:10.1016/j.arabjc.2016.09.025

14 Wang X.–L., Oh I.–K., Lee S. Electroactive artificial muscle based on crosslinked PVA/SPTES // Sens. Actuators B-Chem. 2010. V. 150. P. 57–64.doi: 10.1016/j.snb.2010.07.042

15 Hrib J., Sirc J., Hobzova R., Hampejsova, Z. et al. Nanofibers for drug delivery – incorporation and release of model molecules, influence of molecular weight and polymer structure // Beilstein journal of nanotechnology. 2015. V. 6. P.1939–1945. doi: 10.3762/bjnano.6.198

16 Biruk F.A., Jing G., Abdul K.J., Degu M.K. A review of medicinal plant-based bioactive electrospun nano fibrous wound dressings // Materials & Design.2021. V. 209.doi: 10.1016/j.matdes.2021.109942

17 Sorour J., Farid N., Hassan E.–D. Preparation and Characterization of Sodium Alginate Polymeric Scaffold by Electrospinning Method for Skin Tissue Engineering Application // RSC Adv. 2021. V. 11. P. 30674–30688. doi:10.1039/d1ra04176b

18 Jegina S., Kukle S., Gravitis J. Evaluation of Aloe Vera Extract Loaded Polyvinyl Alcohol Nanofiber Webs Obtained via Needleless Electrospinning // In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. V. 459.doi: 10.1088/1757–899X/459/1/012016

19 El-Okaily M.S., EL-Rafei A.M., Basha, M., Abdel Ghani N.T. et al. Efficient drug delivery vehicles of environmentally benign nano-fibers comprising bioactive glass/chitosan/polyvinyl alcohol composites // International journal of biological macromolecules. 2021. V. 182. P. 1582–1589. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.05.079

20 Apinya R., Rapee U., Chaiwat R., Piya-on N. et al. Morphological and chemical characterization of electrospun silk fibroin/polyvinyl alcohol nanofibers // AIP Conference Proceedings. 2020. doi:10.1063/5.0023319

21 Linh N.T., Min Y., Song H., Lee B. Fabrication of polyvinyl alcohol/gelatin nanofiber composites and evaluation of their material properties // Journal of biomedical materials research. Part B, Applied biomaterials.2010. V. 95. №. 1. P. 184–191. doi: 10.1002/jbm.b. 31701

22 Alwan T.J., Toma Z.A., Kudhier M.A., Ziadan K.M. Preparation and Characterization of the PVA Nanofibers produced by Electrospinning // Madridge J Nanotechnol Nanosci. 2016. V. 1. №. 1. P. 1–3. doi:10.18689/mjnn.2016–101

23 Yeum J., Yang S., Sabina Y. Fabrication of Highly Aligned Poly(Vinyl Alcohol) Nanofibers and its Yarn by Electrospinning // In S. Haider, & A. Haider (Eds.), Electrospinning – Material, Techniques, and Biomedical Applications. IntechOpen. 2016. doi: 10.5772/65940

References

1 Perepelkin K.E. Physico-chemical bases of the processes of forming chemical fibers. M.: Chemistry. 1978. 320 p. (in Russian)

2 Ryklin D.B., Yasinskaya N.N., Demidova M.A., Zakharchenko V.M. et al. Investigation of the influence of the properties of polyvinyl alcohol solutions on the structure of electroformed materials. Bulletin of the Vitebsk State Technological University. 2020. no. 2(39). pp. 130–139. doi:10.24411/2079–7958–2020–13913 (in Russian)

3 Qin X.–H., Wang S.–Y. Filtration properties of electrospinning nanofibers. J. Appl. Polym. Sci. 2006. vol. 102. pp. 1285–1290. doi:10.1002/app.24361

4 Steinbu A., Matsumura S. Biopolymers. Cambridge: Wiley, Weinheim. 2002. pp.25.

5 Zeng J., Aigner A., Czubayko F., Kissel T., et al Poly(vinyl alcohol) Nanofibers by Electrospinning as a Protein Delivery System and the Retardation of Enzyme Release by Additional Polymer Coatings. Biomacromolecules 2005. vol. 6. no. 3. pp.1484–1488. doi: 10.1021/bm0492576

6 Rahmani F., Ziyadi H., Baghali M., Luo H. et al Electrospun PVP/PVA nanofiber mat as a novel potential transdermal drug-delivery system for buprenorphine: a solution needed for pain management. Appl. Sci. 2021. vol. 11. pp. 2779. doi: 10.3390/app11062779

7 Vu T., Morozkina S.N., Olekhnovich R.O., Uspenskaya M.V. The effects of the solution parameters on electrospinning of poly vinyl alcohol. 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM-2020. 2020. no. 5.2. pp. 151–160.

8 Raja K., Prabhu C., Subramanian K.S. et al. Electrospun polyvinyl alcohol (PVA) nanofibers as carriers for hormones (IAA and GA3) delivery in seed invigoration for enhancing germination and seedling vigor of agricultural crops (groundnut and black gram). Polym. Bull. 2021. vol. 78. pp. 6429–6440. doi:10.1007/s00289–020–03435–6

9 Singh B., Sharma V. Design of psyllium-PVA-acrylic acid based novel hydrogels for use in antibiotic drug delivery. International journal of pharmaceutics. 2010. vol. 389. pp. 94–106. doi: 10.1016/j.ijpharm.2010.01.022

10 Singh B., Pal L. Sterculia crosslinked PVA and PVA-poly(AAm) hydrogel wound dressings for slow drug delivery: mechanical, mucoadhesive, biocompatible and permeability properties. Journal of the mechanical behavior of biomedical materials. 2012. vol. 9. pp. 9–21. doi: 10.1016/j.jmbbm.2012.01.021

11 Tavakoli J., Tang Y. Honey/PVA hybrid wound dressings with controlled release of antibiotics: Structural, physico-mechanical and in-vitro biomedical studies. Materials Science and Engineering. 2017. vol. 77. pp. 318–325. doi: 10.1016/j.msec.2017.03.272

12 Sharma D.K., Li F., Wu Y. Electrospinning of Nafion and polyvinyl alcohol into nanofiber membranes: A facile approach to fabricate functional adsorbent for heavy metals. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2014. vol. 457. pp. 236–243.doi: 10.1016/j.colsurfa.2014.05.038

13 El-Aziz A.M., El-Maghraby A., Taha N.A. Comparison between polyvinyl alcohol (PVA) nanofiber and polyvinyl alcohol (PVA) nanofiber/hydroxyapatite (HA) for removal of Zn2+ ions from wastewater. Arabian Journal of Chemistry. 2017. vol. 10. pp. 1052–1060. doi:10.1016/j.arabjc.2016.09.025

14 Wang X.–L., Oh I.–K., Lee S. Electroactive artificial muscle based on crosslinked PVA/SPTES. Sens. Actuators B-Chem. 2010. vol. 150. pp. 57–64.doi: 10.1016/j.snb.2010.07.042

15 Hrib J., Sirc J., Hobzova R., Hampejsova, Z. et al. Nanofibers for drug delivery – incorporation and release of model molecules, influence of molecular weight and polymer structure. Beilstein journal of nanotechnology. 2015. vol. 6. pp.1939–1945. doi:10.3762/bjnano.6.198

16 Biruk F.A., Jing G., Abdul K.J., Degu M.K. A review of medicinal plant-based bioactive electrospun nano fibrous wound dressings. Materials & Design.2021. vol. 209.doi: 10.1016/j.matdes.2021.109942

17 Sorour J., Farid N., Hassan E.–D. Preparation and Characterization of Sodium Alginate Polymeric Scaffold by Electrospinning Method for Skin Tissue Engineering Application. RSC Adv. 2021. vol. 11. pp. 30674–30688. doi:10.1039/d1ra04176b

18 Jegina S., Kukle S., Gravitis J. Evaluation of Aloe Vera Extract Loaded Polyvinyl Alcohol Nanofiber Webs Obtained via Needleless Electrospinning. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. vol. 459. doi: 10.1088/1757–899X/459/1/012016

19 El-Okaily M.S., EL-Rafei A.M., Basha, M., Abdel Ghani N.T. et al. Efficient drug delivery vehicles of environmentally benign nano-fibers comprising bioactive glass/chitosan/polyvinyl alcohol composites. International journal of biological macromolecules. 2021.vol. 182. pp. 1582–1589. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.05.079

20 Apinya R., Rapee U., Chaiwat R., Piya-on N. et al. Morphological and chemical characterization of electrospun silk fibroin/polyvinyl alcohol nanofibers. AIP Conference Proceedings. 2020. doi:10.1063/5.0023319

21 Linh N.T., Min Y., Song H., Lee B. Fabrication of polyvinyl alcohol/gelatin nanofiber composites and evaluation of their material properties. Journal of biomedical materials research. Part B, Applied biomaterials.2010. vol. 95. no. 1. pp.184–191. doi: 10.1002/jbm.b. 31701

22 Alwan T.J., Toma Z.A., Kudhier M.A., Ziadan K.M. Preparation and Characterization of the PVA Nanofibers produced by Electrospinning. Madridge J Nanotechnol Nanosci. 2016. vol. 1. no. 1. pp. 1–3. doi:10.18689/mjnn.2016–101

23 Yeum J., Yang S., Sabina Y. Fabrication of Highly Aligned Poly(Vinyl Alcohol) Nanofibers and its Yarn by Electrospinning. In S. Haider, & A. Haider (Eds.), Electrospinning – Material, Techniques, and Biomedical Applications. IntechOpen. 2016. doi: 10.5772/65940

Сведения об авторах

Анна В. Лебедева магистр, центр химической инженерии, Университет ИТМО, Кронверкский пр., д.49, лит. А., г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, alebedeva2000@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-4188-4450
Ньунг Т. Х. Ву аспирант, центр химической инженерии, Университет ИТМО, Кронверкский пр., д.49, лит. А., г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, vuhongnhungs@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-8462-4923
Роман О. Олехнович к.т.н., доцент, центр химической инженерии, Университет ИТМО, Кронверкский пр., д.49, лит. А., г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, r.o.olekhnovich@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6894-1224
Светлана Н. Морозкина к.х.н., доцент, центр химической инженерии, Университет ИТМО, Кронверкский пр., д.49, лит. А., г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, i_norik@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-0122-0251
Майя В. Успенская д.т.н., профессор, центр химической инженерии, Университет ИТМО, Кронверкский пр., д.49, лит. А., г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, mv_uspenskaya@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-2510-2639

Information about authors

Anna V. Lebedeva master student, Chemical Engineering Center, ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A, St. Petersburg, 197101, Russia, alebedeva2000@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-4188-4450
Nhung T.H. Vu postgraduate student, Chemical Engineering Center, ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A, St. Petersburg, 197101, Russia, vuhongnhungs@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-8462-4923
Roman O. Olekhnovich Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Chemical Engineering Center, ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A, St. Petersburg, 197101, Russia, r.o.olekhnovich@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6894-1224
Svetlana N. Morozkina Cand. Sci. (Chem.), associate professor, Chemical Engineering Center, ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A, St. Petersburg, 197101, Russia, i_norik@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-0122-0251
Maya V. Uspenskaya Dr. Sci. (Engin.), professor, Chemical Engineering Center, ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A, St. Petersburg, 197101, Russia, mv_uspenskaya@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-2510-2639

Вклад авторов

Анна В. Лебедева планирование и проведение экспериментов, обработка результатов, подготовка статьи
Ньунг Т. Х. Ву планирование и проведение экспериментов, обработка результатов, подготовка статьи
Роман О. Олехнович обсуждение результатов, подготовка статьи, исправление
Светлана Н. Морозкина обработка и осуждение результатов, подготовка статьи, исправление
Майя В. Успенская планирование работы

Contribution

Anna V. Lebedeva planning and conducting experiments, processing results and preparing an article
Nhung T.H. Vu planning and conducting experiments, processing results and preparing an article
Roman O. Olekhnovich discussion of the results, preparation of the article, corrections
Svetlana N. Morozkina processing and discussion of the results, preparation of the article, corrections
Maya V. Uspenskaya work planning

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/04/2022 **После редакции** 11/05/2022 **Принята в печать** 01/06/2022

Received 18/04/2022 **Accepted in revised** 11/05/2022 **Accepted** 01/06/2022

Original article

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-221-227

Simulation of municipal solid waste gasification in fixed bed reactor

Elrafie A.A. Allah [1] rafieah@gmail.com
Yasir A. Mohamed [1] yasir13000@yahoo.com
A. Elhameed. M.O. Kasif [1] elkashify@hotmail.com
Salah Aldeen A. M. [1] yasir13000@yahoo.com

[1] Department of Chemical Eninginermg , Faculty of Engineering and Technical Studies, University of El Imam El Mahadi, Kosti, Sudan

Summary. The objective of this work is simulating municipal solid waste gasification in fixed bed reactor. A comprehensive process model developed to simulate municipal solid waste (MSW) gasification in fixed bed reactor using an Aspen Plus simulation .To predict and analyze the municipal solid waste pyrolysis and gasification process in an updraft fixed bed more veritably and appropriately, numerical modeling based on Gibbs energy minimization was executed using the Aspen plus software v(9). Rstoic is a block that can be used to simulate a reactor with the unknown or unimportant reaction kinetic that will describe drying section(moisture evaporated).The Ryield model was describe the pyrolysis section, while the Rgibbs model was used for gasification section individually .The proposed model is used to forecast and analyze target performance parameter including syngas composition, lower heating value and carbon conversion rate under different conditions of gasification temperature , and ratios. The results indicate that is a good agreement between data and simulated data obtained using this model .The predicted optimum gasification temperature is about approximately 750°C, and the best ratio of air equivalent ratio is around 0.2 and feed rate 200 kg /hr..

Keywords: Simulation, Municipal solid, Gasification, Fixed bed reactor, Pyrolysis, Gibbs energy, Rgibbs model, Gasifier

Introduction

Municipal solid waste (MSW), commonly known as trash or garbage in the United State and as refuse or rubbish in Britain, is a waste type consisting of everyday items that are discarded by the public. "Garbage" can also refer specifically to food waste, as in a garbage disposal; the two are sometimes collected separately [1]. Gasification of municipal solid waste (MSW) is a chemical process that generates a gaseous, fuel-rich product. This product can then be combusted in a boiler, producing steam for power generation. Just as with combustion of MSW, MSW gasification does not necessarily compete with recycling programs, but should be considered complementary in any generically constructed MSW plan [2]. This study proposes a model of syngas production from municipal solid waste gasification with air in fixed bed reactors. The model [using Aspen plus simulator [v9] is used to predict the results of MSW gasification and to provide some process fundamentals concerning syngas production from MSW gasification. The effects of gasification temperature, air equivalence ratio and moisture concentration on the composition of syngas, lower heating value [LHV] of syngas, heat conversion efficiency and carbon conversion will discuss.

The results maybe indicate higher temperature improves gasification, and higher air Equivalence ratio increases the carbon conversion while decreasing syngas LHV, Heat conversion efficiency increases, reaches the maximum, and then decreases with the increase of air equivalence ratio, higher moisture concentration increases the carbon conversion and increases the heat conversion efficiency at lower ratios. Higher temperature and a lower equivalence ratio are Favorable for obtaining a higher LHV of syngas at the same moisture concentration [3]. Municipal solid waste gasification has Advantages of energy recovery and weight/ volume reduction. However, as environmental protection becomes more and more important the emission control on MSW incineration is also increasingly important .To provide a more energy efficient and environmentally friendly solution, the study of a novel MSW thermal treatment [gasification of MSW] has gained importance in late time in all over the world except Sudan because there is little information and technology about gasification. Gasification has the advantage like lower dioxins, compared to other disposal options , such as incineration. Too many analysts gasification is expected to be the future method of producing an energy carrier, and the production of syngas from biomass or solid waste would require [3,4]. There are mainly two kinds of gasifier: 1-Fluidized bed gasifier.2-Fixed bed gasifier.

Для цитирования

Elrafie A.A. Allah, Yasir A. Mohamed, A. Elhameed. M.O. Kasif, Salah Aldeen A. M. Simulation of municipal solid waste gasification in fixed bed reactor // Вестник ВГУИТ. 2022. Т 84. № 2. С. 221–227. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-221-227

For citation

Elrafie A.A. Allah, Yasir A. Mohamed, A. Elhameed. M.O. Kasif, Salah Aldeen A. M. Simulation of municipal solid waste gasification in fixed bed reactor. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84 no. 2. pp. 221–227.. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-221-227

© 2022, Elrafie A.A. Allah et al.

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

Fluidized bed gasifier: Gasification by this gasifier is often adopted for larger capacity of MSW disposal. Fluidized bed gasification is more complicated in constructing and operating, and also requires a higher investment [4]. However, in the countries or towns like Sudan [less skill full& info in gasification operation], the output of MSW is not large enough to match the capacity of the fluidized bed, as result for disposing MSW.

Fixed bed gasifier: it is more advisable to choose fixed bed gasification, which requires lower investment, and matches the small output of MSW in these places. Fixed bed gasification also has the advantage of a small amount of fly ash, and the syngas from MSW gasification can be used in various areas as clean energy Corresponding to another reactors. However, most of these fixed bed reactors are used to deal with biomass. To study MSW gasification in real fixed bed reactors, the first step is simulating the process to understand the characteristics of MSW gasification. In this study, a novel process of air gasification of MSW in a fixed bed reactor is proposed. Aspen plus is adopted to simulate the entire process [3]. The process simulation is conducted to demonstrate the possibly available efficiencies of a fixed bed, and evaluate the effects of air equivalence ratio, moisture concentration and gasifier temperature on the LHV of syngas, the composition of syngas, heat conversion efficiency, and carbon conversion of MSW. the increasing amount of MSW have brought great trouble to the economic development. Most of the areas, specially undeveloped areas use landfill as the main disposal option for MSW. But the cites have developed rapidly since the last decade, and landfill is longer economic because the land around cites have become more expensive. MSW has been recognized as type of fuel [4]. Incineration has considered begin useful technology for MSW treatment since it can reduce the weight and volume of MSW and can also get energy recovery from MSW. However, this technology has still not been accepted by most of people because of the emissions, especially the PCDD/Fs from MSW incineration, And communities have heard and concerns about waste incinerators in other localities, even though these are often older inefficient designs not the state-of-the-art technologies which could be used. Nevertheless, gasification has the advantage of lower emissions, compared to MSW incineration [8]. To provide a more energy efficient and environmental friendly solution, the study of gasification has attracted great interest. The syngas from gasification can be used directly or stored and it is expected to be a future energy carrier. As we mentioned before Gasification of MSW or biomass is mainly processed in two types of reactors [7], for larger capacity MSW treatment However, fluidized bed requires more investment while fixed bed requires less investment and it is more suitable for smaller capacity of MSW treatment. As a result, fixed bed is more suitable in a countries and towns which have a relatively smaller MSW yield. There are mainly two types of fixed bed reactors: updraft fixed bed reactor and downdraft fixed bed reactor[gasifier], From the review of gasification in fixed bed it can be found that updraft gasifier have the advantages of high reliability, high efficiency, low specific emissions and feedstock flexibility and the disadvantage of high tar content which can be solved when the gasifier are used for thermal applications. Downdraft gasifier have the advantage of relatively low tar content, however, the tar from downdraft gasifier is more stable than that from updraft gasifier and that may still result in problems in tar removal and the internal heat exchange is not as efficient as in the updraft gasifier On the other hand, downdraft gasifier have the disadvantages of narrow specifications of both feedstock size and moisture content, and limited capacity which may not be suitable for disposing the relatively high yield of MSW from a countries and towns. In summary, it can be concluded that updraft fixed bed reactors are more suitable for MSW gasification in countries and towns especially Sudanese town [4].

Materials and Methods

Municipal solid waste (MSW), commonly known as trash or garbage (US), refuse or rubbish (UK) is waste type consisting of everyday items that are discarded by the public. The composition of municipal waste varies greatly from country to country and changes significantly with time. In countries, which have developed recycling culture, the waste stream consists mainly of intractable wastes such as plastic film, and un-recyclable packaging. In developed countries without significant recycling it predominantly includes food wastes, yard wastes, containers and product packaging, and other miscellaneous wastes from residential, commercial, Institutional, and industrial sources. Most definitions of municipal solid waste do not include industrial wastes, agricultural wastes, medical waste, radioactive waste or sewage sludge. With rising urbanization and change in lifestyle and food habits, the amount of municipal solid waste has been increasing rapidly and its composition changing. Solid waste can be classified into different types depending on their source: a) Household waste is generally classified as municipal waste, b) Industrial waste such as hazardous waste. c) Biomedical waste or hospital waste such as infectious waste.

The fixed bed type reactor for gasification of municipal solid waste basically consists of four stages:

1-Drying, 2-Pyrolysis, 3-Gasification, 4-Combustion,

Fixed bed reactors are used almost in all the chemical plants for one or other reactions, Packed bed type of reactors is one very popular kind than fixed bed reactors. In our process, we are using the fixed bed to gasify the municipal solid waste, In the way function are further divided as updraft and downdraft types of gasifier, They have been explained below .An updraft gasifier has clearly defined zones for partial combustion, reduction, and pyrolysis, air is introduced at the bottom and act as countercurrent to fuel flow, The gas is drawn at higher location, The updraft gasifier achieves the highest efficiency as the hot gas passes through fuel bed and leaves the gasifier at low temperature. The sensible heat given by gas is used to preheated dry fuel. Disadvantages of updraft gas producer are excessive amount of tar in raw gas and poor loading capability. In the updraft gasifier, gas leaves the gasifier with high tar vapor which may seriously interfere the operation of internal combustion engine.

This problem is minimized in downdraft gasifier, In this type, air is introduced into downward flowing fixed bed or solid fuel sand gas is drawn off at the bottom. lower overall efficiency and difficulties in handling, higher moisture and ash content are common problems in small downdraft gas producers.

Drying: Drying is a mass transfer process consisting of the removal of water or another solvent, by evaporation from solid, semi-solid or liquid. In some products having relatively high initial moisture content, an initial linear reduction of the average product moisture content as a function of time may be observed for a limited time, often known as a "constant drying rate period". Usually, in this period, the surface moisture outside individual particles that is being removed. The drying rate during this period is dependent on the rate of heat transfer to the material being dried. Therefore, the maximum achievable drying rate is considered to be heat-transfer limited. In our process, in the Aspen plus process simulator, Rstoic is a block that can be used to simulate a reactor with the unknown or unimportant reaction kinetic and known stoichiometry by specifying the extent of reaction or the fractional component of the key component. Thus in this simulation, it can be used to simulate the drying process (moisture evaporated).

Pyrolysis: Pyrolysis is a thermochemical decomposition of organic material at elevated temperatures without the participation of oxygen. It involves the simultaneous change of chemical composition and physical phase, and is irreversible. Pyrolysis is a case of thermolysis ,and is most commonly used for organic materials, being therefore one of the processes involved in charring. Pyrolysis process breaks down charcoal and hydrocarbons by indirect heating. Mixture of gas, liquid and solid products is produced but the proportion of each can be varied depending on the reaction conditions. In our process, the reactor block called Ryield can be used to simulate the pyrolysis, since it is used to model a reactor by specifying yield distribution data or correlation when reaction stoichiometry and kinetics are unknown.

Combustion: Combustion or burning is the sequence of exothermic chemical reactions between fuel and an oxidant accompanied by the production of heat and conversion of chemical species. The release of heat can produce light in the form of either glowing or aflame; fuels of interest often include organic compounds (especially hydrocarbons) in the gas, liquid or solid phase. Complete combustion is almost impossible to achieve. In reality, as actual combustion reactions come to equilibrium, a wide variety of major and minor species will be present such as carbon monoxide and pure carbon (soot or ash). Additionally, any combustion in atmospheric air, which is 78% of nitrogen, will also create several forms of nitrogen oxides. The combustion section is introduced after the gasifier and it helps in complete combustion of the unburned carbon to give more flue gas and some residue. This flue gas either can be taken out or be fed back to the gasifier section to increase its efficiency. Rgibbs units used to model this section as it deals with some chemical reactions, thus making the minimization of Gibbs free energy as an important aim.

Gasification: Gasification is partial combustion of the solid biomass to give a low to medium heating value fuel gas and an inert residue. Either oxygen enriched air or oxygen can be used with steam added as a reagent and/or temperature control medium. Relatively high temperatures are achieved of 900–1000oC with air and 1000–1500^{o} C with oxygen. Air gasification is most widely used technology since a single product is formed at high efficiency and without requiring oxygen. The resulting gas mixture is called syngas (from synthesis gas or synthetic gas) or producer gas and is itself fuel. Gasification as a thermos-chemical process is defined and limited to combustion and pyrolysis. Rgibbs reactor model can be used for modeling the gasification process as this block will need to minimize Gibbs free energy as well as carry

out rigorous reactions and multiphase equilibrium. The main reactions that will be carried out in the gasifier would be:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2, \ + \ 393kJ/mol \quad (1)$$

$$C + 1/2O_2 \rightarrow CO, \ + \ 110kJ/mol \quad (2)$$

$$C + CO_2 \rightarrow 2CO, \ - \ 173kJ/mol \quad (3)$$

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2, -132kJ/mol \quad (4)$$

$$3H_2 + CO \rightarrow CH_4 + H_2O, 206kJ/mol \quad (5)$$

$$4H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O, \ - \ 165kJ/mol \quad (6)$$

Analysis of MSW: Analysis of composition characteristics of municipal solid waste was done in south China. Using the MSW [municipal solid waste] sampling and analysis methods, the composition characteristics of MSW in south China were investigated. The results showed that: the average MSW bulk density was 0.22×10(3) kg/m^3. The percentages of water, ash and combustible were 55.0–66.9%, 18.6–30.3% and 69.7–81.4%, respectively. The organic contents were 50.1–58.0%.

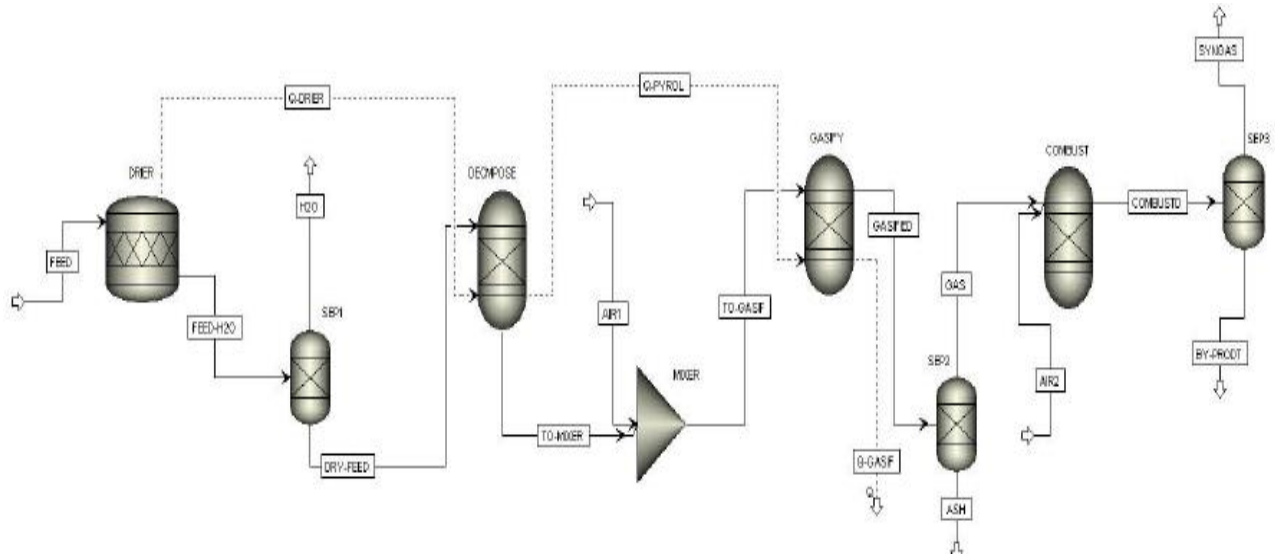


Figure 1. Aspen plus model of MSW

Modeling of MSW: MSW has no strict chemical formula, as it is a mixture of many different materials and has a composition that changes depending on its source. However, the reactor was used in the ASPEN Plus process model using chemical equilibrium calculations to determinate its output compositions, and requires as input feed materials that are of "conventional" type; that is, they must have strict chemical formulas (H_2O, for example) and be well understood, with properties that can be modeled accurately and consistently characterized with data from a data bank. At first glance, MSW does not meet these criteria as an input material.

Characterizing of MSW: A way to characterize the MSW was taken from the coal industry, which has also had to deal with handling heterogeneous materials whose chemical compositions vary from sample to sample. Coal characterization is supported in ASPEN Plus and involves the use of ultimate, proximate, and sulfur analyses. In an ultimate analysis, their C, H, N, O, S, and ash content, on a moisture-free weight percent basis, characterize samples. This analysis plays the primary role in predicting heats of combustion for the MSW. Some representative sets of ultimate analysis data for MSW, taken from a variety of literature sources, are given below in Table I. The widest variation in the data is in the MSW's ash content (5–38%). Data for carbon and oxygen contents vary substantially as well, while the MSW hydrogen content is more consistent across different samples. In a proximate analysis, samples are characterized by their fixed carbon volatile matter," ash, and moisture weight percent. The first three parameters are given on a moisture free basis, and should together total 100%. Any moisture content native to the MSW sample itself is represented by the moisture weight percent. The ratio between the fixed and volatile carbon content for MSW is assumed approximately 1:1 although no MSW proximate analyses were found in the literature MSW is fed from the top into drying section where it is dried by the syngas from pyrolysis section; then the dried MSW is paralyzed in pyrolysis section. The solid products from pyrolysis section are gasified in gasification section with flue gas from combustion section. In combustion section, the gasified solid products are combusted with the air introduced from the bottom. The combusted products in combustion section are residue and flue gas which is go up into the gasification section.

Results and Discussions

Air Equivalence Ratio Effecting on Syngas production: In this study, air equivalence ratio represents the ratio of the amount of introducing air to the amount of air needed for complete combustion. Obviously, vary of air equivalence ratio Therefore, three different reaction conditions can be identified: complete combustion to CO_2, complete gasification to CO and partial combustion [gasification] to CO_2 and CO. This ratio has a strong effect on syngas production. Air equivalence ratio was varied from 0.2 to 1 in this simulation, The gasifier temperature was kept at 750 ℃ at atmospheric pressure.

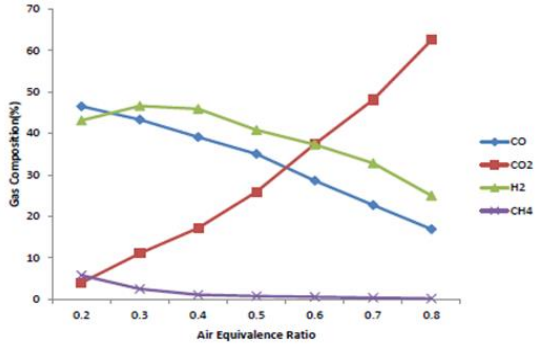


Figure 2. Air Equivalence Ratio v/s Gas Composition Graph

CO_2 concentration increased significantly (from 5 to 60%) with the increase of air equivalence ratio while CO showed an inverse trend (from 47 to 15%) This is because the increase of air equivalence ratio (means more oxygen) placed Eq [1] toward the right At a higher ratio, CO concentration decreased according to Eq. (1) which prevailed over Eq. (2) with the increase of air equivalence ratio. CH_4 concentration decreased as the ratio increase, whilst H_2 concentration decreased according to Eqs. (3) and (6). Concentration would be higher while CH_4 concentration would be lower because a lower CO concentration would place Eqs. (3)–(6) toward right.

Air equivalence Ratio Effecting on LHV of Syngas: Effect of air equivalence ratio on LHV of the syngas is presented in Fig. (2). The LHV (kJ/N m) can be defined as:

$$7\text{-LHV} = (119950.4\times nH_2 + 10103.9\times nCO + \\ + 50009.3\times nCH4)/V \quad (7)$$

Where nCO, nH_2 and nCH_4 are the molar yields of CO, H_2, CH_4, respectively, V is the volume of syngas (m3). From Eq. (7), we can see the LHV is dependent on the concentration of combustible gases. It can be concluded from the discussions of syngas composition above that the concentration of combustible gas decreased with the increase of air equivalence ratio. As a result, LHV of the syngas would decrease as the ratio increase and that trend can be found in Figure (3).

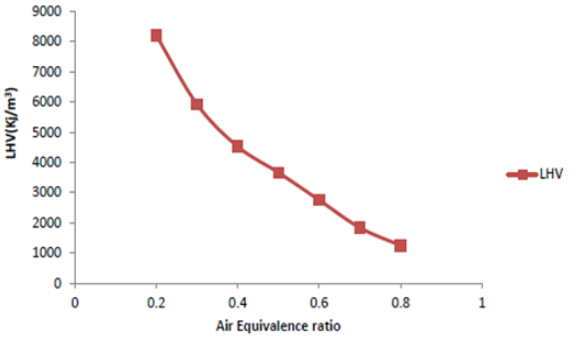


Figure 3. Air Equivalence Ratio v/s LHV Graph

Gasification Temperature Effecting on Syngas Production: The gasification temperature influences the equilibrium of the chemical reactions. In this study, effect of flue gas and gasification temperature on syngas production at an air equivalence ratio of 0.2 was discussed. As shown in Fig. 4, CO concentration increased with the increase of gasification temperature while CO_2 concentration followed an opposed trend. CH_4 concentration decreased slightly as the gasification temperature increased, while H_2 concentration increased slightly with the increase of gasification temperature. These trends can be attributed to the chemical reaction laws, higher temperatures favored the products in endothermic reactions, and favored the reactants in exothermic reactions. Therefore, with the increase of temperature, the decrease of CH4 concentration could be ascribed to the endothermic reaction (5) and (6). The increase of H2 concentration could be explained by the endothermic reaction (4)–(6), and CO concentration would increase because endothermic reaction (3)–(5) are more dominant than exothermic reaction Eq. (2) Although endothermic reaction Eq. (6) releases (and the CO_2 concentration should increase), the CO_2 concentration decreased as the temperature increased. This is because endothermic reaction Eq. (3) was more dominant, placing the reaction toward the right, and resulting in the increase of CO and decrease of CO_2 as the temperature increased.

Gasification Temperature Effecting on LHV: Figure (5) shows that the LHV increased with the increase of gasification temperature. The highest LHV was about 8000 kJ/m^3 at 700 ℃.

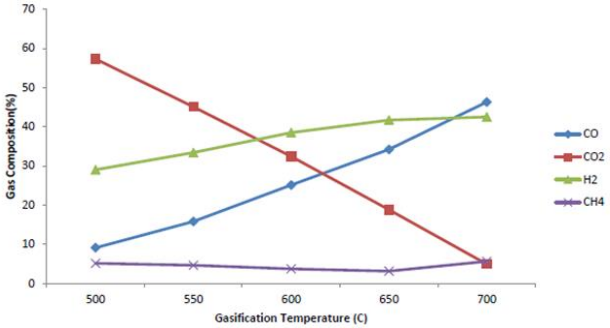


Figure 4. Gasification temperature v/s Gas Composition

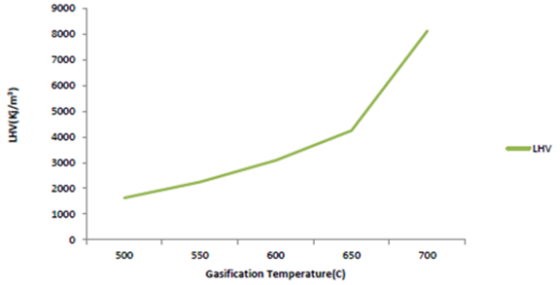


Figure 5. Gasification temperature v/s LHV

Increasing gasification temperature led to an increase of heat conversion efficiency and carbon conversion. These trends can be explained by that the increase of gasification temperature in both types would place the endothermic reaction (3)–(5) toward right which result in the increase of carbon conversion and heat conversion efficiency. And with the increase of gasification temperature, the Introduction of flue gas CO_2 would result in more CO according to Eq. (3) that means higher carbon conversion and heat conversion efficiency.

Conclusion

1. The Air equivalence ratio was found to be highly affecting the output gas composition and LHV. The best ratio was determined to be 0.2.

2. As the increase of the air equivalence ratio, the amount of CO_2 also increases, which has no significant heating value.

3. The gasification temperature was a major factor in syngas production. The CO_2 gas decreased as well as the CO and H_2 gas showed significant increase, but the amount of CH_4 was more or less constant.

4. The carbon conversion efficiency was seen to be almost constant at all equivalence ratios, but the heat conversion efficiency decreased with increasing air equivalence ratio.

5. The gasification temperature also had an effect on LHV of the gas as well as on its Carbon conversion and Heat conversion efficiencies. They all seemed to respond well to the increasing temperature of gasification

References

1 Bridgewater T. Review biomass for energy. Journal of Food Agaric Sciences. 2017.

2 Calaminus B., Stahlberg R. Continuous in-line gasification/vitrification process for thermal waste treatment: process technology and current status of projects. Waste Management. 1998. vol. 18. no. 6-8. pp. 547-556.

3 Nikoo M.B., Mahinpey N. Simulation of biomass gasification in fluidized bed reactor using ASPEN PLUS. Biomass and bioenergy. 2008. vol. 32. no. 12. pp. 1245-1254.

4 Zheng LG, Furimsky E. ASPEN simulation of cogeneration plants. Energy Convers Manage, 2003.

5 Jannelli E, Minutillo M. Simulation of the flue gas cleaning system of an RDF incineration power plant. Waste Manage, 2007.

6 Zhao VII, Hao W, Xu ZH. Conceptual design and simulation study of a co-gasification technology. Energy Converse Manage, 2006.

7 Porteous A. Energy from waste incineration – A state of the art emissions review with an emphasis on public acceptability. Appl Energy, 2001.

8 Warnecke R. Gasification of biomass: comparison of fixed bed and fluidized bed gasifier. Biomass and bioenergy. 2000. vol. 18. no. 6. pp. 489-497.

9 Niue et al. Straw gasification in an up-draft gasifier, 2001.

10 Dogru M., Howarth C.R., Akay G., Keskinler B. et al. Gasification of hazelnut shells in a downdraft gasifier. Energy. 2002. vol. 27. no. 5. pp. 415-427. doi: 10.1016/S0360-5442(01)00094-9

11 Chen C., Jin Y.Q., Yan J.H., Chi Y. et al. Simulation of municipal solid waste gasification in two different types of fixed bed reactors. Fuel. 2013. vol. 103. pp. 58-63. doi: 10.1016/j.fuel.2011.06.075

12 Moshi R.E., Jande Y.A.C., Kivevele T.T., Kim W.S. Simulation and performance analysis of municipal solid waste gasification in a novel hybrid fixed bed gasifier using Aspen plus. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2020. pp. 1-13. doi: 10.1080/15567036.2020.1806404

13 Begum S., Rasul M.G., Akbar D. A numerical investigation of municipal solid waste gasification using aspen plus. Procedia engineering. 2014. vol. 90. pp. 710-717. doi: 10.1016/j.proeng.2014.11.800

14 Pandey D.S., Das S., Pan I., Leahy J.J. et al. Artificial neural network based modelling approach for municipal solid waste gasification in a fluidized bed reactor. Waste management. 2016. vol. 58. pp. 202-213.

15 Oliveira M., Ramos A., Monteiro E., Rouboa A. Modeling and simulation of a fixed bed gasification process for thermal treatment of municipal solid waste and agricultural residues. Energy Reports. 2021. vol. 7. pp. 256-269.

16 Deng N., Li D., Zhang Q., Zhang A. et al. Simulation analysis of municipal solid waste pyrolysis and gasification based on Aspen plus. Frontiers in Energy. 2019. vol. 13. no. 1. pp. 64-70. doi: 10.1007/s11708-017-0481-7

17 Sun R., Ismail T.M., Ren X., Abd El-Salam M. Numerical and experimental studies on effects of moisture content on combustion characteristics of simulated municipal solid wastes in a fixed bed. Waste management. 2015. vol. 39. pp. 166-178. doi: 10.1016/j.wasman.2015.02.018

18 Hlaba A., Rabiu A., Osibote O. A. Process Simulation of Municipal Solid Waste Derived Pellet Gasification for Fuel Production. Proceedings of the 7th International Conference on Informatics, Environment, Energy and Applications. 2018. pp. 59-64. doi: 10.1145/3208854.3208869

19 Niu M., Huang Y., Jin B., Wang X. Simulation of syngas production from municipal solid waste gasification in a bubbling fluidized bed using Aspen Plus. Industrial & engineering chemistry research. 2013. vol. 52. no. 42. pp. 14768-14775. doi: 10.1021/ie400026b

20 Chanthakett A., Arif M.T., Khan M.M.K., Oo A.M. Performance assessment of gasification reactors for sustainable management of municipal solid waste. Journal of Environmental Management. 2021. vol. 291. pp. 112661.

Information about authors

Elrafie A.A. Allah Dr. Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering & Technical Studies, University of El Imam El Mahdi, Kosti, P. O. box 209 Sudan, rafieah@gmail.com
Yasir A. Mohamed Dr. Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering and Technical Studies, University of El Imam El Mahdi, Kosti, P. O. box 209 Sudan, yasir13000@yahoo.com
A. Elhameed. M.O. Kasif Dr., Assocciate Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of El Imam El Mahdi, Kosti, P. O. box 209 Sudan, elkashify@hotmail.com
Salah Aldeen A. M. Engineer, Postgraduate student, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering & Technical Studies, University of El Imam El Mahdi, Kosti, P. O. box 209 Sudan, yasir13000@yahoo.com

Contribution

Elrafie A.A. Allah corrected the manuscript, improved the results discussion and put in the format required by the Journal before filing in editing.
Yasir A. Mohamed proposed a scheme of the experiments and organized production trials, corrected the manuscript, improved the results discussion and put in the format required by the Journal before filing in editing and is responsible for plagiarism
A. Elhameed. M.O. Kasif corrected the manuscript, improved the results discussion and put in the format required by the Journal before filing in editing and is responsible for plagiarism.

Salah Aldeen A. M. review of the literature on the investigated problem, conducted the experiments, performed the characterizations and measurements, and wrote the manuscript

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 3.28.2022

Accepted 5.7.2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-228-233 Оригинальная статья/Research article
УДК 640 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Экспериментальное изучение структуры потоков в тарельчато-насадочных колонных экстракторах

Михаил Г. Беренгартен [1] berengarten@mail.ru 0000-0002-0282-8202
Юрий В. Козин [1] Yura_kozin@mail.ru 0000-0002-8230-0503

1 Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия

Аннотация. Жидкостная экстракция является широко известным процессом разделения, который в течение многих лет широко используется в химической промышленности, например, при селективной очистке масляных фракций, при очистке сжиженных газов от сероводорода, при получении нефтехимических продуктов, при извлечении металлов, в ядерном синтезе, в пищевой и фармацевтической промышленности. Ведутся постоянные разработки по поиску технических решений по улучшению массообменных процессов. При сочетании применения тарелок и насадок в массообменной колонне возникает рассогласование потоков, что ухудшает гидродинамическую обстановку в разделительной колонне (экстракционной, ректификационной, и т.д.) и возникает большая трудность в стабильном ведении технологического процесса. Задачей исследования является изучение структуры потоков в экстракционной колонне на примере комбинирования тарелок и насадок, так как данные контактные устройства наиболее распространены в промышленности, но применяются, как правило, не в комбинации, а самостоятельно. Их комбинирование может дать дополнительный синергетический эффект. При эксперименте выявлено и графически показано возможность устранения рассогласования потоков и улучшения гидродинамической обстановки в экстракционной колонне путем ввода дополнительного потока в сечение колонны. Исследования будут полезны для разработки новых конструкций колонного оборудования, например, экстракционного. С целью расширения эксперимента на различных гидродинамических режимах предлагается выполнить моделирование эксперимента применением, например, программного пакета Solid Works 2020 и, в частности, одного из его дополнений – Flow Simulation.

Ключевые слова: экстрактор, тарелки, насадки, гидродинамика, потоки.

Experimental study of the flow structure in packed tray-type column extractors

Mikhail G. Berengarten [1] berengarten@mail.ru 0000-0002-0282-8202
Yuriy V. Kozin [1] Yura_kozin@mail.ru 0000-0002-8230-0503

1 Moscow Polytechnic University, Bolshaya Semenovskaya Street, 38, Moscow, 107023, Russia

Abstract. Liquid extraction is a well-known separation process that has been widely used in the chemical industry for many years, for example, in the selective purification of oil fractions, in the purification of liquefied gases from hydrogen sulfide, in the production of petrochemicals, in the recovery of metals, in nuclear fusion, in food and pharmaceutical industry. On-going elaborations aimed at engineering solution search in order to improve mass-transfer processes are in progress on a permanent basis. Combination of trays and packing in the fractionator results in stream disequilibrium which leads to worse hydrodynamic conditions in the splitter (extraction, rectifier tower and etc.) and causes significant difficulties in stable operating process maintaining. The study objective is to review the structure of stream structures in the extraction tower via examples of trays and packing combinations since the mentioned contact devices are widely used in industry but they are conventionally applied as individual contact devices and not in combination. Combination of the above contact devices may earn a supplementary synergetic effect. In the course of the experiment it was found out and described in graphic format that stream disequilibrium could be eliminated and hydrodynamic conditions in the extraction tower could be improved via extra stream supply in the tower shell. Research will be useful for the development of new designs of column equipment, for example, extraction. In order to expand the experiment in various hydrodynamic modes, it is proposed to simulate the experiment using, for example, the Solid Works 2020 software package and, in particular, one of its add-ons - Flow Simulation.

Keywords: extractor, trays, packing, hydrodynamic, streams.

Введение

Среди последних тенденций в развитии науки и техники наиболее четко прослеживается оптимизация ключевых параметров и характеристик изделий. В связи с этим уменьшаются массогабаритные параметры, стоимость, сложность изделий и увеличивается их надежность [1]. Аналогично активно ведется работа по интенсификации существующего оборудования, изделий.

Жидкостная экстракция является широко известным процессом разделения, который в течение многих лет широко используется в химической промышленности, например, при селективной очистке масляных фракций, при очистке сжиженных газов от сероводорода, при получении нефтехимических продуктов, при извлечении металлов, в ядерном синтезе, в пищевой и фармацевтической промышленности [2]. Например, в нефтепереработке экстракция применяется в таких процессах, как выделение ароматических углеводородов (бензола, толуола, ксилолов) селективными растворителями ди-(три) – этиленгликолями, сульфоланом из стабильного катализата. В пищевой промышленности экстракция применяется при рафинации растительных масел.

Для цитирования
Беренгартен М.Г., Козин Ю.В. Экспериментальное изучение структуры потоков в тарельчато-насадочных колонных экстракторах // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 228–233. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-228-233

For citation
Berengarten M.G., Kozin Yu.V. Experimental study of the flow structure in packed tray-type column extractors. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 228–233. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-228-233

© 2022, Беренгартен М.Г. и др. / Berengarten M.G. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Предложено большое количество конструкций разнообразных экстракторов, однако в промышленности применяются лишь ограниченное число типов экстракционных аппаратов [3] с различными контактными устройствами.

В соответствие с классификацией контактные устройства подразделяют на тарельчатые, роторные и насадочные [4].

Техническая задача, решаемая учеными и изобретателями, – упрощение конструкции экстрактора, повышение интенсивности процессов диспергирования и увеличение скорости разделения фаз на каждой ступени. Упростить конструкцию экстрактора можно, например, за счет исключения подвижных частей и проведения процесса в стационарном режиме.

Технологические основы аппаратуры, используемой в массообменных процессах, направлены на развитие поверхности контакта фаз, достигаемым путем диспергирования одной из фаз, обеспечение упорядоченного движения фаз и их разделение так, чтобы унос одной фазы другой был минимален. Эти требования взаимно противоречивы, поскольку поверхность контакта фаз возрастает с уменьшением капель, но одновременно уменьшаются скорости их движения относительно сплошной фазы, вследствие чего понижается производительность и ухудшаются условия разделения фаз.

Ведутся постоянные разработки по поиску технических решений по улучшению массообменных процессов [5–7].

Конструктивные построения известных из уровня техники аналогичных контактных массообменных устройств направлены, как правило, на достижение такой задачи как повышение эффективности массообмена путем эффективного диспергирования и коалесценции дисперсной фазы, увеличения времени пребывания капель дисперсной фазы в аппарате.

В результатах внедрения в промышленность [8] массообменных контактных устройств указано, что при сочетании применения тарелок и насадок в ректификационной колонне возникает рассогласование потоков, что ухудшает гидродинамическую обстановку в ректификационной колонне и возникает большая трудность в стабильном ведении технологического процесса.

Важным в исследовании массообменных процессов и создании новых массообменных контактных устройств является исследование структуры потоков.

Актуальность экспериментального исследования структуры потоков в колонном оборудовании подтверждается аналогичными гидравлическими исследования другими исследователями [9,10].

Цель работы – изучение структуры потока дисперсной среды в экстракционной колонне на примере комбинирования тарелок и насадок, так как данные контактные устройства наиболее распространены в промышленности, но применяются, как правило, не в комбинации, а самостоятельно.

Комбинирование тарелок и насадок может дать дополнительный синергетический эффект. От правильной структуры потока дисперсной среды зависит эффективность массообмена. Под правильностью структуры следует понимать соответствие назначению контактного устройства в соответствующей зоне экстрактора.

Материалы и методы

Эксперимент для исследования структуры дисперсной среды проведен на прозрачной стеклянной колонне диаметром 60 мм. Внутренние контактные устройства – структурированная насадки и ситчатые тарелки. Для визуального исследования структуры потока в дисперсную среду на рисунке 1а добавлялась техническая вода. Для наглядности исследования в техническую воду добавлялся маркер (трассер).



(a) (b) (c)

Рисунок 1. Фото эксперимента по исследованию структуры потоков: (a) – эксперимент на насадке без подачи маркера, (b) – эксперимент на насадке с подачей маркера, (c) – эксперимент на тарелке + насадка с подачей маркера

Figure 1. Photo of an experiment to study the flow structure: (a) – an experiment on a nozzle without a marker feed, (b) – an experiment on a nozzle with a marker feed, (c) – an experiment on a plate + a nozzle with a marker feed

Эксперимент проводился в несколько стадий с целью сравнительного анализа орошения внутренних контактных устройств. На рисунке 1б видно, что на насадке происходит турбулизация потоков в колонне с обратным перемешиванием, байпасированием части потока, что соответствует основным недостаткам работы насадок, описываемых в литературе и исследованиях. Принцип работы насадок – модель идеального перемешивания.

На рисунке 1с визуально наблюдается равномерное распределение потока на ситчатых тарелках, что соответствует модели идеального вытеснения.

Результаты и обсуждение

В работе [8] указано, что при частичной замене тарелок на насадку возникает задача согласования паровых и жидкостных нагрузок. Эксперимент показал аналогичную ситуацию, достаточное количество орошения на тарелку не обеспечивает необходимое количество орошения при последующем, расположенном ниже насадке. Для решения данной задачи предлагается дополнить колонну дополнительным штуцером подачи орошения в зону между тарелкой и насадкой. Дополнительное количество подаваемого орошение обеспечит качественное орошение насадки и эффективный массообмен.

В работах исследователей [11, 12] также выявлено необходимость достаточного количества орошения на насадку.

Движение потока наглядно представлено и наблюдается с помощью индикатора (трассера, метки) – вещества, легко определяемого химическим анализом; краски (при данном эксперименте); порции подогретого потока и т. п. При этом трассер по своим гидродинамическим характеристикам (плотности, вязкости и т. п.) во избежание возмущения основного потока должен быть близок к нему, а ввод трассера не должен сколько-нибудь заметно влиять на движение самого потока. Ввод трассера в рабочую зону осуществляют преимущественно в двух вариантах и графически рассмотрен на рисунок 2:

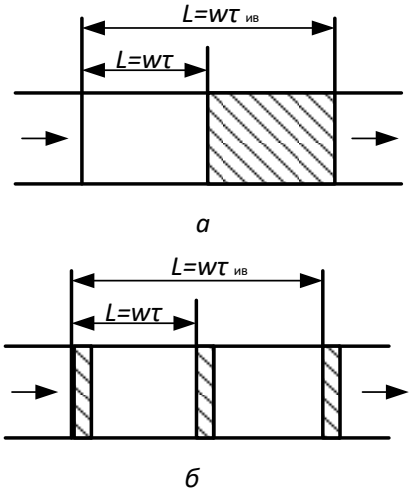


Рисунок 2. Движение потока с трассером по рабочей зоне в режиме идеального вытеснения при его ступенчатом (a) и импульсном (b) вводе

Figure 2. The flow movement with the tracer through the working area in the ideal displacement mode with its stepwise (a) and pulse (b) input

Пометим трассером в начальный момент времени $\tau = 0$ весь объем вещества V в рабочей зоне, а с момента $\tau \geq 0$ станем подавать в нее постоянный (w, V = const) поток без трассера. Тогда области меченого и немеченого потоков при их движении в режиме идеального вытеснения (ИВ) будут четко разделены, граница между ними (фронт) окажется плоской и резко очерченной (рисунок 2а). Эта граница в режиме ИВ будет перемещаться с постоянной скоростью w (на рисунок 2а – слева направо); в момент времени τ она займет положение $L = w\tau$. К моменту времени $\tau_{ив}$ все меченые элементы покинут рабочую зону ($L = W\tau_{ив}$) – рабочая зона будет свободна от трассера. Описанный способ подачи трассера в рабочую зону называют ступенчатым.

Пусть в рабочую зону идет немеченый поток. В момент времени $\tau = 0$ на вход в рабочей зоны подадим небольшое (в форме короткого импульса) количество трассера. Эта узкая полоска (на рисунок 2б – заштрихована) будет в режиме идеального вытеснения, не размываясь, перемещаться слева направо со скоростью w, так что к моменту времени τ она займет положение $l = wt$, а к моменту времени $\tau_{ив}$ окажется на выходе из рабочей зоны $L = w\tau_{ив}$. Описанный способ подачи трассера в рабочую зону называют импульсным.

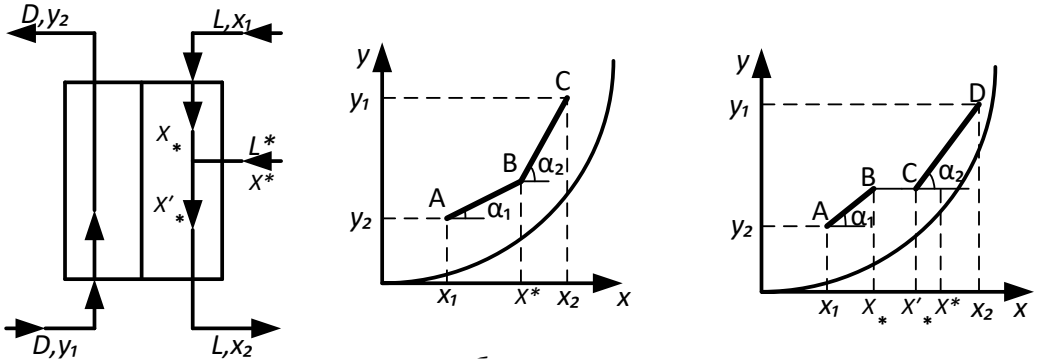
Можно применить и другие варианты ввода трассера. Среди них нередко выбирают какую-нибудь периодическую форму его подачи, например, типа прямоугольной волны или синусоиды. В этих случаях (как и при ступенчатом и импульсном вводах) результаты опыта достаточно просто интерпретируются математически, причем в основе интерпретации – не столько величина сигнала (амплитуда), сколько сдвиг по фазе; это удобно, поскольку не требуется предварительной тарировки приборов.

Эксперимент для установления структуры потока проведен в "холодном" модельном аппарате, т. е. в отсутствие тепло- или массообменного процесса либо химической реакции, являющихся действительной целью промышленного химико-технологического процесса. Из эксперимента видно нарушение гидродинамической обстановки в колонне (рисунок 1с), где при достаточности орошения на тарелки, его количество недостаточно при достижении насадки. Известно, что насадки требуют большего орошение для массообмена. Соответственно, для улучшения орошения на насадке предлагается дополнительная подача орошения в зону между тарелкой и насадкой.

Дополнительную подачу орошения в зону между тарелкой и насадкой можно проиллюстрировать построением рабочих линий для модели процессов с подводом потока какой-нибудь фазы в произвольное сечение аппарата [13].

Пусть поток L* фазы "x" с концентрацией x* подается в некоторое промежуточное сечение аппарата (рисунок 3а). Здесь возможны два случая: в сечении аппарата та же концентрация x∗, что и в подводимом потоке (x*); в сечении иная концентрация, x∗≠ x *. В первом случае (рисунок 3б) подход к построению рабочей линии следующий: до точки подвода (верхней части аппарата отвечает отрезок рабочей линии AB на нижней диаграмме y – x) наклон рабочей линии соответствует отношению L/D (это меньший угол α1); после этой точки рабочая линия (отрезок BC) пойдет под большим углом α2 – соответственно увеличившейся величине дроби (L + L *) / D. Абсцисса точки излома характеризуется концентрацией x*= x∗ = x′∗.

Во втором случае (рисунок 3с) остаются справедливыми все рассуждения относительно наклонов рабочих линий – отрезки AB и CD. Однако x*≠ x∗, поэтому в сечении подпитки потоком L* наблюдается разрыв BC рабочих линий – он отвечает смешению (по правилу рычага) потоков фазы "x": L и L*. При этом концентрации x∗ и x′∗ являются сопряженными с одной и той же промежуточной концентрацией вещества в фазе "y" в сечении дополнительного орошения.



(a) (b) (c)

Рисунок 3. Подвод дополнительного потока в промежуточное сечение колонны (a) – схема процесса; (b), (c) – рабочие линии)

Figure 3. Extra stream injection to the tower intermediate shell (a – process diagram, b, c – working lines)

Концентрация вещества в дополнительном потоке (x*) может оказаться весьма высокой, и тогда при достаточно больших значениях L • (точнее – отношения L*/L) точка смеси может оказаться правее (ниже) линии равновесия. Принятое направление массопереноса (рассматривается перенос вещества из фазы "y" в фазу "x") запрещает такое положение рабочей линии. Аналогичный подход позволяет установить положения рабочих линий для различных технологических ситуаций: отвод или подвод в промежуточное сечение аппарата фазы "y" или обеих фаз; отвод или дополнительное питание какой-либо из фаз в нескольких точках; те же ситуации, но при переносе вещества из фазы "x" в фазу "y" и т. д.

Таким образом, реализация важнейшей цели многих химико-технологических процессов (интенсификация и оптимизация массообменных процессов) с неизбежностью приводит к необходимости анализа гидродинамической обстановки в аппаратуре – для выявления возникающих при этом эффектов, воздействия на них и учета их при создании эффективных контактных аппаратов [14–18]. Иначе говоря, надо изучать структуру потоков в рабочей зоне аппарата, где происходят обратное смешение, поперечный и продольный переносы вещества, количества движения [19–21].

Заключение

1. В результате проведения эксперимента выявлено рассогласование (разрыв) потоков в колонне. Для согласования потоков предложена дополнительная подача орошения на насадку.

2. Исследования будут полезны для разработки новых конструкций колонного оборудования, например, экстракционного.

3. С целью расширения эксперимента на различных гидродинамических режимах предлагается выполнить моделирование эксперимента применением, например, программного пакета Solid Works 2020 и, в частности, одного из его дополнений – Flow Simulation.

Литература

1 Кайгородов С.Ю., Шапошков А.А., Цветков И.В. Экспериментальное исследование характеристик вихревых диодов. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2021. № 3. С. 26–28

2 Rahbar A., Azizi Z., Bahmanyar H., Moosavian M.A. Prediction of enhancement factor for mass transfer coefficient in regular packed liquid-liquid extraction columns // The Canadian Journal of Chemical Engineering. 2011. № 89. P. 508–519.

3 Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1968. 848 с.

4 Капустин В.М., Рудин М.Г. Химия и технология переработки нефти. М.: Химия, 2013. 496 с.

5 Войнов Н.А., Земцов Д.А., Богаткова В.А., Дерягина Н.В. Вихревая тарелка для адиабатической неадиабатической ректификации. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2021. № 3. С. 23–26.

6 Авторское свидетельство № 810252, SU, B01D 53/20, B01D 3/32. Тарельчато-насадочная колонна / Герцовский В.А., Чернышев В.И., Куксо В.М., Кутергин В.Р. и др. № 2162964; Заявл. 11.08.1975; Опубл. 07.03.1981.

7 Пат. № 2371230, B01D 11/04. Экстрактор колонного типа / Теляшев Г.Г., Арсланов Ф.А., Теляшев Э.Г., Сахаров И.В. № 2007144097/15; Заявл. 19.11.2007; Опубл. 27.05.2009, Бюл. № 15.

8 Марешова Л.А., Богатых К.Ф., Рольник Л.З., Ягафарова Г.Г. Реультаты внедрения в промышленность разработки по регулярным перекрестноточным насадкам учеными Уфимского государственного нефтяного технического университета. // Нефтегазовое дело. 2007.С. 1–11.

9 Коровин П.И., Лагуткин М.Г. Исследование гидравлического сопротивления и тепломассообменных характеристик призматической насадки при различных способах ее укладки. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2021. № 1. С. 25–28.

10 Лесной Д.В., Чуракова С.К. Исследование гидродинамических характеристик орошаемых перекрестноточных насадочных блоков различных конструкций. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2021. № 1. С. 28–31.

11 Мадышев И.Н., Дмитриева О.С., Маясова А.О., Дмитриев А.В. Оценка диапазона устойчивой и эффективной работы колонных массообменных аппаратов со струйно-пленочными контактными устройствами. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2021. № 2. С. 27–30.

12 Гогогин И.И., Сосунов В.И. Режимы захлебывания дистилляционной колонны со структурированными насадками. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2021. № 2. С. 10–14.

13 Айнштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А. и др. Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. 1758 с.

14 Weber B., Meyer C., Jupke A. Performance Map for the Design of Liquid-Liquid Extraction Columns // Chemie Ingenieur Technik. 2019. V. 91. №. 11. P. 1674–1680. doi: 10.1002/cite.201900057

15 Weber B., Schneider M., Görtz J., Jupke A. Compartment model for liquid-liquid extraction columns // Solvent Extraction and Ion Exchange. 2020. V. 38. №. 1. P. 66–87. doi: 10.1080/07366299.2019.1691137

16 Kampwerth J., Roth D., Polte L., Jupke A. Model-Based Simultaneous Solvent Screening and Column Design Based on a Holistic Consideration of Extraction and Solvent Recovery // Industrial & engineering chemistry research. 2022. V. 61. №. 9. P. 3374–3382. doi: 10.1021/acs.iecr.1c03312

17 Sovilj M.N., Nikolovski B.G., Spasojević M.Đ. Hydrodynamics in spray and packed liquid-liquid extraction columns: A review // Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering. 2019. V. 38. №. 2. P. 267–282. doi: 10.20450/mjcce.2019.1519

18 Пат. № 2752313, RU, B01D 11/04. Экстракционная установка с барботажным экстрактором / Алиматов Б., Каримов И.Т., Садуллаев Х.М., Хурсанов Б.Ж. № 2020127625; Заявл. 18.08.2020; Опубл. 26.07.2021, Бюл. № 21.

19 Amani P., Amani M., Ahmadi G., Mahian O. et al. A critical review on the use of nanoparticles in liquid–liquid extraction // Chemical Engineering Science. 2018. V. 183. P. 148–176. doi: 10.1016/j.ces.2018.03.001

20 Roshdi S., Kasiri N., Rahbar-Kelishami A. VOF simulation of single rising drops in three liquid-liquid extraction systems using CSF and CSS interfacial force models // Brazilian Journal of Chemical Engineering. 2018. V. 35. P. 1315–1331. doi: 10.1590/0104-6632.20180354s20170609

21 Tan B., Wang B., Chang C., Wang Y. et al. Hydrodynamic Behavior Analysis of Agitated-Pulsed Column by CFD-PBM // Solvent Extraction and Ion Exchange. 2021. P. 1–22. doi: 10.1080/07366299.2021.2004660

References

1 Kaigorodov S.Yu., Shaposhkov A.A., Tsvetkov I.V. Experimental study of the characteristics of vortex diodes. Chemical and oil and gas engineering. 2021. no. 3. pp. 26–28. (in Russian).

2 Rahbar A., Azizi Z., Bahmanyar H., Moosavian M.A. Prediction of enhancement factor for mass transfer coefficient in regular packed liquid-liquid extraction columns. The Canadian Journal of Chemical Engineering. 2011. no. 89. pp. 508–519.

3 Planovsky A.N., Ramm V.M., Kagan S.Z. Processes and apparatuses of chemical technology. Moscow, Chemistry, 1968. 848 p. (in Russian).

4 Kapustin V.M., Rudin M.G. Chemistry and technology of oil refining. Moscow, Chemistry, 2013. 496 p. (in Russian).

5 Voynov N.A., Zemtsov D.A., Bogatkova V.A., Deryagina N.V. Vortex plate for adiabatic non-adiabatic distillation. Chemical and oil and gas engineering. 2021. no. 3. pp. 23–26. (in Russian).

6 Gertsovsky V.A., Chernyshev V.I., Kukso V.M., Kutergin V.R. et al. Disk-packed column. Patent SU, no. 810252, 1981. (in Russian).

7 Telyashev G.G., Arslanov F.A., Telyashev E.G., Sakharov I.V. Column type extractor. Patent RF, no. 2371230, 2009. (in Russian).

8 Mareshova L.A., Bogatykh K.F., Rolnik L.Z., Yagafarova G.G. The results of the introduction into the industry of the development of regular cross-flow nozzles by scientists of the Ufa State Petroleum Technical University. Oil and gas business. 2007. pp. 1–11. (in Russian).

9 Korovin P.I., Lagutkin M.G. Investigation of hydraulic resistance and heat and mass transfer characteristics of a prismatic packing with various ways of its laying. Chemical and oil and gas engineering. 2021. no. 1. pp. 25–28. (in Russian).

10 Lesnoy D.V., Churakova S.K. Study of the hydrodynamic characteristics of irrigated cross-flow packing blocks of various designs. Chemical and oil and gas engineering. 2021. no. 1. pp. 28–31. (in Russian).

11 Madyshev I.N., Dmitrieva O.S., Mayasova A.O., Dmitriev A.V. Evaluation of the range of stable and efficient operation of column mass transfer apparatuses with jet-film contact devices. Chemical and oil and gas engineering. 2021. no. 2. pp. 27–30. (in Russian).

12 Gogogin I.I., Sosunov V.I. Flooding modes of a distillation column with structured packings. Chemical and oil and gas engineering. 2021. no. 2. pp. 10–14. (in Russian).

13 Einstein V.G., Zakharov M.K., Nosov G.A. et al. Processes and apparatuses of chemical technology. General course. M., BINOM, Knowledge Laboratory, 2014. 1758 p. (in Russian).

14 Weber B., Meyer C., Jupke A. Performance Map for the Design of Liquid-Liquid Extraction Columns. Chemie Ingenieur Technik. 2019. vol. 91. no. 11. pp. 1674–1680. doi: 10.1002/cite.201900057

15 Weber B., Schneider M., Görtz J., Jupke A. Compartment model for liquid-liquid extraction columns. Solvent Extraction and Ion Exchange. 2020. vol. 38. no. 1. pp. 66–87. doi: 10.1080/07366299.2019.1691137

16 Kampwerth J., Roth D., Polte L., Jupke A. Model-Based Simultaneous Solvent Screening and Column Design Based on a Holistic Consideration of Extraction and Solvent Recovery. Industrial & engineering chemistry research. 2022. vol. 61. no. 9. pp. 3374–3382. doi: 10.1021/acs.iecr.1c03312

17 Sovilj M.N., Nikolovski B.G., Spasojević M.Đ. Hydrodynamics in spray and packed liquid-liquid extraction columns: A review. Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering. 2019. vol. 38. no. 2. pp. 267–282. doi: 10.20450/mjcce.2019.1519

18 Alimatov B., Karimov I.T., Sadullaev H.M., Khursanov B.Zh. Extraction unit with bubbling extractor. Patent RF, no. 2752313, 2021. (in Russian).

19 Amani P., Amani M., Ahmadi G., Mahian O. et al. A critical review on the use of nanoparticles in liquid–liquid extraction. Chemical Engineering Science. 2018. vol. 183. pp. 148–176. doi: 10.1016/j.ces.2018.03.001

20 Roshdi S., Kasiri N., Rahbar-Kelishami A. VOF simulation of single rising drops in three liquid-liquid extraction systems using CSF and CSS interfacial force models. Brazilian Journal of Chemical Engineering. 2018. vol. 35. pp. 1315–1331. doi: 10.1590/0104-6632.20180354s20170609

21 Tan B., Wang B., Chang C., Wang Y. et al. Hydrodynamic Behavior Analysis of Agitated-Pulsed Column by CFD-PBM. Solvent Extraction and Ion Exchange. 2021. pp. 1–22. doi: 10.1080/07366299.2021.2004660

Сведения об авторах

Михаил Г. Беренгартен к.х.н., профессор, кафедра аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств имени профессора М.Б. Генералова, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, berengarten@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0282-8202

Юрий В. Козин аспирант, кафедра аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств имени профессора М.Б. Генералова, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, Yura_kozin@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8230-0503

Information about authors

Mikhail G. Berengarten Cand. Sci. (Chem.), professor, Department of Hardware Design and Automation of Technological Productions named after Professor M.B. Generalov, Moskow Polytechnic University, Bolshaya Semenovskaya Street, 38, Moskow, 107023, Russia, berengarten@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0282-8202

Yuriy V. Kozin graduate student, Department of Hardware Design and Automation of Technological Productions named after Professor M.B. Generalov, Moskow Polytechnic University, Bolshaya Semenovskaya Street, 38, Moskow, 107023, Russia, Yura_kozin@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8230-0503

Вклад авторов

Михаил Г. Беренгартен консультация в ходе исследования
Юрий В. Козин обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Contribution

Mikhail G. Berengarten consultation during the study
Yuriy V. Kozin review of the literature for the issue in the scope of investigation, experiment conduction, study writing, study proofreading before filing in editing, accountable for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 07/04/2022	**После редакции** 25/04/2022	**Принята в печать** 20/05/2022

Received 07/04/2022	**Accepted in revised** 25/04/2022	**Accepted** 20/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-234-242 Обзорная статья/Review article
УДК 504.75.05 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Вредное воздействие электронных отходов на здоровье человека

Бикес С. Агаев [1] bikies418@gmail.com 0000-0002-5258-7718
Мая Я. Абдуллаева [2] adnsu_umtse_35@mail.ru 0000-0002-1380-1216

1 Институт информационных технологий НАНА, Баку, Азербайджан
2 Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку, Азербайджан

Аннотация. В настоящее время отходы электрического и электронного оборудования породили ряд глобальных проблем, и их решение столь же актуально, как и другие экологические проблемы. В статье исследуются вопросы, связанные с потенциальной опасностью электронных отходов для здоровья человека. Даны определения некоторых важных терминов по электронным отходам, относящихся к теме статьи. Были использованы ссылки на международные Директивы по электронным отходам (данные термины отсутствуют в экологическом праве Азербайджанской Республики). В странах, где не осуществляется селективный сбор отходов сгруппированы основные виды утилизации электронных отходов и показаны их характеристики. Приведен пример утилизации некоторых вредных и опасных электронных отходов в Азербайджане. Собрана, систематизирована и классифицирована информация из ряда международных нормативных документов и журналов. Обоснована целесообразность проведения классификации отходов по критерию «опасный-безопасный». Основная цель исследования является выявление причинно-следственной связи между опасными отходами и их вредом. Были изучены во взаимосвязи четыре фактора–опасные вещества, вредная среда, которую они создают, воздействия на человека и патологический исход. При подготовке статьи использовались общие методы и методики системного подхода, а также научный анализ и синтез, сравнение и обобщение результатов. В качестве информационной базы статьи использованы материалы ряда международных нормативных актов и нормативных актов стран СНГ по данной тематике. Результаты исследования могут быть использованы специалистами, занимающимися проблемами электронных отходов, студентами, изучающими предметы «Инженерная экология», «Экология и безопасность жизнедеятельности», а также теми, кто интересуется безопасностью здоровья.

Ключевые слова: электронные отходы, опасные отходы, опасные вещества, здоровье, систематизация, классификация.

Harmful effects of e-waste on human health

Bikes S. Agayev [1] bikies418@gmail.com 0000-0002-5258-7718
Maya Ya. Abdullayeva [2] adnsu_umtse_35@mail.ru 0000-0002-1380-1216

1 Institute of Information Technology, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, B. Vahabzade str., 9A, AZ1141,Azerbaijan
2 Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azadlig av.16/21, AZ1010 Azerbaijan

Abstract. Today, waste electrical and electronic equipment has lead a number of global problems and their solution is as urgent as other environmental problems. The article explores the issues related with potential danger of e-waste to human health. Definitions of some important terms on e-waste are given related with topic of the article are given. Reference is made to the international E-waste Directives (these terms are absent in the environmental law of the Azerbaijan Republic). In countries the selective waste collection which are not used classified, the main e-waste disposal types and their characteristics is shown in the article. Moreover, an example of recycling of some harmful and dangerous electronic waste in Azerbaijan is given. Collected, systematized and classified information from a number of international normative documents and journals. The expediency of carrying out the classification of waste according to the criterion "hazardous-safe" has been substantiated. The main goal of the study is to identify the causal relationship between hazardous waste and their deterimental effects. Four related factors- hazards components, harmful environment which they, cause dangerous effect to human health and pathology. In the preparative the article, general methods and techniques of the systemic approach as well as scientific analysis and synthesis, were used in comparison and generalization of the results. As an information base of the article, materials of a number of international normative acts and normative acts of the CIS countries and authoritative journals on this topic were used. The results of the research can be used by specialists dealing with the problems of e-waste, students studying the subjects " Ecological engineering ", "Ecology and Life Safety", as well as those who are interested in healthy lifestyle and safety.

Keywords: electronic waste, hazardous waste, hazardous substances, health, systematization, classification.

Введение

В связи с тем, что в Азербайджанском экологическом законодательстве не определено понятие «отходы электрического и электронного оборудования» (сокращенно, электронные отходы-ЭО, в англоязычной литературе Waste Electrical and Electronic Equipment – WEEE), в статье используются термины, определенные в Директивах 2012/19/EU, 2008/98/EC [1, 2] Европейского Союза (ЕС). Для целей статьи считаем целесообразным разъяснение нескольких ключевых терминов, относящихся к объекту исследования.

- Электротехническое и электронное оборудование (ЭЭО) – оборудования, функционирование которых рассчитаны на использование электрического тока напряжением до 1500 вольт или электромагнитного поля, а также генерирующие, передающие и измеряющие ток и электромагнитное поле.
- Электронные отходы (ЭО) – ЭЭО бывшее в употреблении, которые владелец выбрасывает или собирается, или вынужден выбросить, включая все компоненты, узлы, расходные материалы, которые являются частью оборудования на момент его снятия из эксплуатации.

Для цитирования
Агаев Б.С., Абдуллаева М.Я. Вредное воздействие электронных отходов на здоровье человека // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 234–242. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-234-242

For citation
Agayev B.S., Abdullayeva M.Ya. Harmful effects of e-waste on human health. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 234–242. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-234-242

© 2022, Агаев Б.С..и др. / Agayev B.S.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

- Опасные отходы – отходы, содержащие вещества, способные оказывать вредное воздействия или вызывать заболевания, при контакте с организмом человека, как в процессе работы, так и в дальнейшей жизни или у будущих поколений.

Любые ЭО содержит множество опасных и безопасных веществ (химических элементов, соединений, материалов), вредных для здоровья человека. ЭЭО становится серьезным источником опасности для здоровья человека и окружающей среды при несоблюдении должным образом правил эксплуатации, предусмотренных в проектных документах, а также при ненадлежащей утилизации их после потери потребительских свойств и превращения в отходы. В статье авторы обобщают информацию из большого количества источников и считают целесообразным дать отдельные пояснения под словосочетанием “при ненадлежащей утилизации”, выделяя три основных случая:

I. ЭО вывозят на свалки как твердые бытовые или промышленные отходы в смещенном виде и остаются на открытом воздухе.

В этом случае оборудования, под воздействием таких природных явлений как солнечный свет, дождь, ветер и т. д. разлагаются. Входящие в его состав элементы, вещества и материалы взаимодействуя друг с другом, а также воздухом атмосферы и осадками образуют вредные соединения в виде газов, жидкостей и твердых веществ, загрязняя атмосферу и почву.

На нижней части отходов, т. е. на поверхности почвы образуется фильтрат в виде твердой жидкой массы, содержащей сероводород, индол, скитол и др. ядовитые вещества. Эти вещества распространяются в окружающую среду, в результате обильных осадков, загрязнять почву и через грунтовые (подземные) воды бассейны с питьевой водой. Эти водные ресурсы могут представлять угрозу для здоровья человека, если они должным образом не очищаются и используются для питья, орошения и других целей. При этом подземные воды могут просачиваться в сеть хозяйственно-питьевого водоснабжения. Если животные питаются пищевыми отходами со свалки и траву из окружающей территории, то их продукты также могут быть отравлены.

Положительные температурные условия, создаваемые в массе отходов, создают благоприятные условия для интенсивного роста многих микроорганизмов. Эти микроорганизмы размножаются и могут вызывать распространение ряда инфекционных заболеваний. Точно так же образующиеся токсичные газы выбрасываются в атмосферу ветром и загрязняют атмосферу.

II. Сжигают вместе с другими отходами.

К вредным последствиям может привести самовозгорание или сжигание отходов на открытом воздухе (сжигание осуществляется регулярно для уменьшения массы отходов и занимаемой ими площади). При горении токсичных газов, например, выделяемые при горении поливинилхлорида (ПВХ) в изоляционном слое проводов и кабелей, образуются канцерогенные диоксины и фураны, имеющие чрезвычайно высокий уровень опасности и загрязняющие окружающую среду.

III. Утилизируют методом захоронение.

В этом случае, при использовании захоронения, как метода утилизации, отходы рано или поздно подвергаются разложению, а образующиеся таким же образом токсичные вещества проникают из почвенного слоя в атмосферу и подземные воды, загрязняя атмосферу, почву и водные бассейны.

Кроме того, помимо перечисленных особенностей, ЭО является важным ресурсом для производства новой продукции, как группа отходов с наибольшими материальными ресурсами.

В настоящее время электронная промышленность считается самой быстрорастущей отраслью. В первую очередь это связано с быстрым износом ЭЭО в связи с бурным развитием передовых технологий и растущим спросом на это оборудование. В результате объемы ЭО стремительно растут из года в год. Согласно совместному исследованию Университета Организации Объединенных Наций (United Nations University – UNU), Женевского Национального Института Обучения и Исследований (Nations Institute for Training and Research) и Всемирного Союза Электросвязи (ITU), в 2014 году во всем мире было произведено 36 млн т ЕО, а в 2019 году – 53,6 млн т. По их прогнозу, к 2030 году эта цифра достигнет 74,5 млн т, т. е. за 16 лет ожидается удвоение массы ЭО [3, 4].

Группа ЭО отличается от других групп отходов (бытовых, медицинских, военных, сельскохозяйственных и др.) разнообразием содержащихся в ней веществ и соединений. Подсчитано, что при составлении ЭЭО используется более 70 элементов из таблицы Менделеева и множество материалов. Обычно из-за ряда сходных физико-химические свойства эти элементы и вещества делятся на группы: металлы (Fe, Cu, Al и др.), драгоценные металлы (Au, Ag, элементы группы Pn и др.), тяжелые металлы (As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Pb, Sn, Xm и др.), редкоземельные металлы (Eu, Y, Pm, Ti и др.), полибром 1.2, ПВХ, а также кадмий, бериллий и их соединения. С другой стороны, как указывалось выше, при сжигании массы ЭО на открытом воздухе или в специальном оборудовании, но с нарушением правил эксплуатации, образуются новые вещества и соединения, многие из которых (диоксины и фураны, ароматические углеводы, фталаты и др.) высоко токсичны и представляют серьезную угрозу для здоровья человека [3–5].

Для классификации ЭО по фактору опасности для здоровья человека целесообразно сначала классифицировать ЭЭО. В технической литературе существуют различные подходы к этому вопросу. В целом ЭЭО подразделяют на группы в зависимости от области использования: бытовая, промышленная, медицинская, военная, сельскохозяйственная и т. д. Однако классификация по этим группам не дает четкого представления о конструктивных компонентах, а также о веществах и материалах электрических и электронных оборудований, используемых при их производстве. Потому что те же электрические и электронные детали и т. д. могут использоваться в любой из вышеперечисленных группах отходов характерных для этих областей.

В статье [5] автор М.А. Иванова, исходя из отраслевых интересов представляемого ею аффинажного предприятие, классифицирует ЭЭО по его материально-сырьевым ресурсам, причем к первой группе относится оборудование с большим содержанием золота, серебра и элементов группы платины.

Другая группа авторов предлагает основывать классификацию на технологии, используемые для извлечение материальных ресурсов из ЭО и возврата в повторное использование. Учитывая, что основным компонентом ЭО являются черные металлы, в качестве основной группы приняты методы сепарация, пирометаллургия и гидрометаллургия [6].

Группа ученых из Индии, исходя из первостепенности фактора здоровья, классифицируют ЭЭО по патологическим состояниям (заболеваниям), которых могут вызывать вещества содержащиеся в составе этих ЭЭО [7].

Более широкая классификация медицинской ЭЭО приведена в [8]. Здесь оборудования классифицируются по группам генерирующие: радиоволны и электромагнитные волны, инфракрасное, ультрафиолетовое и ионизирующее излучение, акустический шум, свет (системы освещения) и т. д.

Группа экспертов UNU в своих ежегодных сводках статистических данных об ЭО описывают анализ вариантов классификации, принятых в международных документах по отходам (Директива ЕС 2012/19/2012, Базельская Конвенция, отчеты StEP UNU (Solving the E-Waste Problems UNU), и сравнивают плюсы и минусы каждого из них. Отмечается, что каждая страна может использовать тот вариант, который считает целесообразным, в зависимости от особенностей национального законодательства об ЭО [9].

Следует отметить, что каждый из этих подходов к классификации имеет определенные преимущества и недостатки. По мнению авторов, с точки зрения общего подхода более целесообразной для использования является классификация, установленная Директивой 2012/19 ЕС/ЕР по целевым показателям. Согласно классификации данной Директивы, принятой в качестве международного стандарта в области управления ЭО, к ЭО относятся отходы следующих 600 ЭЭО, объединенные в 10 групп.

1. Крупная бытовая техника.
2. Мелкая бытовая техника.
3. Информационное и телекоммуникационное оборудование.
4. Бытовая техника и фотоэлектрические панели.
5. Осветительные приборы.
6. Электрические и электронные инструменты.
7. Игрушки, спортивные товары и оборудование для отдыха.
8. Медицинские изделия (кроме всех имплантированных и зараженных изделий).
9. Средства контроля и мониторинга.
10. Вендинговое оборудование.

Многие химические элементы, их соединения и конструкционные материалы, используемые при производстве ЭЭО являются токсичными, радиоактивными, раздражающими, канцерогенными, инфекционными, тератогенными, мутагенными и т. д. в силу механизмов их действия, и может иметь одну или несколько из указанных свойств. В целом степень вредного воздействия ЭО на состояние здоровья зависит от следующих факторов: от класса (степени) опасности содержащихся в этом оборудовании веществ, массы и вида отходов, способов утилизации, расстояния от полигонов до мест обитания, водоемов и грунтовых вод, географических условий (температурный режим, осадки, сила и направление характерных попутных ветров и др.), возраста, пола и др. показателей человека. Однако особенности вредного действия в основном определяются классами опасности содержащихся в них элементов и соединений. Поэтому важно классифицировать эти компоненты по классам опасности. Согласно рекомендациям ряда международных организаций, занимающихся управлением ЭО, классификацию следует проводить таким образом, чтобы ЭЭО одной и той же категории не попадали в разные классификационные группы, чтобы не усложнять процесс сбора и анализа статистических данных по странам и регионам [10]. Согласно этим рекомендациям количество классификационных групп не должно быть слишком большим или слишком узким и должно основываться на конкретных факторах, отражающих ключевые признаки. В качестве признаков можно использовать сходство опасностей для здоровья / окружающей среды, рабочих функций оборудования, материальные / сырьевые ресурсы, массы, срока службы, типичных причин выхода из строя и т. д.

Рассмотрим несколько статей и нормативных актов, классифицирующих ЭО по фактору опасности в соответствии с целями статьи.

В статье [7] отражены результаты многолетних совместных исследований нескольких индийских исследовательских центров. Они исследовали влияние на здоровье: ртути, хрома и 6-валентного хрома, кадмия, бериллия, мышьяка, свинца и олова, соединений никеля, меди, железа и алюминия. Объектами исследования являются дети и беременные женщины, и выявлялись патологические случаи.

Группа исследователей из нескольких стран Европы исследовали ряд веществ (бромированные антипирены, полибромиддифениловые эфиры, бифенилы, дибензодиоксины и дибензофураны, полиароматические углеводы и др.) в семействе особо опасных диоксиновых и фурановых соединений на:

– физическое здоровье;

– психическое состояние;

– образованность;

– склонность к совершению преступлений.

Объектом исследований являлись неформальные группы утилизаторов отходов («черные утилизаторы») на свалках в китайских городах Гуй, Тайчжоу и Луи, сотрудники официальных перерабатывающих заводов и жители, проживающие вблизи полигона [11].

В статье [12] исследованы вредные вещества, образующихся при сжигании мобильных телефонов и их аксессуаров, выброшенных на свалках. Приведены результаты анализа с использованием методов рентгеновской спектроскопии, оптической эмиссионной спектроскопии и исследовано влияние на здоровье работников.

Степень опасности вредных для здоровья человека веществ в СНГ определяется стандартом ГОСТ 12.1.007–76* и подразделяется на 5 классов опасности [13]:

чрезвычайно опасные вещества;

особо опасные вещества;

умеренно опасные вещества;

менее опасные вещества;

безопасные вещества.

Перечня вредных веществ в каждом классе нет, но основными нормами и показателями, определяющими их класс, являются следующие:

допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны;

средняя смертельная доза при приеме внутрь;

средняя летальная доза при контакте с кожей;

концентрация в воздухе, приводящая к смерти.

Определение этих норм и показателей регламентируется санитарными правилами СП2.1.7.1386–03, установленными одним из расчетных или экспериментальных методов. В первом случае окончательный класс опасности рассчитывается по формуле с учетом массового соотношения и класс опасности каждого вредного вещества в отходах. Во втором случае-влияние составляющих веществ на экспериментальные животные и на развитие отдельных растений. В документе указано, что определение классов опасности по этим правилам является обязанностью производителей отходов. Хотя требования стандарта являются обязательными, этот процесс настолько сложен и утомителен, что практически не используется [14].

Как видно, существуют разные подходы к классификации ЭО по фактору опасности. По мнению авторов, наиболее обобщенная классификация в этом отношении дана в Базельской конвенции [15]. В этом документе, принятом в качестве международного стандарта, перечислены все опасные элементы и соединения, содержащиеся в ЭО, по отдельности или группами. Здесь «опасность» элементов и соединений заключается в их «ядовитости», «инфекционности», «токсичности», «едкости», «экотоксичности» и т. д. и связано с наличием одного из указанных признаков. В документе не классифицируются вещества по классам опасности и не приводится перечень безвредных веществ (например, по группам). Под этим можно понимать восприятие элементов и соединений, входящих в состав ЭО и не вошедших в этот список, как «безвредные». Поэтому авторы считают более целесообразным разделить ЭО на два класса: «опасные» и «безопасные». Эта классификация позволяет принять решение о первичной утилизации компонентов, особенно после демонтажа оборудования. Например, обезвреживание хладагента холодильных аппаратов до вторичной утилизации в дробильном аппарате. С другой стороны, ряд требований международных стандартов, касающихся производства ЭЭО, также служат для определения угрозы ЭТ. Например, Директива [16] гласит, что в конструктивных единицах (элементах) оборудования максимальная масса опасных элементов и соединений, не должна превышать следующие пределы по отношению к массе этих единиц (действуют с 2016 г.): олово – 0,1; ртуть – 0,1; кадмий – 0,01; шестивалентный хром – 0,1; полибромидбифенилы – 0,1; сложные эфиры полибромдифенилов – 0,1.

Приведенная выше информация о некоторых опасных для здоровья элементах и соединениях ЭО систематизирована, классифицирована и указана в таблице 1.

Таблица 1.

Некоторые опасные компоненты ЭО и факторы воздействия на здоровье

Table 1.

Some hazardous e-waste ingredients and health effects

Элементы и соединения Elements and connections	Применяемые некоторое электрическое и электронное оборудование Applicable some electrical and electronic eqipment	Источник (средства) воздействия Source (means) of action	Способ влияния Way of influence	Влияние на здоровье In leaning on health
1	2	3	4	5
1. Стойкие загрязняющие вещества|1.Persistent pollutants				
Бромированные антипирены, полибромированные дифениловые эфиры Brominated flame retardants, Polychromeyes diphenyl ethers	Провода, кабели, пожаробезопасные кожухи и крышки Wires,cables,fireproof skins and covers	Воздух, пыль, продукты питания, вода и почва Air, dust, foodstuffs, water and soil	Дыхательная, проглатывание, внутриматочная İnhalation, swallowing, intramuscular	Канцерогенные, цитотоксин, когнитивные нарушения деятельности (КНД) Carcinogenic, cytotoxic, cognitive impairmet
Полихлорирован-ные бифенилы Polychlorinated biphenyls	Генератор, трансформатор, конденсатор, люминесцентная лампа, электродвигатель, электроприборы Generator, trasformer,capacitor, fluorescent lamp, electric motor, electrical appliances	Воздух, пыль, почва, вода и продукты питания (особенно биоаккумулируются в рыбе и морепродуктах) Air, dust, soil, water and foodstuffs (especially bioaccmulated in fish and seafood)	Вдыхание, проглатывание, контакт с кожей, внутриматоч-ное İnhalation, swallowing, skin contact, intramuscular	Канцерогенные, цитотоксин, заболевания легких(ЗЛ), в т. ч. рак легкого (РЛ), аборты Carcinogeic, cytotoxin,conitive impairment (CI)
2. Диоксины и фураны				
Полихлорированные дибензодиоксины и дибензофураны Polychlorinated biphenyls	Генератор, трансформатор, конденсатор, люминесцентная лампа, электродвигатель, электроприборы Generator, trasformer,capacitor, fluorescent lamp, electric motor, electrical appliances	Воздух, продукты питания, почва, пыль, вода Air, dust, soil, water and foodstuffs (especially bioaccmulated in fish and seafood)	Вдыхание, контакт с кожей, всасывание, внутриматочное İnhalation, swallowing, skin contact, intramuscular	Заболевания иммунной системы, заболевания центральной нервной системы (ЗЦНС), заболевания печени, почек, кожные заболевания Carcinogeic, cytotoxin, lung disease (LD), etc. abortion
Диоксиноподобные полихлорированные бифенилы Dioxin-like Poluchlorinated biphenyls	Генератор, трансформатор, конденсатор, люминесцентная лампа, электродвигатель, электроприборы Generator, trasformer,capacitor, fluorescent lamp, electric motor, electrical appliances	Продукты питания, воздух, почва, пыль, вода (особенно биоаккумулируются в рыбе и морепродуктах) Food products, air, soil, pollen, water products (especially bioaccmulated in fish and seafood)	Всасывание, вдыхание, контакт с кожей Suction , inhalation, skin contact	Диабет, гипертония, сердечнососудистые заболевания (ССЗ) Diabetes, hypertension, cardiovascular diseasse (HCD)
Полиароматические углеводы Polyaromatic carbohydrates	Корпуса проводов, кабелей, радиоэлектронных устройств Wire housing, cables, radio-electronic devices	Воздух, пыль, почва, продукты питания Air, dust, soil, foodstuffs	Вдыхание, контакт с кожей, проглатывание Inhalation, skin contact, swallowing	Канцероген, цитотоксин, РЛ, аборт Carcinogenic, cytotoxin, (LC), abortion
3. Элементы | 3.Elemets				
Олово и соединения Tin and compounds	Принтеры, электронно-лучевая трубка (ЭЛТ), лампа, телевизор, аккумулятор, мобильный телефон Printers,electron beam tube(EBT), lamp, TV, battery,mobile phone	Воздух, пыль, вода, почва Air, dust, water, soil	Вдыхание, проглатывание, контакт с кожей İnhalation, swallowingn, skin contact	Диабет, гипертония, ССЗ, болезнь Паркинсона Diabetes, hypertension, HCD, Parkinsons disease
Шестивалентный хром Festive chrome	Покрытие ЕЕО, элементы памяти Cover WEE, the elements memory	Воздух, пыль, вода, почва Air, dust,water, soil	Вдыхание, проглатывание, контакт с кожей İnhalation, swallowingn, skin contact	Канцероген, цитотоксин Carcinogenic, cytotoxin abortion

Продолжение таблицы 1 | Continuation of table 1

1	2	3	4	5
Кадмий и его соединения Cadmium and its compounds	Контактные преобразователи, разъемы, печатная плата, батарея, полупроводниковый чип, копировальный аппарат, электронно-лучевая трубка, мобильный телефон Contact converters, connectors, printed circuit board, battery, semiconductor chip, copier, electronic-beam tube, mobile phone	Воздух, пыль, почва, вода, продукты питания (особенно рис и фрукты) Air, dust, soil, water, foodstuffs (especially rice and fruits)	Вдыхание, контакт с кожей, проглатывание, skin contact, swallowingn İnhalation, skin contact, swallowingn	Диабет, гипертония, ССЗ, РЛ Diabetes, hypertension, HCD, LC
Ртуть и его соединения Mercury and its compounds	Термостат, преобразователи, элементы принтеров, люминесцентная лампа Thermostat, converters, printer elements, fluorescent lamp	Воздух, пары ртути, вода, почва, продукты питания (особенно биоаккумулируются в рыбе). Air, mercury vapors, water, soil, foodstuffs (especially rice and fruits)	Вдыхание, контакт с кожей, всасывание İnhalation, skin contact, suction	КНД, психическое расстройство, нарушение зрения CI, mental disorder, impaired vision
Цинк и его соединения Zinc and its compounds	ЭЛТ Металлопокрытие припоем, изделия падиотехники Metal-coating solder, products of pediatricians	Воздух, вода, земля Air, water,earth	Вдыхание, проглатывание, контакт с кожей İnhalation, swallowingn, skin contact	Желтуха (болезнь Боткина), ББ, бесплодие, конъюнктивит, остеопороз Jaundice (Botkin's disease), BD, infertility, conjunctivitis, osteporosis
Соединения никеля Nickel compounds	Металлопокрытие батарей и аккумуляторов, ферромагнетиков, падиотехнических изделий Metal coating of batteries and accumulators, ferromagnets, radio equipment	Воздух, почва, вода, растения, продукты питания Air, soil, water, plants, foodstuffs	Вдыхание, проглатывание, контакт с кожей, проглатывание, внутриматоч-ное İnhalation, swallowingn, skin contact ,swallowingn intramuslar	Канцероген, генотоксин, ЗЛ Канцероген, цитотоксин Carcinogenic, Genetoxin, LD
Соединения лития Litium compounds	Батареи и аккумуляторы, термоэлектрохими-ческие преобразователи Batteries and accumulators, thermoelectrochemical converters,	Воздух, почва, вода, растительные продукты питания Air, soil, water, plant foodstuffs	Вдыхание, контакт с кожей, всасывание İnhalation, skin contact, suction	ЗЛ LD
Соединения бария Compounds of baium	Батареи и аккумуляторы, рентгеновские аппараты Batteries and accumulators, x-ray machines	Воздух, почва, вода, продукты питания Air, soil, water, foodstuffs	Вдыхание, контакт с кожей, всасывание Inhalation, skin contact, absorption	Заболевания желудочно-кишечного тракта (ЗЖКТ), ССЗ, заболевания глаз, судороги, сердечная недостаточность Diseases of the gastrointestinal tract (GI tract), HCD, eye diseases, seizures, heart failure
Бериллий и соединения Beryllium and compounds	Интегральная схема, компоненты радиоэлектронной аппаратуры, блок питания, компьютер, флюресцентная лампа, рентгеновский аппарат Integrated circuit, electronic components, power supply, computer, fluorescent lamp, x-ray machine	Воздух, продукты питания, вода Air, foodstuffs, water	Дыхательный, проглатывание, внутрибрюшной Respiratory, ingestion, intra-abdominal	Канцерогенный, острый и хронический пневмонит, саркоидоз, острый бериллиоз Carcinogenic, acute and chronic pneumonitis, sarcoidosis, acute beryllosis
Медь и соединения Copper and compounds	Интегральная схема, компоненты оборудования, разъемы, печатная плата, провод Integrated circuit, hardware components, connectors, printed circuit board, wire	Воздух, вода, продукты питания Air, water, foodstuffs	Вдыхание, проглатывание inhalation, swallowingn	ЗЖКТ, болезнь Альцгеймера, атеросклероз LD, Alzheimer's disease, atherosclerosis

Обсуждение

Как видно, ЭО содержит ряд опасных элементов и соединений, которые при определенных условиях могут нанести вред человеку при неправильной утилизации или потенциальной угрозой здровью. Поэтому решение проблемы ЭО является одной из самых актуальных и важных экологических проблем, стоящих перед каждой страной. Это требует создания эффективной системы управления ЭО. Известно, что такая система обращения с отходами, в том числе с опасными ЭО, создана и развивается в ряде развитых и развивающихся стран [17].

В Азербайджане была проделана определенная работа по обращению с опасными отходами. Например, была подписана Базельская конвенция [15] в 1996 г. (присоединилась к Конвенции в 2001 г.), приняты рамочный Закон Азербайджанской Республики «О бытовых и производственных отходах» (1998) (второя редакция принята в 2007 г.) [18], Постановления кабинета министров АР «Требования к обращению с медицинскими отходами» (2007 г.), «Правила сертификации опасных отходов» (2003 г.), «Государственная стратегия обращения с опасными отходами в Азербайджанской Республике» (2004 г.) и др. нормативные акты. Однако эти документы не в полной мере отвечают современным требованиям, а некоторые положения противоречат международным нормам [19]. Также на сегодняшний день не разработана специальная правовая база по обращению с ЭО и не создана соответствующая инфраструктура переработки. До сих пор ЭО, образующийся в домашних хозяйствах, на предприятиях утилизируется как смешанные отходы. Например, по данным Госкомстата Азербайджанской Республики, в 2016 году в стране было собрано опасных ЭО, содержащих 2,0 тонны ртути, 4,1 тонны люминесцентных ламп, 41,6 тонны батарей и аккумуляторов, которые утилизированы на полигонах без надлежащей переработки-методом захоронение [20]. Эта практика была продолжена и в последующие годы (с меньшей массой). Более серьезную угрозу собственному здоровью и здоровью окружающих представляет деятельность неформальных групп («черных утилизаторов»), занимающихся переработкой отходов кустарными способами на своем участке или на свалках.

Поэтому, по мнению авторов, учитывая экологических, экономических, технологических, социальных, культурных и других национальных особенностей нашей страны, создание эффективной системы управления ЭО должно стать одной из самых актуальных задач, стоящих перед государством.

Для этого:

– необходимо глубоко проанализировать текущую ситуацию и проблемы в области управления отходами и ЭО в нашей республике;

– изучить опыт передовых стран и начать работу по созданию национальной системы управления ЭО. Эта система базируется на специальной законодательной базе, организационно-управленческих методах и механизмах, финансировании, системе информационного обеспечения и т. д. Также необходимо создание инфраструктуры, охватывающей весь жизненный цикл – с момента образования до полной переработки (селективный сбор, хранение (складирование), повторное использование, первичная обработка и вторичное переработка, захоронение, ликвидация и т. д.).

Заключение

В статье рассмотрены экологические проблемы, вызванные отходами электрического и электронного оборудования и обоснована актуальность решения этих проблем. Отмечено, что ЭО содержит ряд химических элементов, соединений и материалов, которые могут стать потенциальным источником опасности для здоровья персонала и людей, если их не подвергнуть к надлежащей утилизации. Выяснено, что с момента перехода ЭЭО в категорию отходов он подвергается трем условиям: смешивается с другими отходами и выбрасывается на свалки, сжигается или закапывается. Во всех трех случаях определены загрязняющие свойства веществ и соединений, образующихся в воздухе, почве и водоемах. Систематизированы ЭО, содержащие опасные элементы, соединения и материалы, и предложено классифицировать их по принципу «безопасные-опасные». Также систематизированы основные заболевания и патологические состояния, создаваемые ЭО. Выявлены причинно-следственные связи между вредной средой, создаваемой опасными компонентами ЭО, каналов передачи в организм человека и состоянием здоровья.

Литература

1 Directive 2012/19/EU of the European Parliament and the Council of 4 July 2012. On waste, electrical and electronic equipment.

2 Directive 2008/98/ec of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives.

3 Balde C.P., Forti V., Gray V., Kuehr R. et al. The global e-waste monitor 2017: Quantities, flows and resources. – United Nations University, International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association, 2017.

4 Forti V., Balde C.P., Kuehr R., Bel G. The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. 2020.

5 Коняев А.Ю., Назаров С.Л., Казанцев Р.О., Якушев Н.С.и др. Переработка электронного лома: применение электродинамических сепараторов // Твердые бытовые отходы. 2014. №. 2. С. 26-31.

6 Shubov L.Ya., Ivankov S.I., Skobelev K.D., Doronkina I.G. et al. Systematization of processing technologies and utilization of electronic and electrical scrap // Ecological systems and devices. 2020. № 2. P. 35–48. doi: 10.25791/esip.02.2020.1138

7 Sankhla M.S., Kumari M., Nandan M., Mohril S. et al. Effect of Electronic waste on Environmental & Human health-A Review // Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology. 2016. V. 10. P. 98–104. doı: 10.9790/2402–10090198104

8 Агаев Б.С., Мехтиев Ш.А., Алиев Т.С. О вредных воздействиях медицинского электронного оборудования и его отходов на здоровье человека и окружающую среду // Информационное общество. 2018. №. 6. С. 30-38.

9 Wang F., Huisman J., Balde K., Stevels A. A systematic and compatible classification of WEEE //2012 Electronics Goes Green 2012+. IEEE, 2012. P. 1-6. URL: https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid % 3Ad2185f76–94cf-4c98-a719-cf81ff538ea1

10 Forti V., Baldé K., Kuehr R. E-waste statistics: guidelines on classifications, reporting and indicators. 2018. URL: https://www.researchgate.net/publication/331714941_E-aste_statistics_Guidelines_on_analizi

11 Grant K., Goldizen F.C., Sly P.D., Brune M.N. et al. Health consequences of exposure to e-waste: a systematic review // The lancet global health. 2013. V. 1. №. 6. P. e350-e361. doi: 10.1016/S2214-109X(13)70101-3

12 Sonawane P.M., Gupta S.G. Detailed Quantification of Toxic and Precious Metal Content of Scrap Mobile PCB by FE SEM/EDAX and Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy Method // Applied Ecology and Environmental Sciences. 2020. V. 8. № 2. P. 55–63. doi: 10.12691/aees-8–2–3

13 ГОСТ 12.1.007–76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. URL: http://docs.cntd.ru/document/5200233

14 СП 2.1.7.1386–03. Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления.

15 Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal. URL: https://eur-le

16 Directive 2011/65/EU of the European Parlament and of the Council of 8 June 2011. On the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS).

17 Agaev B.S., Aliev T.S. On the practice of electronic waste management in the European Union // Problems of the Information Society. 2015. № 1. P. 81–87.

18 Law of the Republic of Azerbaijan on Industrial and Domestic Waste, 1998.

19 Обзор существующего национального и международного законодательства в области контроля трансграничных перемещений опасных отходов и экологически безопасного управления ими в странах СНГ. Москва: Центр международных проектов, 2015. 244 с.

20 Государственный комитет по статистике Азербайджанской Республики. Переработка сырья. Статистический бюллетень, 2016. URL: http://www.stat.gov.az/source/environment/az/bul/evr_04_2016.pdf

References

1 Directive 2012/19/EU of the European Parliament and the Council of 4 July 2012. On waste, electrical and electronic equipment.

2 Directive 2008/98/ec of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives.

3 Balde C.P., Forti V., Gray V., Kuehr R. et al. The global e-waste monitor 2017: Quantities, flows and resources. United Nations University, International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association, 2017.

4 Forti V., Balde C.P., Kuehr R., Bel G. The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. 2020.

5 Konyaev A.Yu., Nazarov S.L., Kazantsev R.O., Yakushev N.S. et al. Processing of electronic scrap: the use of electrodynamic separators. Municipal solid waste. 2014. no. 2. pp. 26-31. (in Russian).

6 Shubov L.Ya., Ivankov S.I., Skobelev K.D., Doronkina I.G. et al. Systematization of processing technologies and utilization of electronic and electrical scrap. Ecological systems and devices. 2020. no. 2. pp. 35–48. doi: 10.25791/esip.02.2020.1138

7 Sankhla M.S., Kumari M., Nandan M., Mohril S. et al. Effect of Electronic waste on Environmental & Human health-A Review. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology. 2016. vol. 10. pp. 98–104. doı: 10.9790/2402–10090198104

8 Agaev B.S., Mekhtiev Sh.A., Aliev T.S. On the harmful effects of medical electronic equipment and its waste on human health and the environment. Information society. 2018. no. 6. pp. 30-38. (in Russian).

9 Wang F., Huisman J., Balde K., Stevels A. A systematic and compatible classification of WEEE. 2012 Electronics Goes Green 2012+. IEEE, 2012. pp. 1-6. Available at: https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid % 3Ad2185f76–94cf 4c98 a719 cf81ff538ea1

10 Forti V., Baldé K., Kuehr R. E-waste statistics: guidelines on classifications, reporting and indicators. 2018. Available at: https://www.researchgate.net/publication/331714941_E-aste_statistics_Guidelines_on_analizi

11 Grant K., Goldizen F.C., Sly P.D., Brune M.N. et al. Health consequences of exposure to e-waste: a systematic review. The lancet global health. 2013. vol. 1. no. 6. pp. e350-e361. doi: 10.1016/S2214-109X(13)70101-3

12 Sonawane P.M., Gupta S.G. Detailed Quantification of Toxic and Precious Metal Content of Scrap Mobile PCB by FE SEM/EDAX and Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy Method. Applied Ecology and Environmental Sciences. 2020. vol. 8. no. 2. pp. 55–63. doi: 10.12691/aees 8–2–3

13 GOST 12.1.007–76. Harmful substances. Classification and general safety requirements. Available at: http://docs.cntd.ru/document/5200233

14 SP 2.1.7.1386–03. Sanitary rules for determining the hazard class of toxic production and consumption wastes.

15 Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal. Available at: https://eur-le

16 Directive 2011/65/EU of the European Parlament and of the Council of 8 June 2011. On the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS).

17 Agaev B.S., Aliev T.S. On the practice of electronic waste management in the European Union. Problems of the Information Society. 2015. no. 1. pp. 81–87.

18 Law of the Republic of Azerbaijan on Industrial and Domestic Waste, 1998.

19 Review of existing national and international legislation in the field of control of transboundary movements of hazardous wastes and their environmentally sound management in the CIS countries. Moscow: Center for International Projects, 2015. 244 p. (in Russian).

20 State Statistics Committee of the Republic of Azerbaijan. Processing of raw materials. Statistical Bulletin, 2016. Available at: http://www.stat.gov.az/source/environment/az/bul/evr_04_2016.pdf (in Russian).

Сведения об авторах

Бикес С. Агаев к.т.н., доцент, заведующий лаборатории №4, Институт Информационных Технологий Национальной Академии Наук Азербайджана, ул. Б.Вагабзаде, 9 А, г. Баку, AZ1141, Азербайджан, bikies418@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-5258-7718

Мая Я. Абдуллаева к.х.н., кафедра нефтехимическая технология и промышленная экология, Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, пр-т Азадлыг, 20, г. Баку, AZ1010, Азербайджан, adnsu_umtse_35@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1380-1216

Information about authors

Bikes S. Agayev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, department head №4, Institute of Information Technology, Azerbaijan National Academy of Sciences Technologies, B. Vahabzade str., 9A, Baku, AZ1141, Azerbaijan, bikies418@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-5258-7718

Maya Ya. Abdullayeva Cand. Sci. (Chem.), Petrochemical technology and industrial ecology department, Azerbaijan State Oil and Industry University, Azadlig Av., 20, Baku, AZ1010, Azerbaijan, adnsu_umtse_35@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1380-1216

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 05/04/2022	**После редакции** 29/04/2022	**Принята в печать** 01/06/2022

Received 05/04/2022	**Accepted in revised** 29/04/2022	**Accepted** 01/06/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-243-248 Оригинальная статья/Research article
УДК 360 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Совершенствование адсорбционно-абсорбционной установки очистки газовоздушной смеси от легких органических соединений и сероводорода при погрузке нафты на морские танкеры

Валерий П. Мешалкин [1] vpmeshalkin@gmail.com 0000-0001-6956-6705
Евгений А. Бабаков [1] babakhol@mail.ru 0000-0002-4729-4881

1 Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, Миусская площадь, А-47, г. Москва, 125047, Россия

Аннотация. В статье предложено совершенствование адсорбционно-абсорбционных установок рекуперации паров нафты за счет применения узла очистки от сернистых соединений. Данный узел позволяет удалять из паров нафты экологически опасные сернистые компоненты, негативно влияющие на адсорбционные фильтры, без повышения температуры и значительного перепада давления газовоздушной смеси. Актуальность проведенного исследования обусловлена тем, что морские терминалы являются объектами значительной эмиссии углеводородов и сернистых соединений. Интенсивное испарение нафты в процессе налива приводит к загрязнению атмосферного воздуха и потере ценного продукта. Решить проблему призваны установки рекуперации паров с узлом очистки от сернистых соединений, однако их внедрение на объектах налива требует установки дополнительных побудителей расхода и, как правило, дополнительному расходу электроэнергии. Основная цель исследования состояла в изыскании возможностей повышения экологической безопасности и совершенствования адсорбционно-абсорбционных установок рекуперации паров на действующих объектах налива морских танкеров с учетом существующего уровня их технического оснащения. Установлено, что использование предложенного узла очистки от сернистых соединений позволяет ожидать уменьшения расхода энергоресурсов за счет отсутствия побудителей расхода (газодувки), а также увеличение работы адсорбционных фильтров на 35–45 %. Эффективность моделирования очистки низконапорного газа от сероводорода подтверждена исследованиями на лабораторной установке, включающей реактор сероочистки. Очистка газа от сероводорода с помощью комплекса хелатного железа обеспечивает конверсию сероводорода в серу, остаточное содержание сероводорода при этом может быть снижено менее 1 ppm. Реализация каталитической очистки комплексом хелатного железа в дисковом пленочном аппарате позволяет очистить газовоздушную смесь от примесей сероводорода.

Ключевые слова: газовоздушная смесь, установка рекуперации, органические соединения, жидкофазное окисление, сероводород.

Improvement of the adsorption-absorption vapor recovery unit for cleaning the gas-air mixture from volatile organic compounds and hydrogen sulfide when loading naphtha on marine tankers

Valery P. Meshalkin [1] vpmeshalkin@gmail.com 0000-0001-6956-6705
Evgeny A. Babakov [1] babakhol@mail.ru 0000-0002-4729-4881

1 Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Miusskaya square, 9, 125047, Russia

Abstract. The article proposes the improvement of adsorption and absorption plants for the recovery of naphtha vapors through the use of a sulfur compounds purification unit. This unit allows you to remove environmentally hazardous sulfur components from naphtha vapors, which adversely affect adsorption filters, without increasing the temperature and significant pressure drop of the gas-air mixture. The relevance of the study is due to the fact that marine terminals are objects of significant emissions of hydrocarbons and sulfur compounds. Intensive evaporation of naphtha during the filling process leads to air pollution and loss of valuable product. Vapor recovery units with a desulfurization unit are designed to solve the problem, however, their implementation at loading facilities requires the installation of additional flow stimulators and, as a rule, additional electricity consumption. The main purpose of the study was to find ways to improve environmental safety and improve adsorption and absorption vapor recovery units at existing sea tanker loading facilities, taking into account the current level of their technical equipment. It established that the use of the proposed desulphurization unit makes it possible to expect a reduction in energy consumption due to the absence of flow stimulators (gas blowers), as well as an increase in the operation of adsorption filters by 35-45%. The effectiveness of modeling the purification of low-pressure gas from hydrogen sulfide has been confirmed by studies on a laboratory installation including a desulfurization reactor. Purification of gas from hydrogen sulfide using a chelated iron complex ensures the conversion of hydrogen sulfide into sulfur, while the residual content of hydrogen sulfide can be reduced to less than 1 ppm. The implementation of catalytic purification by a chelated iron complex in a disk film apparatus makes it possible to purify the gas-air mixture from hydrogen sulfide impurities.

Keywords: gas-air mixture, recovery unit, organic compounds, liquid-phase oxidation, hydrogen sulfide.

Введение

Нафта представляет собой смесь парафинов, олефинов, нафтенов, ароматических соединений, так же возможно наличие сернистых соединений. Состав нафты может варироваться в зависимости от различных нефтеперерабатывающих компаний, географических источников производства. В связи с увеличением спроса на нафту для использования

Для цитирования
Мешалкин В.П., Бабаков Е.А. Совершенствование адсорбционно-абсорбционной установки очистки газовоздушной смеси от легких органических соединений и сероводорода при погрузке нафты на морские танкеры // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 243–248. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-243-248

For citation
Meshalkin V.P., Babakov E.A. Improvement of the adsorption-absorption vapor recovery unit for cleaning the gas-air mixture from volatile organic compounds and hydrogen sulfide when loading naphtha on marine tankers. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 243–248. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-243-248

© 2022, Мешалкин В.П. и др. / Meshalkin V.P. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

в нефтеперерабатывающих производствах растет количество морских грузоперевозок данного продукта [1]. Выбросы в атмосферу при погрузке нафты в морские танкеры являются значительными загрязнителями окружающей среды. Выбросы в основном состоят из легких органических соединений, неметановых соединений, а также сероводорода [2]. Летучие органические соединения (далее ЛОС) – это органические химические вещества, которые легко испаряются при нормальных условиях. ЛОС включают различные вещества, такие как алканы (например, метан, этан, пропан и т. д.), алкены, альдегиды, ароматические углеводороды и т. п.

Материалы и методы

В стандартах качества воздуха, разработанных Агентством по охране окружающей среды США, максимально допустимое количество УВ за 3 ч составляет 1,6 • 10–4 кг/м^3 (0,24 промилле). Недавно принятый Европейским сообществом предельный уровень выбросов ограничен в 35 г. общего содержания органических соединений (ООС) на кубический метр (35 г. ООС выделенных/м^3) для средств хранения и распределения нефтепродуктов [3]. Гетеборгский протокол 1999 года по борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном был принят для установления уровней выбросов для четырех загрязнителей, включая серу, NOx, ЛОС и аммиак. Протокол устанавливает жесткие предельные значения для конкретных источников выбросов. В Российской Федерации устанавливаются предельно-допустимая концентрация (ПДК) органических и сернистых соединений в атмосферном воздухе согласно требованиями ФЗ № 96 от 4 мая 1999 г. «Об охране атмосферного воздуха». Эти требования направлены на снижение воздействия на окружающую среду [4].

Во время загрузки судов на газовую фазу танкеров влияет образование паров углеводородов в объеме жидкости и их диффузия, а также одновременное изменение объема загрузки и выпуск газа из танкера [5,6]. В результате газовая смесь инертного газа и паров углеводородов выходит из танков морского судна. Эта смесь потенциально может быть заменена газом, более насыщенным парами ЛОС. Концентрация легких органических и сернистых соединений в газовоздушной смеси достигает максимума в конце загрузки [7]. Количественный и компонентный состав газовоздушной смеси нафты в момент полного заполнения танкера представлен в таблице 1 [8].

Таблица 1.

Количественный и компонентный состав газовоздушной смеси нафты в момент полного заполнения танкера

Table 1.

Quantitative and component composition of the gas-air mixture of naphtha at the moment of full filling of the tanker

Компоненты Components	Содержание углеводородов, мг/м^3 Content of hydrocarbons, mg/m^3	ПДК м/р, мг/м^3 WMD, m/r, mg/m^3	Порог чувствительности по запаху, мг/м^3 Odor susceptibility threshold, mg/m^3
Пропан | Propane	18600	200,0	
н-Бутан | n-Butane	27300	200,0	483
H_2 S	120	0,008	0,008
Алканы > C_5 (н-Пентан, н-Гексан, Гептан, н-Октан) Alkanes > C5 (n-Pentane, n-Hexane, Heptane, n-Octane)	49250	≥50	≥33
М-ксилол | M-xylene	640	≥1,4	≥40
Арены (Бензол, толуол) Arenas (Benzene, Toluene)	5400	≥0,3	≥30

Установки для рекуперации (улавливания) паров ЛОС ограничивают выбросы летучих органических соединений и возвращают ЛОС в жидкую фазу. На современных морских нефтепродуктовых терминалах применяются в основном адсорбционно-абсорбционные установки (рисунок 1). Данные УРП размещаются в береговой зоне или в непосредственной близости от трубопроводов, проходящих по морскому причалу.

Газовоздушная смесь, образующаяся при загрузке морского танкера, отводится в установку рекуперации. Работа УРП предусматривает подачу газовоздушной смеси в адсорбционные фильтры, заполненные активированным углем. После определенного количества времени работы адсорбционный фильтр насыщается углеводородами, и поток газовоздушной смеси переключается на второй фильтр-адсорбер из пары, в то время как первый адсорбер регенерируется за счет создания в корпусе адсорбционного фильтра вакуума [9]. Компоненты, десорбированные из фильтра, компримируются вакуумным насосом до давления 110–115 кПа и подаются в колонну повторного поглощения (контактный аппарат), где они абсорбируются во встречном

потоке жидкого продукта. В качестве жидкого абсорбента используется складируемый или перегружаемый нефтепродукт. Остаточный воздух, насыщенный углеводородами, покидает колонну через верх и перемещается обратно на вход паров в УРП [10].

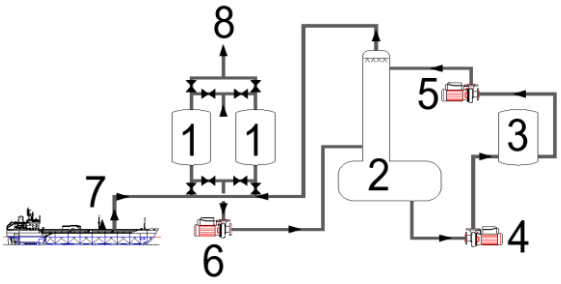


Рисунок 1. Схема адсорбционно-абсорбционные установки для очистки газовоздушной смеси от морских танкеров: 1 – адсорбционный фильтр; 2 – колонна-абсорбер; 3 – резервуар с продуктом; 4 – возвратный насос; 5 – подающий насос; 6 – вакуумный насос; 7 – танкер; 8 – очищенный воздух

Figure 1. Scheme of the adsorption-absorption type vapor recovery unit for cleaning the gas-air mixture from marine tankers: 1 – adsorption filter; 2 – absorber column; 3 – product tank; 4 – return pump; 5 – feed pump; 6 – vacuum pump; 7 – tanker; 8 – purified air

Вместе с тем, метан практически не адсорбируется универсальными активированными углями. Этан слабо адсорбируется, но в процессе адсорбции вытесняется более тяжелыми компонентами, к которым активированный уголь имеет большую адсорбирующую способность [11].

Одним из важных параметром в выборе конструкции и размеров адсорбера играет время адсорбции и десорбции. Так, если система, состоящая из нескольких адсорберов, должна обеспечить непрерывную очистку газовых потоков значительных объёмов, важно рассчитать время цикла каждого адсорбера и выбрать его необходимы й размер, учитывая отведенную площадь.

Анализ решений стандартной адсорбционно-абсорбционной установки рекуперации паров нафты показал, что наличие сероводорода в газовоздушной смеси приводит к снижению эффективности данных установок. При попадании паров сероводорода в активированный уголь происходит окисление сероводорода до элементарной серы кислородом на поверхности активированного угля. Полученная в результате окисления элементарная сера задерживается активированным углём. По мере заполнения его поверхности процесс очистки газа прекращается [10].

В настоящее время для очистки газовоздушной смеси от сероводорода применяется в основном хемосорбционный метод очистки газовоздушной смеси производительностью не более 30000 м^3/час, в которых использованы адсорбенты на основе оксидов металлов (железа, марганца, цинка), которые необратимо реагируют с H_2S [12]. Также может применяться каталитическое жидкофазное окисление сероводорода [13]. Использование хемосорбционных способов сопряжено с перепадом давления на адсорбционных фильтрах в среднем не менее 10 кПа, также для адсорбентов на основе оксидов железа требуется дополнительное увлажнение газовоздушной смеси [16–20]. При использовании каталитического жидкофазного окисления сероводорода в качестве каталитического аппарата используют барботажные аппараты, перепад давления в которых зависит от высоты жидкости и составляет не менее 1,5 метра водяного столба. В связи с тем, что рабочее избыточное давление в танках судна составляет от 7000 Па изб. для использования хемосорбционных и жидкофазных способов очистки требуются дополнительные газодувки для повышения давления перед адсорберами. Использование газодувок приводит к повышению температуры газовоздушной смеси, что негативно сказывается на адсорбции ЛОС на адсорбционных фильтрах активированным углем, дополнительному расходу электроэнергии, а также данное требует дополнительной защиты от возможности вакуумирования танков морского судна. При повышении давления на 10 кПа температура газовоздушной смеси повышается не менее чем на 10 °С, что может являться критическим параметром при исходной температуре газовоздушной смеси от 30 °С для адсорбционно-абсорбционных установок [14].

Обсуждение

Выполненный анализ режимов работы УРП показывает, что ряд проектных решений, являющимися типовыми для установок, рекуперирующих пары легких нефтепродуктов могут являются критическими для улавливания паров нафты и приводят к дополнительному расходу электроэнергии и ресурсов.

Предлагается применить для очистки газовоздушной смеси от сернистых соединений каталитическое жидкофазное окисление сероводорода в элементарную серу хелатным комплексом железа, с использованием в качестве каталитического аппарата – пленочного дискового горизонтального аппарата [15], который имеет минимальный перепад давления, а также развитую площадь поверхности массообмена (рисунок 2).

Для очистки от сероводорода в нижнюю часть цилиндра пленочного аппарата подается раствор комплексных соединений железа, в противоположном направлении движется ГВС с сероводородом. Раствор, после окисления сероводорода до элементарной серы, насыщенный мелкодисперсной серой и ионами железа,

возвращается в емкость-накопитель. Серный осадок отводится фильтром-прессом на потоке при циркуляции раствора из емкости-накопителя.

Очищенная от сероводорода газовоздушная смесь из верхней части с противоположной стороны горизонтального абсорбера поступает на адсорберы с активированным углем.

Подача раствора из емкости накопителя с хелатообразующими соединениями в пленочный аппарат и откачка из него осуществляется насосами в составе установки.

Моделирование очистки низконапорного газа от сероводорода по общей реакции каталитического окисления сероводорода

$$2H_2S + O_2 = 2S + 2H_2O \qquad (1)$$

проводили на лабораторной установке, включающей реактор сероочистки. В лабораторный реактор сероочистки помещали раствор катализатора. На вход реактора подавали сырье сероочистки, модельную смесь метана с сероводородом в присутствии CO_2. Реакцию проводили при температуре 25° С и атмосферном давлении.

Содержание сероводорода на входе и выходе сероочистки приведено в таблице 2

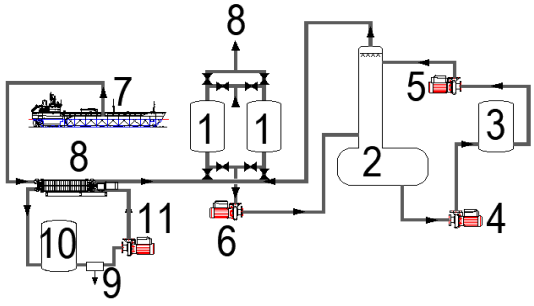


Рисунок 2. Схема адсорбционно-абсорбционной установки с дисковым пленочным горизонтальным аппаратом для жидкофазного каталитического окисления: 1 – адсорбционный фильтр; 2 – колонна-абсорбер; 3 – резервуар с продуктом; 4 – возвратный насос; 5 – подающий насос; 6 – вакуумный насос; 7 – морской танкер; 8 – очищенный воздух, 9 – фильтр-пресс для серы, 10 – емкость с раствором хелатного комплекса железа; 11 – циркулирующий насос

Figure 2. Scheme of the adsorption-absorption type vapor recovery unit with a disk film horizontal apparatus for liquid-phase catalytic oxidation: 1 – adsorption filter; 2 – absorber column; 3 – product tank; 4 – return pump; 5 – feed pump; 6 – vacuum pump; 7 – marine tanker; 8 – purified air, 9 – filter press for sulfur, 10 – container with a solution of chelated iron complex; 11 – circulating pump

Таблица 2.

Остаточное содержание сероводорода в газовой фазе до/после очистки растворами комплексных соединений железа температуре 25° С и атмосферном давлении

Table 2.

Residual content of hydrogen sulfide in the gas phase before/after purification with solutions of complex iron compounds at a temperature of 25 °C and atmospheric pressure

Опыт Experiment	Объем раствора катализатора, мл Volume catalyst solution, ml	Количество катализатора, мл Amount catalyst solution, ml	Скорость газа, л/мин Gas velocity, l/min	H_2S, ppm	
				Вход inlet	Выход output
1	200	0,1	8,0	250	6
2	200	0,1	7,0	250	7
3	200	0,3	6,0	250	7
4	200	0,3	5,0	250	0
5	200	0,5	5,0	250	6

Как видно из данных таблицы, очистка газа от сероводорода с помощью комплекса хелатного железа обеспечивает конверсию сероводорода в серу, остаточное содержание сероводорода при этом может быть снижено менее 1 ppm.

В результате реакции 1 образуется мелкодисперсная элементарная сера и раствор с ионами железа. Мелкодисперсная элементарная сера накапливается в растворе и не влияет на очистку газового потока от примесей сероводорода. Серу необходимо выделять, например, с помощью пресс-фильтра [13].

Заключение

При эксплуатации адсорбционно-абсорбционных УРП на морских терминалах возникают проблемы, связанные с наличием сероводорода в парах нафты. Применение стандартных методов очистки от сероводорода приводит к повышенному расходу электроэнергии и требует дополнительного оборудования (газодувка, фильтр перед газодувкой и т. п.). Одним из способов совершенствования существующих технологических схем, а также повышения энергоресурсоэффективности установок рекуперации паров на базе адсорбция-абсорбция и, как следствие, уменьшения воздействия на окружающую среду, является:

1) Модернизация УРП за счет применения узла очистки от сернистых соединений, оснащённого пленочным дисковым горизонтальным аппаратом с применением каталитического жидкофазного окисления сероводорода комплексом хелатного железа, позволяет удалять из паров нафты экологически опасные сернистые компоненты, негативно влияющие на адсорбционные

фильтры без повышения температуры и значительного перепада давления газовоздушной смеси;

2) При использовании пленочного горизонтального дискового аппарата следует ожидать уменьшение расхода энергоресурсов за счет отсутствия газодувки, а также увеличение работы адсорбционных фильтров на 35–45%.

3) Реализация каталитической очистки комплексом хелатного железа в дисковом пленочном аппарате [15] позволяет очистить газ от примесей сероводорода.

Данные результаты могут быть использованы при проектировании технологической схемы адсорбционно-абсорбционных установок рекуперации.

Литература

1 Meshalkin V.P., Dovì V.G., Bobkov V.I., Belyakov A.V. et al. State of the art and research development prospects of energy and resource-efficient environmentally safe chemical process systems engineering // Mendeleev Communications. 2021. №. 31. P. 593–604. doi: 10.1016/j.mencom.2021.09.003

2 Rajabi H., Mosleh M.H., Mandal P., Lea-Langton A. et al. Emissions of volatile organic compounds from crude oil processing–Global emission inventory and environmental release // Science of The Total Environment. 2020. V. 727. P. 138654. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138654

3 Huang J., Zhang B., Huang W., Zhu Z. et al. Research on the general technical standards of the gasoline vapor recovery unit set // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2019. V. 118. P. 02017. doi: 10.1051/e3sconf/201911802017

4 Об охране атмосферного воздуха: Федеральный закон от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ (с изменениями на 11 июня 2021 года).

5 Milazzo M.M., Ancione G., Lisi R. Emissions of volatile organic compounds during the ship-loading of petroleum products: Dispersion modelling and environmental concerns // Journal of Environmental Management. 2017. V. 204. P. 637–650.

6 Татаров А.Ю., Береза И.Г., Самойленко А.Ю., Башуров Б.П. Контроль за выбросом летучих органических соединений с нефтяных танкеров // Эксплуатация морского транспорта 2018. № 4(89). С. 104–107.

7 Дмитриев М.Е., Садреева К.К., Пшенин В.В., Гайсин М.Т. Определение относительного расхода газовой фазы при заполнении танкеров // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2019. № 1. С. 10–13. doi: 10.24411/0131–4270–2019–10102

8 Темердашев А.З., Афонин А.С., Корпакова И.Г. Хромато-масс-спектрометрическая идентификация и компонентного состава выбросов углеводородов при перегрузке товарных нефтепродуктов // Аналитика и контроль. 2018. Т. 72. № 1. С. 999–1006.

9 Bhuvendralingam S. A decision Algorithm for optimizing Granular carbon adsorbtion process design, Michigan Technological University. 1992.

10 Слесаренко В.В., Лапшин В.Д., Соколова П.А. Совершенствование установок рекуперации паров нефти для снижения вредных выбросов в атмосферу // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал. 2013. С. 182–189.

11 Bandosz T.J. On the adsorption/oxidation of hydrogen sulfide on activated carbons at ambient temperatures // Journal of colloid and Interface Science. 2002. V. 246. №. 1. P. 1-20. doi: 10.1006/jcis.2001.7952

12 Georgiadis A.G., Charisiou N.D., Goula M.A. Removal of hydrogen sulfide from various industrial gases: A review of the most promising adsorbing materials // Catalysts. 2020. V. 10. №. 5. P. 521.

13 ИТС 50–2017. Переработка природного и попутного газа. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. 2017.

14 Fetisov V., Mohammadi A.H., Pshenin V., Kupavykh K. et al. Improving the economic efficiency of vapor recovery units at hydrocarbon loading terminals // Oil & Gas Science and Technology–Revue d'IFP Energies nouvelles. 2021. V. 76. P. 38. doi: 10.2516/ogst/2021022

15 Пат. № 2768952, RU, B01D 47/18, 53/74, 3/08. Тепломассообменный аппарат / Тюрин А.А., Бабаков Е.А. № 2021100746; Заявл. 14.01.2021; Опубл. 25.03.2022, Бюл. № 9.

16 Begmanova G.E., Dauletbayeva R.K., Atazhanova Z.S. Analysis of Modern Methods of Gas Cleaning From Hydrogen Sulfide // American Journal of Social and Humanitarian Research. 2022. V. 3. №. 5. P. 208-212. URL: https://www.grnjournals.us/index.php/ajshr/article/view/1098

17 Хайрулин С.Р., Кузнецов В.В., Батуев Р.А., Теряева Т.Н. и др. Методы очистки коксового газа от сероводорода. Процессы утилизации H2S. Сорбционные процессы (обзор). Часть 1 // Альтернативная энергетика и экология. 2014. №. 3 (143). С. 60-80.

18 Утёмов А.В., Веригин А.Н. Очистка нефтяного газа сернистых месторождений с использованием роторно-дисковых массообменных аппаратов // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2018. № 46(72). С. 102–107

19 Khabazipour M., Anbia M. Removal of hydrogen sulfide from gas streams using porous materials: A review // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2019. V. 58. №. 49. P. 22133-22164. doi: 10.1021/acs.iecr.9b03800

20 Georgiadis A.G., Charisiou N.D., Goula M.A. Removal of hydrogen sulfide from various industrial gases: A review of the most promising adsorbing materials // Catalysts. 2020. V. 10. №. 5. P. 521. doi: 10.3390/catal10050521

References

1 Meshalkin V.P., Dovì V.G., Bobkov V.I., Belyakov A.V. et al. State of the art and research development prospects of energy and resource-efficient environmentally safe chemical process systems engineering. Mendeleev Communications. 2021. no. 31. pp. 593–604. doi: 10.1016/j.mencom.2021.09.003

2 Rajabi H., Mosleh M.H., Mandal P., Lea-Langton A. et al. Emissions of volatile organic compounds from crude oil processing–Global emission inventory and environmental release. Science of The Total Environment. 2020. vol. 727. pp. 138654. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138654

3 Huang J., Zhang B., Huang W., Zhu Z. et al. Research on the general technical standards of the gasoline vapor recovery unit set. E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2019. vol. 118. pp. 02017. doi: 10.1051/e3sconf/201911802017

4 On the protection of atmospheric air: Federal Law of May 4, 1999 No. 96 FZ (as amended on June 11, 2021). (in Russian).

5 Milazzo M.M., Ancione G., Lisi R. Emissions of volatile organic compounds during the ship-loading of petroleum products: Dispersion modelling and environmental concerns. Journal of Environmental Management. 2017. vol. 204. pp. 637–650.

6 Tatarov A.Yu., Bereza I.G., Samoilenko A.Yu., Bashurov B.P. Control over the emission of volatile organic compounds from oil tankers. Exploitation of sea transport 2018. no. 4(89). pp. 104–107. (in Russian).

7 Dmitriev M.E., Sadreeva K.K., Pshenin V.V., Gaisin M.T. Determination of the relative consumption of the gas phase when filling tankers. Transport and storage of oil products and hydrocarbon raw materials. 2019. no. 1. pp. 10–13. doi:10.24411/0131–4270–2019–10102 (in Russian).

8 Temerdashev A.Z., Afonin A.S., Korpakova I.G. Chromato-mass-spectrometric identification and component composition of hydrocarbon emissions during reloading of commercial petroleum products. Analytics and control. 2018. vol. 72. no. 1. pp. 999–1006. (in Russian).

9 Bhuvendralingam S. A decision Algorithm for optimizing Granular carbon adsorbtion process design, Michigan Technological University. 1992.

10 Slesarenko V.V., Lapshin V.D., Sokolova P.A. Improvement of oil vapor recovery units to reduce harmful emissions into the atmosphere. Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal. 2013. pp. 182–189. (in Russian).

11 Bandosz T.J. On the adsorption/oxidation of hydrogen sulfide on activated carbons at ambient temperatures. Journal of colloid and Interface Science. 2002. vol. 246. no. 1. pp. 1-20. doi: 10.1006/jcis.2001.7952

12 Georgiadis A.G., Charisiou N.D., Goula M.A. Removal of hydrogen sulfide from various industrial gases: A review of the most promising adsorbing materials. Catalysts. 2020. vol. 10. no. 5. pp. 521.

13 ITS 50–2017. Processing of natural and associated gas. Information and technical guide to the best available technologies. 2017. (in Russian).

14 Fetisov V., Mohammadi A.H., Pshenin V., Kupavykh K. et al. Improving the economic efficiency of vapor recovery units at hydrocarbon loading terminals. Oil & Gas Science and Technology–Revue d'IFP Energies nouvelles. 2021. vol. 76. pp. 38. doi: 10.2516/ogst/2021022

15 Tyurin A.A., Babakov E.A. Heat exchanger. Patent RF, no. 2768952, 2022.

16 Begmanova G.E., Dauletbayeva R.K., Atazhanova Z.S. Analysis of Modern Methods of Gas Cleaning From Hydrogen Sulfide. American Journal of Social and Humanitarian Research. 2022. vol. 3. no. 5. pp. 208-212. Available at: https://www.grnjournals.us/index.php/ajshr/article/view/1098

17 Khairulin S.R., Kuznetsov V.V., Batuev R.A., Teryaeva T.N. et al. Methods of purification of coke gas from hydrogen sulfide. H2S recycling processes. Sorption processes (review). Part 1. Alternative energy and ecology. 2014. no. 3 (143). pp. 60-80. (in Russian).

18 Utemov A.V., Verigin A.N. Purification of oil gas from sulfur deposits using rotary-disk mass transfer apparatus. Bulletin of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University). 2018. no. 46(72). pp. 102–107. (in Russian).

19 Khabazipour M., Anbia M. Removal of hydrogen sulfide from gas streams using porous materials: A review. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2019. vol. 58. no. 49. pp. 22133-22164. doi: 10.1021/acs.iecr.9b03800

20 Georgiadis A.G., Charisiou N.D., Goula M.A. Removal of hydrogen sulfide from various industrial gases: A review of the most promising adsorbing materials. Catalysts. 2020. vol. 10. no. 5. pp. 521. doi: 10.3390/catal10050521

Сведения об авторах

Валерий П. Мешалкин д.т.н., академик РАН, кафедра логистики и экономической информатики, Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, Москва А-47, Миусская площадь, 9, 125047, Россия, vpmeshalkin@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-6956-6705

Евгений А. Бабаков аспирант, кафедра логистики и экономической информатики, Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, Москва А-47, Миусская площадь, 9, 125047, Россия, babakhol@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4729-4881

Information about authors

Valery P. Meshalkin Dr. Sci. (Engin.)., academician of the RAS, proffessor, logistics and economic informatics department, Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Miusskaya square, 9, 125047, Russia, vpmeshalkin@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-6956-6705

Evgeny A. Babakov graduate student, logistics and economic informatics department, Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Miusskaya square, 9, babakhol@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4729-4881

Вклад авторов

Валерий П. Мешалкин консультация в ходе исследования
Евгений А. Бабаков написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Valery P. Meshalkin consultation during the study
Evgeny A. Babakov 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 05/04/2022 **После редакции** 28/04/2022 **Принята в печать** 24/05/2022

Received 05/04/2022 **Accepted in revised** 28/04/2022 **Accepted** 24/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-249-255 Оригинальная статья/Research article
УДК 360 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Повышение прочности и водостойкости материалов на основе поливинилового спирта с помощью борной кислоты

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@ya.ru 0000-0002-8410-8275
Александр А. Мельников [1] melnikov.shura@inbox.ru

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

Аннотация. Поливиниловый спирт (ПВС) – перспективный полимер для производства материалов с заданными свойствами, в первую очередь - водорастворимостью и биоразлагаемостью. Основная причина ограничения применения плёночных материалов на основе ПВС - отсутствие механизма регулирования скорости их растворения. Цель работы: оценка прочностных показателей и водостойкости пленок ПВС и композитов «ПВС:МЦ» при сшивке борной кислотой в зависимости от количества введенного в полимерную матрицу бората. Объектами исследования были 8 экспериментальных образцов: №1 - пленка немодифицированного ПВС марки KurarayPoval 3-83, пластифицированного глицерином, полученная методом полива из 5%-го раствора; №2-4 - пленки ПВС, модифицированного борной кислотой в различном количестве, полученные аналогично образцу №1; №5 – пластина композита ПВС:МЦ (50:50 мас.%), полученная жидкофазным совмещением немодифицированного борной кислотой ПВС и дисперсии микроцеллюлозы с последующим обезвоживанием на воздухе; №6-8 – пластины композита ПВС:МЦ (50:50 мас.%), полученные на основе модифицированного различным количеством борной кислоты ПВС, аналогично образцу №5. В результате проведенного исследования установлено, что модификация («сшивка») ПВС маркиKurarayPoval 3-83 борной кислотой сопровождается повышением вязкости ПВС (что при обезвоживании проявляется в помутнении пленок), повышении прочностных показателей пропорционально количеству введенного в полимерную матрицу ПВС борат-иона, но при этом водостойкость модифицированных пленок ПВС повышается до определенного предела содержания бората (в частности, при введении 0.075 и 0.15 мл борной кислоты на 1 мл ПВС пленки не растворились в течении 1 недели экспозиции в воде при t=20 °С, но при введении 0.30 мл борной кислоты на 1 мл ПВС пленка растворилась за 3 часа экспозиции, для сравнения - немодифицированный ПВС указанной марки растворяется в воде при н.у. за 10 минут).

Ключевые слова: поливиниловый спирт, борная кислота, водостойкость, прочность, сшивка, композит.

Increasing the strength and water resistance of materials based on poly-vinyl alcohol with boric acid

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@ya.ru 0000-0002-8410-8275
Alexandr A. Melnikov [1] melnikov.shura@inbox.ru

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

Abstract. Polyvinyl alcohol (PVA) is a promising polymer for the production of materials with desired properties, primarily water solubility and biodegradability. The main reason for limiting the use of film materials based on PVA is the lack of a mechanism for regulating the rate of their dissolution. Purpose of work: evaluation of the strength characteristics and water resistance of PVA films and PVA:MC composites when crosslinked with boric acid, depending on the amount of borate introduced into the polymer matrix. The objects of the study were 8 experimental samples: No. 1 - a film of unmodified PVA grade KurarayPoval 3-83, plasticized with glycerin, obtained by pouring from a 5% solution; No. 2-4 - PVA films modified with boric acid in various amounts, obtained similarly to sample No. 1; No. 5 - a plate of PVA:MC composite (50:50 wt.%), obtained by liquid-phase combination of PVA unmodified with boric acid and microcellulose dispersion, followed by dehydration in air; No. 6-8 - plates of the PVA:MC composite (50:50 wt.%), obtained on the basis of PVA modified with various amounts of boric acid, similarly to sample No. 5. As a result of the study, it was found that the modification ("crosslinking") of PVA grade KurarayPoval 3-83 with boric acid is accompanied by an increase in the viscosity of PVA (which manifests itself in the clouding of the films during dehydration), an increase in strength indicators in proportion to the amount of borate ion introduced into the PVA polymer matrix, but at At the same time, the water resistance of the modified PVA films increases to a certain limit of the borate content (in particular, with the introduction of 0.075 and 0.15 ml of boric acid per 1 ml of PVA, the films did not dissolve within 1 week of exposure to water at t = 20 °C, but with the introduction of 0.30 ml of boric acid per 1 ml of PVA, the film dissolved in 3 hours of exposure, for comparison, unmodified PVA of the specified brand dissolves in water at n.o. for 10 minutes).

Keywords: polyvinyl alcohol, boric acid, water resistance, strength, crosslinking, composite.

Для цитирования
Студеникина Л.Н., Доморева С.Ю., Голенских Ю.Е., Матвеева А.В., Мельников А.А. Повышение прочности и водостойкости материалов на основе поливинилового спирта с помощью борной кислоты // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 249–255. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-249-255

For citation
Studenikina L.N., Domoreva S.Yu., Golenskikh Yu.E., Matveeva A.V., Melnikov A.A. Increasing the strength and water resistance of materials based on poly-vinyl alcohol with boric acid. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 249–255. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-249-255

© 2022, 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

Введение

Поливиниловый спирт (ПВС) – перспективный полимер для производства материалов с заданными свойствами, в первую очередь – регулируемым водопоглощением / водорастворимостью и биоразлагаемостью, кроме того, ПВС стабилен в отношении масел, жиров и большинства органических растворителей, прозрачен, безопасен для человека и обладает высокими прочностными показателями (которые, однако, зависят от влажности).

Область применения водорастворимых пленок ПВС включает упаковки для самых различных товаров: в сельском хозяйстве – удобрений, ядохимикатов, упаковки корней саженцев и т. д.; в химической и косметической промышленности – разовую упаковку для шампуней, красителей, стиральных порошков, моющих и отбеливающих средств; в медицинских учреждениях – для упаковки предметов (одежды, постельного белья, инструментов), подлежащих стирке, дезинфекции или стерилизации; в пищевой промышленности – водорастворимые этикетки и стикеры, на которых указывают дату изготовления, условия и срок хранения продуктов, например, рыбы замороженной в ледяной глазури и др. [1].

Кроме водорастворимой индивидуальной упаковки в последнее время на рынке появились аналоги полиэтиленовых пакетов на основе ПВС (рисунок 1), которые можно утилизировать путем смыва в канализацию.



Рисунок 1. Водорастворимые пакеты на основе ПВС (производство Тайвань)

Figure 1. Water-soluble packages based on PVOH (manufactured in Taiwan)

Однако, из-за высокой адгезионной способности ПВС, такие пакеты весьма чувствительны к повышенной влажности, что проявляется в «склейке» пленки.

Основная причина ограничения применения водорастворимых плёночных материалов на основе ПВС – отсутствие механизма регулирования скорости их растворения [1]. ПВС выпускаются промышленностью различных марок, отличающихся молекулярной массой (ММ) и остаточным содержанием винилацетатных групп (ВА-групп), и как следствие – степенью гидролиза. Поливиниловый спирт, содержащий до 5% ВА-групп, набухает в холодной и растворяется в нагретой до 90–100 °С воде, ПВС с 5–10% ВА-групп растворяется в воде при 65–85 °С (как следствие – ПВС с содержанием ВА-групп менее 10% не способен к гидролизу в естественных природных условиях). ПВС с 10–15% ВА-групп растворяется при нагревании и частично – при комнатной температуре, с 15–25% ВА-групп – при 20 °С (и соответственно может подвергаться гидролитической деструкции в условиях окружающей среды) [2].

Растворимость высокомолекулярных соединений связана с прочностью и температурной устойчивостью внутримолекулярных и межмолекулярных связей. ПВС является слаборазветвлённым полимером, поэтому одним из наиболее эффективных путей снижения растворимости является сшивка макромолекул ПВС в плёночном материале. При сшивании образуются поперечные химические связи между макромолекулами, приводящие к получению полимера пространственного строения. Одновременно реакции сшивания приводят к увеличению степени полимеризации ПВС [3].

Сшивку ПВС можно осуществить физически (воздействием температуры или излучения СВЧ) и химически (введением веществ – сшивающих агентов). В первом случае сшивка осуществляется путём взаимодействия функциональных групп или атомов у различных молекул, во втором – путём взаимодействия молекул полимера с низкомолекулярными соединениями, которые выполняют роль сшивающих мостиков [4].

Известно, что для придания нерастворимости ПВС в воде используются сополимеры акролеина, альдегиды, соединения кобальта, титана, бора, ванадия, циркония и хрома [5].

Авторами [1] показана возможность регулирования растворимости композиционных плёночных материалов на основе ПВС воздействием температуры, СВЧ излучения и введением сшивающих веществ (формальдегида, калия двухромовокислого и натрия тетраборнокислого). Отмечено, что применение первых двух методов ограничено временем обработки (тепловой или излучением СВЧ) и по эффективности влияния на время растворения несколько уступает использованию сшивающих веществ; увеличение времени тепловой обработки или обработке излучением СВЧ приводит также к потере прозрачности, вызванной, вероятно, частичной деструкцией ПВС; введение исследованных соединений позволяет в широких пределах регулировать время растворения плёночных материалов на основе ПВС, но в значительной степени зависит от времени хранения, что затрудняет прогнозирование свойств плёночных материалов во времени.

На рисунке 2 показан механизм реакции сшивания между полимерными цепями, содержащими гидроксильные функциональные группы, в присутствии борной кислоты в качестве сшивающего агента [6].

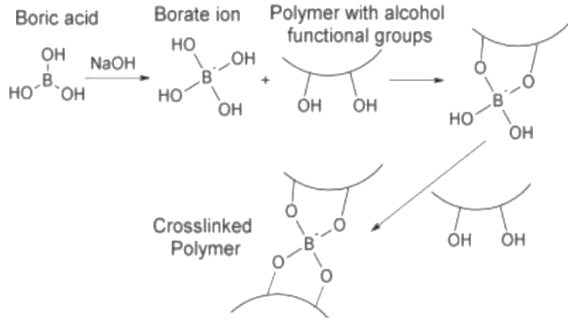


Рисунок 2. Механизм сшивания ПВС в присутствии борной кислоты [6]

Figure 2. Mechanism of crosslinking of a PVOH in the presence of boric acid [6]

Борат обладает особой способностью связывать ПВС посредством реакции "ди-диол". Известно [7], что борная кислота может образовывать сильное связующее взаимодействие между гидроксильными группами, трехвалентный атом В в борной кислоте имеет пустую орбиталь р, которая очень электрофильна по своей природе, что заставляет его быстро реагировать с различными нуклеофилами с образованием комплексов. Авторы [8] также установили, что в щелочных условиях борная кислота присутствует в виде борат-ионов, которые могут конденсироваться в полимерные цепи с цис-диольными группами.

Кроме того, при исследовании влияния бората на композиты состава «ПВС: целлюлоза» авторы [6] отмечают, что поскольку ПВС и целлюлозные волокна богаты гидроксильными группами, можно ожидать, что борная кислота соединит их и еще больше улучшит адгезию между полимерами.

Процессы сшивки ПВСборной кислотой также изучались в работах [9–13], авторами отмечено повышение прочностных показателей и снижение степени растворимости ПВС при введении борат-ионов в полимерную матрицу, в том числе в присутствии наполнителей.

В дополнение к общей сшивающей функции боратных добавок авторами [14] был обнаружен необычный пластифицирующий эффект. Так, было установлено, что регулируя pH от 4 до 11 во время получения сшитого боратом ПВС, можно изменить эффекты пластификации и сшивания. В щелочных условиях степень сшивки увеличивается; однако это увеличение постепенно снижается с увеличением содержания добавки бората, что влияет на морфологию латексных частиц ПВС, а также на механические и термические свойства пленок ПВС/борат. Напротив, в кислых условиях пленки ПВС пластифицируются добавками бората; таким образом, их предел механической прочности, модули упругости и термическая стабильность снижаются, а коэффициент диффузии воды увеличивается.

В исследовании [15] также отмечено, что консистенцию высокоэластичных вязких систем на основе ПВС (гидрогелей) можно моделировать путем изменения молекулярной массы и концентрации ПВС и количества сшивающей добавки – буры (бората) в дополнение к варьированию уровнем pH и температурой процесса.

Цель работы: оценка прочностных показателей и водостойкости пленок ПВС и композитов «ПВС: МЦ» при сшивке борной кислотой в зависимости от количества введенного в полимерную матрицу бората.

Материалы и методы

Объектами исследования были 8 экспериментальных образцов: № 1 – пленка не модифицированного ПВС марки Kuraray Poval 3–83, пластифицированного глицерином, полученная методом полива из 5%-го раствора; № 2–4 – пленки ПВС, модифицированного борной кислотой в различном количестве, полученные аналогично образцу № 1; № 5 – пластина композита ПВС: МЦ (50:50 мас.%), полученная жидкофазным совмещением немодифицированного борной кислотой ПВС и дисперсии микроцеллюлозы с последующим обезвоживанием на воздухе; № 6–8 – пластины композита ПВС: МЦ (50:50 мас.%), полученные на основе модифицированного различным количеством борной кислоты ПВС, аналогично образцу № 5.

Методы исследования: прочностные показатели определяли по ГОСТ 11262–2017 (разрывная машина РМ-50 с программным обеспечением StretchTest), набухаемость при экспозиции в воде определяли по изменению толщины образцов, водорастворимость пленок оценивали визуально.

Процесс сшивки ПВС борной кислотой проводили следующим образом: 100 мл р-ра ПВС (5%) смешивали с 5 г глицерина и нагревали до 80 °С в стеклянном реакторе. Затем к раствору по каплям добавляли 12.5 мл (образец 2), 25 мл (образец 3), и 50 мл (образец 4) 3%-го раствора борной кислоты, pH смеси доводили до 10. Смесь перемешивали магнитной мешалкой в течение 2 ч при поддержании температуры 80 °С. Полученный раствор отливали на подложки и высушивали на воздухе при комнатной температуре.

Как уже было отмечено, для придания водостойкости в условиях окружающей среды сшивке необходимо подвергать ПВС с содержанием ВА-групп более 10–15%, т. к. при меньшем содержании полимер итак не подвергается растворению в воде при нормальных условиях. Пленки немодифицированного ПВС выбранной марки KurarayPoval 3–83 способны растворяться в холодной воде (t = 20 °C) в течение 5–10 минут [16].

Микроцеллюлоза в качестве наполнителя ПВС выбрана исходя из ряда преимуществ перед другими полисахаридами, а именно – дешевизна, доступность, размер и форма частиц, химическая стойкость [17]. В работе использовали древесную МЦ, представляющую собой волокнистые частицы размером 5–50 мкм.

Результаты

На рисунке 3 показаны образцы пленок и композитных пластин модифицированного борной кислотой ПВС.

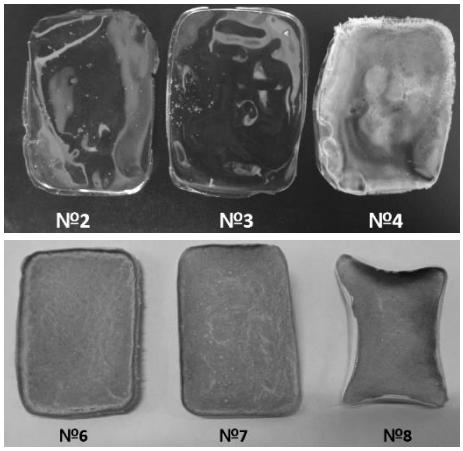


Рисунок 3. Экспериментальные образцы

Figure 3. Experimental samples

Для образцов с максимальным содержанием бората (№ 4 и № 8) наблюдается «помутнение» пленки и деформация пластины, что связанно с высокой вязкостью сшитого ПВС и особенностями формирования молекулярных и надмолекулярных структур (которые в свою очередь зависят от плотности водородных связей молекул ПВС). Известно [18], что все специфические особенности ПВС с различной стерео регулярностью могут быть объяснены различной плотностью водородных связей, которая заметно повышается с увеличением содержания синдиотактических диад.

На рисунке 4 представлены диаграммы растяжения пленок сшитого ПВС – образцов № 2 и № 4. Видно, что с увеличением количества бората значительно возрастает прочность при разрыве пленки, при этом относительное удлинение образцов практически идентично.

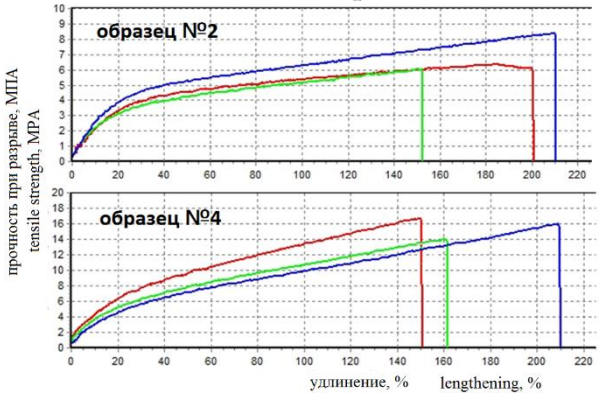


Рисунок 4. Диаграммы растяжения пленок сшитого борной кислотой ПВС

Figure 4. Stretching diagrams of boric acid Crosslinked PVOH films

Результаты оценки прочностных показателей исследуемых пленок представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Прочностные показатели пленок ПВС при модификации борной кислотой

Table 1.

Strength characteristics of PVOH films when modified with boric acid

Образец Sample	Модуль Юнга Young's Module	Прочность при разрыве, МПа Tensile strength, MPa	Относительное удлинение, % Relative elongation, %
1	0,019	6,2	318
2	0.036	6.9	189
3	0,048	11.7	240
4	0.088	15.5	176

Отмечено, что при повышении содержаниябората в ПВС пропорционально повышается модуль Юнга пленки.

При наполнении ПВС микроцеллюлозой (50 мас.%) прочность при разрыве снижается в 3–4 раза (рисунок 5), при этом сохраняется тенденция повышения прочностных показателей при увеличении содержания бората в матрице ПВС.

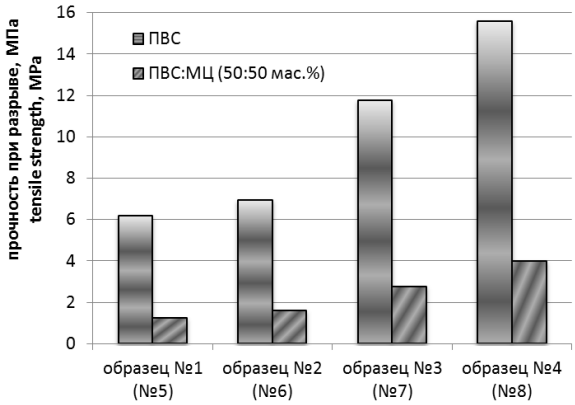


Рисунок 5. Прочность ПВС и композитов «ПВС: МЦ» в зависимости от содержания бората

Figure 5. Strength of PVOH and composites "PVOH:MC" depending on the borate content

При экспозиции в воде (t = 20 °С) модифицированного борной кислотой ПВС наблюдали для образцов № 2 и № 3 набухание без растворения (время экспозиции 1 неделя, рисунок 6), что согласуется с известными данными о том, что сшитые гелеобразующие полимеры сохраняют способность набухать, но теряют способность растворяться [19].

Однако, образец № 4, модифицированный максимальным среди прочих количеством борной кислоты, подвергся растворению за 3 часа экспозиции в воде (для сравнения – немодифицированный ПВС растворился за 10 минут экспозиции, что отражено на графике (рисунок 6) обрывом кривой набухания). Очевидно, что эффект повышения водостойкости с помощью борной кислоты наблюдается до определенной концентрации бората в ПВС, после достижения которой полимер вновь приобретает способность растворяться в воде, что также отмечено в исследовании [14].

Известно, что «сшивка» ПВС может приводить не только к снижению его растворимости, но и к уменьшению диффузии ферментов в материал [20], что может ингибировать, например, скорость его биоразложения. Таким образом, научно-практической задачей является поиск оптимальных дозировок сшивающих добавок для обеспечения необходимой водостойкости материала при сохранении прочих заданных свойств.

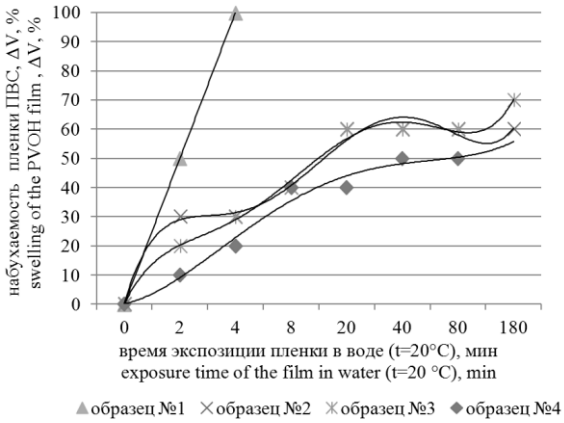


Рисунок 6. Набухаемость модифицированных борной кислотой пленок ПВС

Figure 6. Swelling of boric acid modified PVOH films

В результате проведенного исследования установлено, что модификация («сшивка») ПВС марки Kuraray Poval 3–83 борной кислотой сопровождается повышением вязкости ПВС (что при обезвоживании проявляется в помутнении пленок), повышении прочностных показателей пропорционально количеству введенного в полимерную матрицу ПВС борат-иона (в частности, модуль Юнга увеличивается по отношению к не модифицированной пленке ПВС в 2; 2.5 и 4.5 раза при содержании бората 0.075, 0.15 и 0.30 мл на 1 мл ПВС соответственно), но при этом водостойкость модифицированных пленок ПВС повышается до определенного предела содержания бората.

Литература

1 Гетмадинова В.М., Сидоров Ю.Д., Поливанов М.А. Регулирование растворимости композиционных материалов на основе поливинилового спирта // Вестник технологического университета. 2016. Т.19. № 6. С. 96–99.

2 Павленок А.В., Давыдова О.В., Дробышевская Н.Е., Подденежный Е.Н. и др. Получение и свойства биоразлагаемых композиционных материалов на основе поливинилового спирта и крахмала // Вестник Гомельского государственного технического университета им. ПО Сухого. 2018. №. 1 (72). С. 38-46.

3 Хабибуллина Л.Ф., Сидоров Ю.Д., Поливанов М.А., Василенко С.В. Свойства композиционных плёночных материалов на основе поливинилового спирта // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. №. 21. С. 109-113.

4 Ли Н.И., Сидоров Ю.Д., Маямсина В.О. Совершенствование физико-механических свойств слоев на основе полимер желатиновых композиций // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 18. С. 149–152.

5 Труфакина Л.М. Свойства полимерных композитов на основе поливинилового спирта // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2014. Т. 325. №. 3. С. 92-97.

6 Awada H., Montplaisir D., Daneault C. Cellulose PVOH composites // BioResources. 2014. V. 9. № 2. P. 3439–3448.

7 Rietjens M., Steenbergen P.A. Crosslinking mechanism of boric acid with diols revisited // Eur. J. Inorg. Chem. 2005. 6. P.1162–1174. doi:10.1002/ejic.200400674

8 Cui Y., Pelton R., Cosgrove T., Richardson R. et al. Not all anionic polyelectrolytes complexwith DTAB // Langmuir. 2009. V. 25. № 24. P. 13712–13717. doi:10.1021/la900563y

9 Sun L., Wang J., Liang J. et al. Boric Acid Cross-linked 3D Polyvinyl Alcohol Gel Beads by NaOH-Titration Method as a Suitable Biomass Immobilization Matrix // J Polym Environ. 2020. V. 28. P. 532–541. doi:10.1007/s10924–019–01610-z

10 Lum Y.-H., Shaaban A., Mohamad N., Dimin F. et al. Boric acid modified starch polyvinyl alcohol matrix for slow release fertilizer // e-Polymers. 2016. V. 2. doi:10.1515/epoly-2015–0259

11 Marin L., Ailincai D., Paslaru E. Monodisperse PDLC composites generated by use of polyvinyl alcohol boric acid as matrix // RSC Adv. 2014. V. 4. P. 38397–38404. doi:10.1039/ C4RA06426G

12 Al-Emam E., Soenen H., Caen J. et al. Characterization of polyvinyl alcohol-borax/agarose (PVA-B/AG) double network hydrogel utilized for the cleaning of works of art // HeritSci. 2020. V. 8. P. 106. doi:10.1186/s40494–020–00447–3

13 Yin Y., Li J., Liu Y., Li Z. Starch crosslinked with polyvinyl alcohol by boric acid // Inc. J ApplPolymSci. 2005. V. 96. P. 1394–1397. doi:10.1002/app.21569

14 Geng S., Shah F.U., Liu P., Antzutkin O.N. et al. Plasticizing and crosslinking effects of borate additives on the structure and properties of poly(vinyl acetate) // RSC Adv. 2017. № 7. P. 7483–7491. doi:10.1039/C6RA28574K

15 Carretti E., Bonini M., Dei L., Berrie B.H. et al. New frontiers in materials science for art conservation: responsive gels and beyond // AccChemRes. 2010. V. 43. № 6. P. 751–760.

16 Студеникина Л.Н. Корчагин В.И., Иушин В.О., Мельников А.А. Влияние природы наполнителя на свойства композита «поливиниловый спирт: полисахарид» // Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т. 21. № 1. С. 111–118.

17 Студеникина Л.Н., Домарева С.Ю., Голенских Ю.Е., Матвеева А.В. Особенности высоконаполненных композитов на основе различных марок поливинилового спирта // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. Т. 83. № 1 (87). С. 316–322

18 Студеникина Л.Н. Перспективы разработки биоразлагаемого композита на основе поливинилового спирта и микроцеллюлозы // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). 2019. №. 2. С. 31-35.

19 Ферапонтов Н.Б., Гагарин А.Н., Токмачёв М.Г. Сорбция веществ полимерными сорбентами на основе сшитого полистирола // Сорбционные и хроматографические процессы. 2016. Т. 16. № 3. С. 368–376.

20 Иванцов М.И., Чудакова М.В., Куликова М.В. Синтез композитных материалов на основе поливинилового спирта // Сборник тезисов докладов XII Международной конференции молодых ученых по нефтехимии. 2018. С. 571-572.

References

1 Getmadinova V.M., Sidorov Yu.D., Polivanov M.A. Regulation of the solubility of composite materials based on polyvinyl alcohol. Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2016. vol. 19. no. 6. pp. 96–99. (in Russian).

2 Pavlenok A.V., Davydova O.V., Drobyshevskaya N.E., Podnezhny E.N. Obtaining and properties of biodegradable composite materials based on polyvinyl alcohol and starch. Bulletin of the Gomel State Technical University. PO Sukhoi. 2018. no. 1 (72). pp. 38-46. (in Russian).

3 Khabibullina L.F., Sidorov Yu.D., Polivanov M.A., Vasilenko S.V. Properties of composite film materials based on polyvinyl alcohol. Bulletin of the Kazan Technological University. 2016. vol. 19. no. 21. pp. 109-113. (in Russian).

4 Li N.I., Sidorov Yu.D., Mayamsina V.O. Improving the physical and mechanical properties of layers based on polymer gelatin compositions. Bulletin of the Kazan Technological University. 2013. vol. 16. no. 18. pp. 149–152. (in Russian).

5 Trufakina L.M. Properties of polymer composites based on polyvinyl alcohol. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources. 2014. vol. 325. no. 3. pp. 92-97. (in Russian).

6 Awada H., Montplaisir D., Daneault C. Cellulose PVOH composites. BioResources. 2014. vol. 9. no. 2. pp. 3439–3448.

7 Rietjens M., Steenbergen P.A. Crosslinking mechanism of boric acid with diols revisited. Eur. J. Inorg. Chem. 2005. 6. pp.1162–1174. doi:10.1002/ejic.200400674

8 Cui Y., Pelton R., Cosgrove T., Richardson R. et al. Not all anionic polyelectrolytes complexwith DTAB. Langmuir. 2009. vol. 25. no. 24. pp. 13712–13717. doi:10.1021/la900563y

9 Sun L., Wang J., Liang J. et al. Boric Acid Cross-linked 3D Polyvinyl Alcohol Gel Beads by NaOH-Titration Method as a Suitable Biomass Immobilization Matrix. J Polym Environ. 2020. vol. 28. pp. 532–541. doi:10.1007/s10924–019–01610 z

10 Lum Y.-H., Shaaban A., Mohamad N., Dimin F. et al. Boric acid modified starch polyvinyl alcohol matrix for slow release fertilizer. e-Polymers. 2016. vol. 2. doi:10.1515/epoly 2015–0259

11 Marin L., Ailincai D., Paslaru E. Monodisperse PDLC composites generated by use of polyvinyl alcohol boric acid as matrix. RSC Adv. 2014. vol. 4. pp. 38397–38404. doi:10.1039/ C4RA06426G

12 Al-Emam E., Soenen H., Caen J. et al. Characterization of polyvinyl alcohol-borax/agarose (PVA-B/AG) double network hydrogel utilized for the cleaning of works of art. HeritSci. 2020. vol. 8. pp. 106. doi:10.1186/s40494–020–00447–3

13 Yin Y., Li J., Liu Y., Li Z. Starch crosslinked with polyvinyl alcohol by boric acid. Inc. J ApplPolymSci. 2005. vol. 96. pp. 1394–1397. doi:10.1002/app.21569

14 Geng S., Shah F.U., Liu P., Antzutkin O.N. et al. Plasticizing and crosslinking effects of borate additives on the structure and properties of poly(vinyl acetate). RSC Adv. 2017. no. 7. pp. 7483–7491. doi:10.1039/C6RA28574K

15 Carretti E., Bonini M., Dei L., Berrie B.H. et al. New frontiers in materials science for art conservation: responsive gels and beyond. AccChemRes. 2010. vol. 43. no. 6. pp. 751–760.

16 Studenikina L.N. Korchagin V.I., Iushin V.O., Melnikov A.A. Influence of the nature of the filler on the properties of the composite "polyvinyl alcohol: polysaccharide". Sorption and chromatographic processes. 2021. vol. 21. no. 1. pp. 111–118. (in Russian).

17 Studenikina L.N., Domareva S.Yu., Golenskikh Yu.E., Matveeva A.V. Features of highly filled composites based on various grades of polyvinyl alcohol. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2021. vol. 83. no. 1 (87). pp. 316–322. (in Russian).

18 Studenikina L.N. Prospects for the development of a biodegradable composite based on polyvinyl alcohol and microcellulose. Models and technologies of environmental management (regional aspect). 2019. no. 2. pp. 31-35. (in Russian).

19 Ferapontov N.B., Gagarin A.N., Tokmachev M.G. Sorption of substances by polymeric sorbents based on cross-linked polystyrene. Sorption and chromatographic processes. 2016. vol. 16. no. 3. pp. 368–376. (in Russian).

20 Ivantsov M.I., Chudakova M.V., Kulikova M.V. Synthesis of composite materials based on polyvinyl alcohol. Collection of abstracts of the XII International Conference of Young Scientists on Petrochemistry. 2018. pp. 571-572. (in Russian).

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@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-8410-8275

Александр А. Мельников студент, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, melnikov.shura@inbox.ru

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@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-8410-8275

Alexandr A. Melnikov student, industrial ecology, chemical and petrochemical production equipment department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, melnikov.shura@inbox.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 09/03/2022	**После редакции** 01/04/2022	**Принята в печать** 22/04/2022

Received 09/03/2022	**Accepted in revised** 01/04/2022	**Accepted** 22/04/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-256-261 Оригинальная статья/Research article
УДК 678 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Квантово-химическое моделирование реакций инициирования серной вулканизации изопренового каучука

Михаил Е. Соловьёв [1] me_s@mail.ru 0000-0002-8840-248X
Валерий В. Власов [1] vlasovvv@ystu.ru 0000-0003-1057-8167
Анна С. Пушница [1,2] apushnitsa@inbox.ru 0000-0003-4417-4371
Ольга В. Карманова [3] karolga@mail.ru 0000-0002-2360-5892

1 Ярославский государственный технический университет, пр-т Московский, 88, г Ярославль, 150023, Россия
2 МИРЭА – Российский технологический университет, Малая Пироговская, д. 1, стр. 5, г. Москва,119435, Россия
3 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Квантово-химическим методом функционала плотности DFT B3LYP/6-311G** проведены расчеты термодинамических функций и изменения полной электронной энергии при реакциях инициирования серной вулканизации изопренового каучука с использованием ускорителя N – циклогексил – 2 бензтиазолилсульфенамида в присутствии кислорода воздуха. Так как сера, в процессе вулканизации резиновых смесей, находится в большем количестве в растворенном состоянии, в отличие от кислорода, сделан вывод, что в присутствии серы будет происходить образование действительного агента вулканизации (ДАВ), а окисление будет происходить в меньшей степени. При сравнении значений энергии реакций с присоединением молекулы S_8 установлено, что сера в реакциях акцептирования радикалов ускорителя является более активным акцептором чем кислород в аналогичных реакциях. Проанализировано влияние числа атомов серы на активность радикалов сульфидирующего комплекса, возникающих при акцептировании серой радикалов, образующихся при распаде ускорителя. Установлено, что наиболее активными являются циклогексильные радикалы ускорителя, однако в последующих реакциях ДАВ с каучуком более активными являются радикалы ДАВ, полученные с участием бензтиазолильных фрагментов. Исследование влияния числа атомов на энергии реакций образования персульфгидрильных подвесок показывает, что с наибольшей вероятностью первичные подвески будут содержать 8 атомов серы, образующиеся в реакциях, протекающих с участием бирадикалов, образующихся при распаде восьмичленного кольца молекулы серы

Ключевые слова: вулканизация, квантово-химические расчеты, функционал плотности, каучук, моделирование реакций

Quantum-chemical modeling of reactions initiating sulfuric vulcanization of isoprene rubber

Mikhail E. Soloviev [1] me_s@mail.ru 0000-0002-8840-248X
Valeriy V. Vlasov [1] vlasovvv@ystu.ru 0000-0003-1057-8167
Anna S. Pushnitsa [1,2] apushnitsa@inbox.ru 0000-0003-4417-4371
Olga V. Karmanova [3] karolga@mail.ru 0000-0002-2360-5892

1 Yaroslavl State Technical University, Moskovsky Ave., 88, Yaroslavl, 1509999, Russia
2 MIREA - Russian Technological University, Malaya Pirogovskaya, 1, p. 5, Moscow,119435, Russia
3 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia)

Abstract. The quantum-chemical method of the density functional DFT B3LYP / 6-311G ** have been used for calculation of thermodynamic functions and changes in the total electronic energy during the initiation of sulfur vulcanization of isoprene rubber using the N - cyclohexyl - 2 benzthiazolyl sulfenamide accelerator in the presence of atmospheric oxygen. Since sulfur, in the process of vulcanization of rubber compounds, is in a larger amount in a dissolved state, unlike oxygen, it is concluded that in the presence of sulfur, the formation of a valid vulcanization agent (DAV) will occur, and oxidation will occur to a lesser extent. When comparing the values of the reaction energy with the addition of the S8 molecule, it was found that sulfur in the accelerator radical acceptance reactions is a more active acceptor than oxygen in similar reactions. The effect of the number of sulfur atoms on the activity of the radicals of the sulfidating complex arising upon the acceptance of sulfur by the radicals formed during the decay of the accelerator is analyzed. It was found that the cyclohexyl radicals of the accelerator are the most active, however, in subsequent reactions of DAV with rubber, the radicals of DAV obtained with the participation of benzthiazolyl fragments are more active. The study of the effect of the number of atoms on the energies of the reactions of the formation of persulfhydryl suspensions shows that the primary suspensions are most likely to contain 8 sulfur atoms formed in reactions involving biradicals formed during the decay of the eight-membered ring of a sulfur molecule

Keywords: vulcanization, quantum chemical calculations, density functional, rubber, reaction modeling

Введение

Моделирование кинетики вулканизации каучуков является важной стадией расчета режимов вулканизации резиновых изделий [1–10], без которого невозможно получение высококачественного изделия в условиях возрастающих требований к экономии энергоносителей. Традиционный эмпирический подход к описанию кинетики вулканизации основан на формальном представлении процесса подходящим математическим выражением без учета реальных механизмов, протекающих при вулканизации химических реакций [11–12]. Основным недостатком данного подхода является невозможность

Для цитирования
Соловьев М.Е., Власов В.В., Пушница А.С., Карманова О.В. Квантово-химическое моделирование реакций инициирования серной вулканизации изопренового каучука // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 256–261. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-256-261

For citation
Soloviev M.E., Vlasov V.V., Pushnitsa A.S., Karmanova O.V. Quantum-chemical modeling of reactions initiating sulfuric vulcanization of isoprene rubber. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 256–261. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-256-261

© 2022, Соловьев М.Е. и др. / Soloviev M.E. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

непротиворечиво связать параметры кинетического уравнения с составом резин, что ограничивает его область применимости лишь конкретным составом, для которого была проведена идентификация параметров математической модели.

Ранее был предложен подход [13], в котором система дифференциальных уравнений химической кинетики выводилась на основании известных представлений о механизме серной вулканизации ненасыщенных каучуков. Такой подход открывает возможность проводить не только оптимизацию температурно-временного режима вулканизации, но также и оптимизацию состава резиновой смеси, чем достигаются наилучшие возможности получения резиновых изделий самого высокого качества.

Вместе с тем, хотя общая схема реакций серной вулканизации достаточно хорошо известна, при выборе конкретной кинетической модели возникает проблема, связанная с тем, что число реакций, протекающих при вулканизации, чрезвычайно велико. В этой связи затруднительно выбрать приближенный вариант кинетической схемы, который бы при умеренных затратах на компьютерные ресурсы позволял бы моделировать необходимые детали процесса. Кроме того, из-за трудностей экспериментального исследования химических реакций в реальных резиновых смесях, многие реакции, предложенные различными авторами, являются экспериментально не доказанными и, часто, даже гипотетическими. В этой связи представляется актуальным проведение квантово-химических расчетов с целью уточнения механизма и возможностей реакций, включенных в кинетическую схему вулканизации.

Результаты

В настоящей работе проведены квантово-химические расчеты методом функционала плотности DFT B3LYP/6–311G** термодинамических функций и изменения энергии при реакциях, протекающих при распаде ускорителя N – циклогексил – 2 бензтиазолилсульфенамида (в дальнейшем обозначаемого как CG–NH–SBA), взаимодействия образующихся радикалов с серой и кислородом воздуха и последующими взаимодействиями образующихся продуктов с каучуком (образование персульфгидрильных подвесок). Данные стадии относятся к инициированию вулканизации, протекают во время так называемого индукционного периода и в теоретическом отношении являются наименее изученными.

Первым этапом инициирования является распад ускорителя на радикалы, который может протекать по двум направлениям. Первое направление связано с образованием бензтиазолильного и циклогексильного радикалов, Второе направление связано с отрывом водорода от атома азота.

1) CG–NH–SBA → CG–NH* +*SBA
ΔE = 251 кДж/моль
2) CG–NH–SBA → CGN * –SBA + H
ΔE = 387 кДж/моль

Сравнение энергий этих реакций показывает, что наиболее вероятной является реакция распада на два радикала, что подтверждается направлением реакции, наблюдающимся на практике.

Следующим этапом инициирования является распад молекулы серы, который происходит при температурах выше 114 °C. При этом может происходить просто распад кольца, а также распад образующегося бирадикала и взаимодействие бирадикалов друг с другом с образованием цепочек различной длины.

3) $S_{8\ (кольцо)} \rightarrow *S_8*$
4) $*S_8* \leftrightarrow *S_x* + *S_{8-x}*$

Расчет изменения энергии реакции распада колец с различным числом атомов показывает, что наибольшей энергии требует распад восьмичленного кольца. Это коррелирует с тем фактом, что в природе сера встречается в виде восьмичленных колец. Остальные кольца имеют меньшую энергию, поэтому при их образовании они с большей вероятностью будут распадаться с образованием бирадикалов.

Распад серы на бирадикалы является стадией инициирования только в случае вулканизации чистой серой. Поэтому реально инициированием является взаимодействие радикальных фрагментов ускорителя с серой, по реакции (5) и (6) с образованием действительного агента вулканизации.

5) $*S_x* + *SBA \rightarrow *S_x\ SBA$
6) $*S_x* + CG – NH* \rightarrow CG–NHS_x*$

На рисунке 1 приведены энергии реакции взаимодействия бирадикала серы с сульфенамидным фрагментом распада ускорителя.

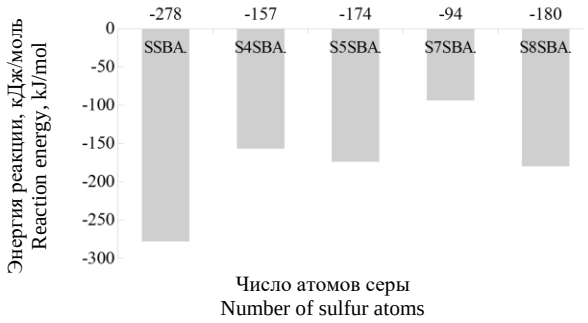


Рисунок 1. Энергия реакции образования действительного агента вулканизации для фрагментов с различным числом атомов серы

Figure 1. Reaction energy of formation of the valid vulcanization agent for fragments with various numbers of sulfur atoms

Как видно из рисунка, в зависимости числа атомов серы энергия этой реакции различается, причем наибольшими по абсолютной величине являются изменения энергии для фрагментов с небольшим числом атомов серы, которые, в соответствии с полученными данными, являются наиболее активными. Аналогичные данные были вычислены для реакции взаимодействия серы с циклогексильным радикалом. В этом случае наиболее активным является фрагмент, включающий три атома серы. Для фрагментов с другим числом атомов серы энергия реакции не столь существенно изменяется по сравнению ее значениями в реакции с бензсульфенамидным радикалом. В среднем изменение энергии реакции (6) больше чем реакции (5), что свидетельствует о том, что циклогексильные радикалы являются более активными по сравнению с бензтиазолильными.

В каучуке помимо серы растворен кислород, который является акцептором радикалов. Поэтому целесообразно сравнить энергии реакций взаимодействия рассмотренных радикалов с серой и с кислородом. В присутствии кислорода радикалы должны образовать следующие фрагменты по реакциям (7), (8), для которых вычислены соответствующие изменения энергии.

7) * SBA + O_2 →*OOSBA

ΔE = -45,5 кДж/моль

8) CG–NH* + O_2 → CG–NHOO*

ΔE = -33,4 кДж/моль

В присутствии молекулярной серы будут протекать аналогичные реакции.

9) * SBA + S_8→ • S_8 SBA

ΔE = -55 кДж/моль

10) CG–NH* + S_8 → CG–NHS_8*

ΔE = -87 кДж/моль

Если сравнить энергии реакций с присоединением молекулы S_8, то можно сделать вывод, что сера в реакциях акцептирования радикалов ускорителя (9), (10) является более активным акцептором чем кислород в аналогичных реакциях (7), (8). Кроме того, сера находится в большем количестве в растворенном состоянии по сравнению с растворимостью кислорода. Поэтому в присутствии серы будет происходить образование действительного агента вулканизации (ДАВ), а окисление будет происходить в меньшей степени.

После того как образовался ДАВ, он взаимодействует с каучуком по реакциям (11), (12). Вычисленные значения изменения энергий этих реакций приведены на рисунках 2, 3 (в качестве модели звена изопренового каучука рассматривалась молекула метилгексена).

11) CG–NHS_x* + RH → CG–NHS_x H + R *

12) *S_x SBA + RH → HS_x SBA + R *

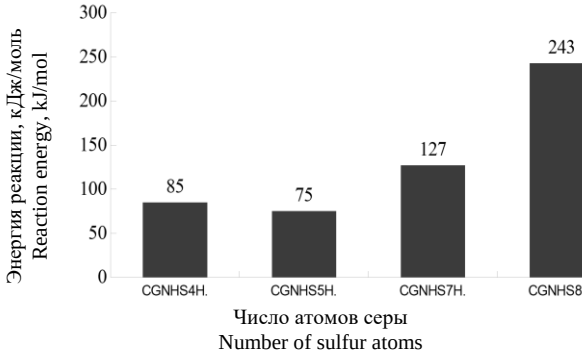


Рисунок 2. Изменение энергии реакций передачи цепи на каучук для циклогексильного фрагмента ускорителя

Figure 2. Change in the energy of transfer reactions chains on rubber for the cyclohexyl moiety accelerator

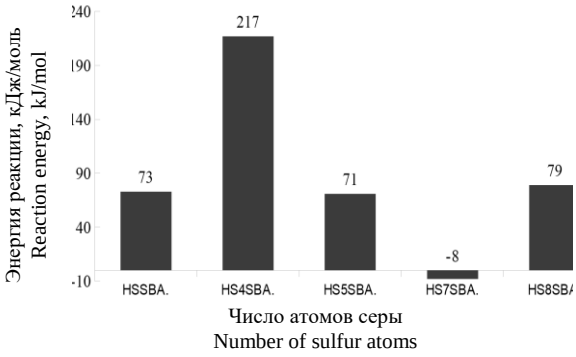


Рисунок 3. Изменение энергии реакций передачи цепи на каучук для бензтиазолильного фрагмента ускорителя

Figure 3. Change in the energy of transfer reactions chains on rubber for the benzthiazolyl moiety accelerator

Из полученных данных видно, что наиболее активными являются фрагменты ДАВ вида HS_7 SBA, для которых наблюдается отрицательные значения энергии реакции. В целом ДАВ на основе сульфенамидных фрагментов более активны по сравнению с циклогексильными фрагментами, поскольку в среднем для них наблюдаются меньшие значения энергий реакций.

Аналогичные реакции взаимодействия пероксидных радикалов ускорителя имеют вид

13) CGNOO* + RH → CGNOOH + R *

ΔE = 26 кДж/моль

14) SBAOO* + RH → SBAOOH + R *

ΔE = 33 кДж/моль

Как видно, они также могут дегидрировать углеводород каучука, и приводить к продолжению цепей окисления / вулканизации.

15) CGNH* + RH → $CGNH_2$ + R *

ΔE = -62 кДж/моль

16) * SBA + RH → HSBA + R *

ΔE = -5 кДж/моль

Радикалы каучука будут взаимодействовать с серой с образованием сульфгидрильных подвесок.

17) $R^* + S_8 \rightarrow RS_8^*$

$\Delta E = 70$ кДж/моль

Данные радикалы могут участвовать в реакциях передачи цепи.

18) $RS_x^* + RH \rightarrow RS_x H + R^*$

19) $HS_x^* + RH \rightarrow HS_x H + R^*$

На рисунках 4 и 5 приведены энергии реакций образования персульфгидрильных подвесок в зависимости от числа атомов серы.

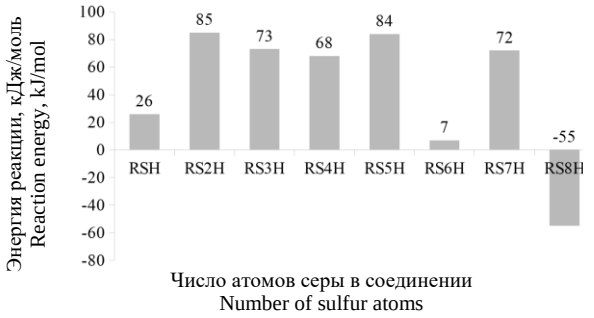


Рисунок 4. Энергия образования персульфгидрильных подвесок с разным числом атомов серы

Figure 4. Energy of formation of persulfhydryl suspensions with different numbers of sulfur atoms

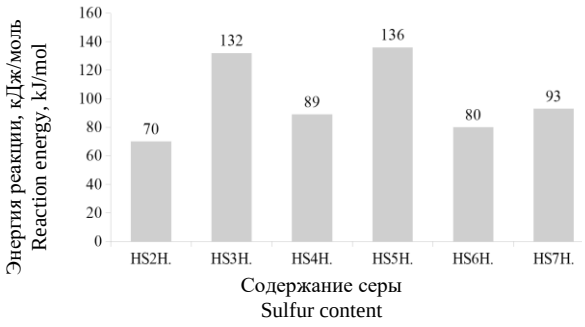


Рисунок 5. Энергия реакции (19) для радикалов с различным числом атомов серы

Figure 5. Energy of reaction (19) for radicals with different number of sulfur atoms

Как видно из рисунка 4, отрицательное значение энергии реакции для подвесок с числом атомов серы, равным 8, свидетельствует о том, что данный тип персульфгидрильных подвесок будет наиболее вероятным. Энергии реакций (19) в среднем превышают значения энергий реакций (18), из чего следует, что более активными в реакциях передачи цепи являются персульфгидрильные подвески каучука, а не сами сульфгидрильные радикалы.

Заключение

В настоящей работе проведены квантовохимические расчеты изменения полной электронной энергии в результате реакций, протекающих на стадии индукционного периода вулканизации: распада ускорителя на радикальные фрагменты, взаимодействия их с серой и последующего образования серусодержащих подвесок к молекулам каучука. Установлено, что с точки зрения активности в реакциях раскрытия восьмичленного серного кольца более активными являются циклогексильные радикалы ускорителя, однако в последующих реакциях ДАВ с каучуком более активными являются радикалы ДАВ, полученные с участием бензтиазолильных фрагментов. Исследование влияния числа атомов на энергии реакций образования персульфгидрильных подвесок показывает, что с наибольшей вероятностью первичные подвески будут содержать 8 атомов серы, образующиеся в реакциях, протекающих с участием бирадикалов, образующихся при распаде восьмичленного кольца молекулы серы.

Литература

1 Пороцкий В.Г., Савельев В.В. Гордеев В.К. Литвин-Седой Ю.З. Совершенствование методов и средств адаптации режимов вулканизации // Вопросы практической технологии изготовления шин. 2000. № 3. С. 45–57.

2 Ghoreishy M.H.R. Numerical simulation of the curing process of rubber articles // Computational Materials. 2009. P. 445–478.

3 Vafayan M., Ghoreishy M.H.R., Abedini H., Beheshty M.H. Development of an optimized thermal cure cycle for a complex-shape composite part using a coupled finite element/genetic algorithm technique // Iranian Polymer Journal. 2015. V. 24. №. 6. P. 459–469. doi: 10.1007/s13726-015-0337-0

4 Wang D., Dong Q., Jia Y. Mathematical modelling and numerical simulation of the non-isothermal in-mold vulcanization of natural rubber // Chinese Journal of Polymer Science. 2015. V. 33. №. 3. P. 395–403. doi: 10.1007/s10118-015-1594-2

5 Tikhomirov S., Karmanova O., Maslov A., Lintsova E. Software for Researching the Processes of Curing of Polymer Compositions Using Mathematical Modeling // International Conference for Information Systems and Design. Springer, Cham, 2021. P. 235–253. doi: 10.1007/978-3-030-95494-9_20

6 Коротких Н.И., Воскресенский А.М. Красовский В.Н. Моделирование вулканизации резинометаллических деталей для буровой техники // Каучук и резина. 2003. № 2. С. 14–16.

7 Соловьев М.Е., Власов В.В., Раухваргер А.Б. Моделирование серной вулканизации резиновых изделий на основе ненасыщенных каучуков // Математические методы в технике и технологиях-ММТТ. 2017. Т. 3. С. 81–85.

8 Kucma A., Janosik I. Optimalizacia vulkazacie viacvrstvovych gumovych vyrobkov // Plasty u kouc. 1996. V. 33. № 5. P. 132–135.

9 Свердел М.И., Зимин А.В., Дзюра Е.А. Программно-методическое обеспечение проектирования режимов вулканизации пневматических шин // Каучук и резина. 2003. № 5. С. 17–22.

10 Кушнаренко Л.С., Воскресенский А.М., Красовский В.Н. Моделирование формовой вулканизации типового резинообувного изделия // Каучук и резина. 2001. № 1. С. 46.

11 Молчанов В.И., Карманова О.В., Тихомиров С.Г. и др. Моделирование кинетики неизотермической вулканизации массивных резиновых изделий // Труды БГТУ. 2014. № 4(168). С. 100–104.

12 Седов Д.В. О возможностях уточнения оптимума вулканизации автомобильных шин // Каучук и резина. 2000. № 2. С. 23.

13 Маркелов В.Г., Соловьев М.Е. Моделирование процесса вулканизации толстостенных резиновых изделий // Известия вузов. сер. Химия и химическая технология. 2007. Т. 50. № 4 С. 95–99.

14 Kruželák J., Sýkora R., Hudec I. Vulcanization of rubber compounds with peroxide curing systems // Rubber chemistry and technology. 2017. V. 90. №. 1. P. 60-88. doi: 10.5254/rct.16.83758

15 Hansson C., Pontén A., Svedman C., Bergendorff O. Reaction profile in patch testing with allergens formed during vulcanization of rubber // Contact Dermatitis. 2014. V. 70. №. 5. P. 300-308. doi: 10.1111/cod.12168

16 Junkong P., Morimoto R., Miyaji K., Tohsan A. et al. Effect of fatty acids on the accelerated sulfur vulcanization of rubber by active zinc/carboxylate complexes // RSC advances. 2020. V. 10. №. 8. P. 4772-4785. doi: 10.1039/C9RA10358A

17 Dobrotă D. Vulcanization of rubber conveyor belts with metallic insertion using ultrasounds // Procedia Engineering. 2015. V. 100. P. 1160-1166. doi: 10.1016/j.proeng.2015.01.479

18 Mostoni S., Milana P., Di Credico B., D'Arienzo M. et al. Zinc-based curing activators: new trends for reducing zinc content in rubber vulcanization process // Catalysts. 2019. V. 9. №. 8. P. 664. doi: 10.3390/catal9080664

19 Chen L., Jia Z., Tang Y., Wu L. et al. Novel functional silica nanoparticles for rubber vulcanization and reinforcement // Composites Science and Technology. 2017. V. 144. P. 11-17. doi: 10.1016/j.compscitech.2016.11.005

20 Hosseini S.M., Razzaghi-Kashani M. Vulcanization kinetics of nano-silica filled styrene butadiene rubber // Polymer. 2014. V. 55. №. 24. P. 6426-6434. doi: 10.1016/j.polymer.2014.09.073

References

1 1 Porotsky V.G., Saveliev V.V. Gordeev V.K. Litvin-Sedoy Yu.Z. Improving the methods and means of adaptation of vulcanization modes. Issues of practical tire manufacturing technology. 2000. no. 3. pp. 45–57. (in Russian).

2 Ghoreishy M.H.R. Numerical simulation of the curing process of rubber articles. Computational Materials. 2009. pp. 445–478.

3 Vafayan M., Ghoreishy M.H.R., Abedini H., Beheshty M.H. Development of an optimized thermal cure cycle for a complex-shape composite part using a coupled finite element/genetic algorithm technique. Iranian Polymer Journal. 2015. vol. 24. no. 6. pp. 459–469. doi: 10.1007/s13726-015-0337-0

4 Wang D., Dong Q., Jia Y. Mathematical modelling and numerical simulation of the non-isothermal in-mold vulcanization of natural rubber. Chinese Journal of Polymer Science. 2015. vol. 33. no. 3. pp. 395–403. doi: 10.1007/s10118-015-1594-2

5 Tikhomirov S., Karmanova O., Maslov A., Lintsova E. Software for Researching the Processes of Curing of Polymer Compositions Using Mathematical Modeling. International Conference for Information Systems and Design. Springer, Cham, 2021. pp. 235–253. doi: 10.1007/978-3-030-95494-9_20

6 Korotkikh N.I., Voskresensky A.M. Krasovsky V.N. Modeling of vulcanization of rubber-metal parts for drilling equipment. Kauchuk i rezina. 2003. no. 2. pp. 14–16. (in Russian).

7 Soloviev M.E., Vlasov V.V., Raukhvarger A.B. Modeling of sulfur vulcanization of rubber products based on unsaturated rubbers. Mathematical methods in engineering and technologies-MMTT. 2017. vol. 3. pp. 81–85. (in Russian).

8 Kucma A., Janosik I. Optimalizacia vulkazacie viacvrstvovych gumovych vyrobkov. Plasty u kouc. 1996. vol. 33. no. 5. pp. 132–135. (in Russian).

9 Sverdel M.I., Zimin A.V., Dzyura E.A. Software and methodological support for the design of pneumatic tire vulcanization modes. Kauchuk i rezina. 2003. no. 5. pp. 17–22. (in Russian).

10 Kushnarenko L.S., Voskresensky A.M., Krasovsky V.N. Modeling of molded vulcanization of a typical rubber footwear product. Kauchuk i rezina. 2001. no. 1. pp. 46. (in Russian).

11 Molchanov V.I., Karmanova O.V., Tikhomirov S.G. Modeling of the kinetics of non-isothermal vulcanization of massive rubber products. Proceedings of BSTU. 2014. no. 4(168). pp. 100–104. (in Russian).

12 Sedov D.V. On the possibilities of refining the optimum vulcanization of car tires. Kauchuk i rezina. 2000. no. 2. pp. 23. (in Russian).

13 Markelov V.G., Soloviev M.E. Modeling the process of vulcanization of thick-walled rubber products. Izvestiya vuzov. ser. Chemistry and chemical technology. 2007. vol. 50. no. 4. pp. 95–99. (in Russian).

14 Kruželák J., Sýkora R., Hudec I. Vulcanization of rubber compounds with peroxide curing systems. Rubber chemistry and technology. 2017. vol. 90. no. 1. pp. 60-88. doi: 10.5254/rct.16.83758

15 Hansson C., Pontén A., Svedman C., Bergendorff O. Reaction profile in patch testing with allergens formed during vulcanization of rubber. Contact Dermatitis. 2014. vol. 70. no. 5. pp. 300-308. doi: 10.1111/cod.12168

16 Junkong P., Morimoto R., Miyaji K., Tohsan A. et al. Effect of fatty acids on the accelerated sulfur vulcanization of rubber by active zinc/carboxylate complexes. RSC advances. 2020. vol. 10. no. 8. pp. 4772-4785. doi: 10.1039/C9RA10358A

17 Dobrotă D. Vulcanization of rubber conveyor belts with metallic insertion using ultrasounds. Procedia Engineering. 2015. vol. 100. pp. 1160-1166. doi: 10.1016/j.proeng.2015.01.479

18 Mostoni S., Milana P., Di Credico B., D'Arienzo M. et al. Zinc-based curing activators: new trends for reducing zinc content in rubber vulcanization process. Catalysts. 2019. vol. 9. no. 8. pp. 664. doi: 10.3390/catal9080664

19 Chen L., Jia Z., Tang Y., Wu L. et al. Novel functional silica nanoparticles for rubber vulcanization and reinforcement. Composites Science and Technology. 2017. vol. 144. pp. 11-17. doi: 10.1016/j.compscitech.2016.11.005

20 Hosseini S.M., Razzaghi-Kashani M. Vulcanization kinetics of nano-silica filled styrene butadiene rubber. Polymer. 2014. vol. 55. no. 24. pp. 6426-6434. doi: 10.1016/j.polymer.2014.09.073

Сведения об авторах

Михаил Е. Соловьёв д.ф-м.н., профессор, кафедра химической технологии биологически активных веществ и полимерных композитов, Ярославский государственный технический университет, Московский пр-т, 88, г. Ярославль, 150999, Россия, me_s@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8840-248X

Валерий В. Власов к.т.н., доцент, кафедра химической технологии биологически активных веществ и полимерных композитов, Ярославский государственный технический университет, Московский пр-т, 88, г. Ярославль, 150999, Россия, vlasovvv@ystu.ru
https://orcid.org/0000-0003-1057-8167

Анна С. Пушница инженер, кафедра химической технологии биологически активных веществ и полимерных композитов, Ярославский государственный технический университет, Московский пр-т, 88, г. Ярославль, 150999, Россия, apushnitsa@inbox.ru
https://orcid.org/0000-0003-4417-4371

Ольга В. Карманова д.т.н., зав. кафедрой, кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, karolga@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-2360-5892

Information about authors

Mikhail E. Soloviev Dr. Sci. (Phys.-Math.), chemical technology of biologically active substances and polymer composites department, Yaroslavl State Technical University, Moskovsky Ave., 88, Yaroslavl, 1509999, Russia, me_s@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8840-248X

Valeriy V. Vlasov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemical technology of biologically active substances and polymer composites department, Yaroslavl State Technical University, Moskovsky Ave., 88, Yaroslavl, 1509999, Russia, vlasovvv@ystu.ru
https://orcid.org/0000-0003-1057-8167

Anna S. Pushnitsa engineer, chemical technology of biologically active substances and polymer composites department, Yaroslavl State Technical University, Moskovsky Ave., 88, Yaroslavl, 1509999, Russia, apushnitsa@inbox.ru
https://orcid.org/0000-0003-4417-4371

Olga V. Karmanova Dr. Sci. (Engin.), head of department, technology of organic compounds, polymer processing and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, karolga@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-2360-5892

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 15/04/2022	**После редакции** 06/05/2022	**Принята в печать** 30/05/2022

Received 15/04/2022	**Accepted in revised** 06/05/2022	**Accepted** 30/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-262-268 Оригинальная статья/Research article
УДК 621.8 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Оценка усталостной прочности углепластиков с различными типами гибридных матриц

Екатерина А. Косенко [1] kosenkokate@mail.ru 0000-0002-7808-7359

1 Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Ленинградский пр-т, 64, г. Москва, 125319, Россия

Аннотация. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) нашли широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря возможности создавать изделия пониженной массы с заданными эксплуатационными свойствами. В процессе эксплуатации композитные изделия подвергаются воздействию статических и циклические нагрузок, климатических и многих других факторов. Оценка усталостной прочности композиционных материалов и влияния на нее различных добавок и модификаторов является актуальной научно-практической задачей. В статье описана технология получения ПКМ с различными типами гибридных матриц, формируемых основным материалом связующего и материалом, представляющим в структуре композита самостоятельную «жидкую» фазу. На основе анализа кинетики отверждения в качестве материалов компонентов «жидкой» фазы были выбраны анаэробный полимерный материал (Loctite 638), силиконовый эластомер (Юнисил-9628) и синтетический воск. Испытания по оценке усталостной прочности осуществлялись путем приложения к образцам циклически изменяющихся нагрузок растяжение-сжатие. Нагрузка при выполнении циклических испытаний составила 70% от статической прочности образцов при растяжении. Остаточная прочность оценивалась путем испытания образцов на растяжение до полного разрушения после циклического нагружения. Представлены результаты испытаний на усталостную прочность углепластиков с различными типами гибридных матриц (формируемых различными компонентами «жидкой» фазы), анализ которых показал, что использование анаэробного полимерного материала в качестве компонента «жидкой» фазы гибридной матрицы позволяет повысить как начальную статическую прочность материала (на ~1%), так и остаточную прочность после циклического нагружения (на ~11%) по сравнению с данными показателями, полученными при испытании контрольных образцов. После выполнения циклического нагружения у углепластиков с анаэробным полимерным материалом и силиконовым эластомером наблюдается повышение остаточной прочности по сравнению с предварительно выполненными статическими испытаниями на растяжение на ~8% и ~13% соответственно. Использование в качестве компонента «жидкой» фазы анаэробного полимерного материала и силиконового эластомера позволяет повысить модуль упругости углепластиков после циклического нагружения на ~13% и 5% соответственно по сравнению с результатами предварительных статических испытаний.

Ключевые слова: гибридная матрица, остаточная прочность, полимерные композиционные материалы, углепластик, усталостная прочность.

Evaluation of fatigue strength of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) with various types of hybrid matrices

Ekaterina A. Kosenko [1] kosenkokate@mail.ru 0000-0002-7808-7359

1 Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Leningradsky prospect, 64 Moscow, 125319, Russia

Abstract. Polymer composite materials (PCM) have found wide application in various industries due to the ability to create low-weight products with specified operational properties. During operation, composite products are exposed to static and cyclic loads, climatic and many other factors. Evaluation of the fatigue strength of composite materials and the influence of various additives and modifiers on it is an urgent scientific and practical task. The article describes the technology of obtaining PCM with various types of hybrid matrices formed by the main binder material and the material representing an independent "liquid" phase in the composite structure. Based on the analysis of the kinetics of curing, anaerobic polymer material (Loctite 638), silicone elastomer (Unisil-9628) and synthetic wax were selected as the materials of the components of the "liquid" phase. Fatigue strength assessment tests were carried out by applying cyclically varying tension-compression loads to the samples. The load during cyclic tests was 70% of the static tensile strength of the samples. The residual strength was evaluated by testing the tensile strength of the samples until complete destruction after cyclic loading. The results of fatigue strength tests of carbon fiber plastics with various types of hybrid matrices (formed by various components of the "liquid" phase) are presented. The analysis of the results showed that the use of an anaerobic polymer material as a component of the "liquid" phase of the hybrid matrix makes it possible to increase both the initial static strength of the material (by ~ 1%) and the residual strength after cyclic loading (by ~ 11%) compared with these indicators obtained during the testing of control samples. After performing cyclic loading, carbon fiber plastics with anaerobic polymer material and silicone elastomer have an increase in residual strength compared to previously performed static tensile tests by ~ 8% and ~13%, respectively. The use of an anaerobic polymer material and silicone elastomer as a component of the "liquid" phase makes it possible to increase the modulus of elasticity of carbon fiber plastics after cyclic loading by ~ 13% and 5%, respectively, compared with the results of preliminary static tests.

Keywords: hybrid matrix, residual strength, polymer composite materials, carbon fiber reinforced plastics, fatigue strength.

Для цитирования

Косенко Е.А. Оценка усталостной прочности углепластиков с различными типами гибридных матриц // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 262–268. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-262-268

For citation

Kosenko E.A. Evaluation of fatigue strength of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) with various types of hybrid matrices. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 262–268. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-262-268

© 2022, Косенко Е.А. / Kosenko E.A.

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

Введение

В условиях расширения областей применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) [1–4], разработки новых составов и структур композитов [5–13] важной задачей является прогнозирование их долговечности с учетом влияния различных разрушающих факторов, в частности циклических нагрузок.

В условиях циклического нагружения в ПКМ происходит возникновение и накопление микроповреждений и дислокаций с последующим образованием и ростом макротрещины и поврежденности. Поврежденность системы, в соответствии с представлениями статистической физики, протекает со скоростью, зависящей от некоторых внешних факторов (механических, физических, химических и др.), а также от величины накопленной поврежденности. В свою очередь мера повреждения зависит от различных деградационных процессов материалов, к которым относятся разрушение волокон и матрицы, расслоения и отрывы на поверхности раздела и пр [14–16]. Поэтому большой научно-практический интерес представляет возможность создания ПКМ, структура которых позволила бы снизить интенсивность деградационных процессов в условиях циклического нагружения. Аналогом такой структуры является гетерогенная структура многих природных материалов, таких как живая древесина, некоторые виды слюды (в частности, мусковит), кость, ракушка. Эти материалы имеют слоистую структуру со слабыми поверхностями раздела и при достижении трещиной этой слабой поверхности происходит ее «стопорение» между компонентами материала [17, 18].

Создание в структуре ПКМ слабых поверхностей раздела (мягких промежуточных слоев) позволит реализовать механизмы разрушения аналогичные механизмам разрушения природных материалов и обеспечить высокие прочностные и деформационные свойства.

Так, добавление в состав матрицы компонентов, сохраняющих свое жидкое состояние и представляющих в структуре композита самостоятельную «жидкую» фазу, позволяет изменять весь комплекс свойств материала [19].

Использование в качестве компонента «жидкой» фазы анаэробного полимерного материала позволяет повысить прочностные свойства ПКМ как при положительной, так и при отрицательных температурах, силиконового эластомера – минимизировать потерю прочностных свойств при переходе в область отрицательных температур, а синтетического воска – повысить относительное удлинение композита при разрушении при положительной температуре [19].

Применение компонентов «жидкой» фазы способствует изменению фазовых характеристик, в частности приводит к снижению скачка теплоемкости при фазовом переходе. В наибольшей степени на величину скачка теплоемкости оказывает влияние анаэробный полимерный материал, а наименьшее – силиконовый эластомер в составе гибридной матрицы.

Выполненные статические испытания позволяют получить информацию о прочностных показателях конструкционного материала и влиянии тех или иных модификаторов на их изменение.

Оценку характеристик усталости ПКМ осуществляют в условиях циклического нагружения с постоянной амплитудой и частотой.

Цель работы – исследование влияния компонентов «жидкой» фазы гибридной матрицы на усталостную и остаточную прочность полимерных композиционных материалов.

В работе понятие остаточная прочность используется для значений прочности ПКМ, полученных в результате испытаний до их полного разрушения после циклического нагружения.

Материалы и методы

Для оценки усталостной прочности ПКМ с гибридными матрицами были изготовлены 4 серии образцов:

1) контрольные образцы (без компонентов «жидкой» фазы матрицы);

2) образцы с анаэробным полимерным материалом (Loctite 638) в составе гибридной матрицы;

3) образцы с силиконовым эластомером (Юнисил-9628) в составе гибридной матрицы;

4) образцы с синтетическим воском в составе гибридной матрицы.

Образцы всех серий изготавливались прессованием под давлением с отверждением в прессе при температуре 80 ± 2 °С из 6 слоев предварительно пропитанной эпоксидным связующим марки EPR 320 с отвердителем марки ЕРН 943 равнопрочной углеродной ткани на основе волокна марки Т300. Компоненты «жидкой» фазы матрицы наносились между 3 и 4 слоями армирующей ткани вдоль будущих образцов (рисунок 1).

Образцы углепластиков всех серий были выполнены в форме лопатки фрезерованием. На концах образцов по обе стороны были закреплены накладки. Площадь поперечного сечения образцов составила 10х1,4–2,2 мм (разброс значений толщины образцов обусловлен наличием в структуре ПКМ компонентов «жидкой» фазы матрицы).

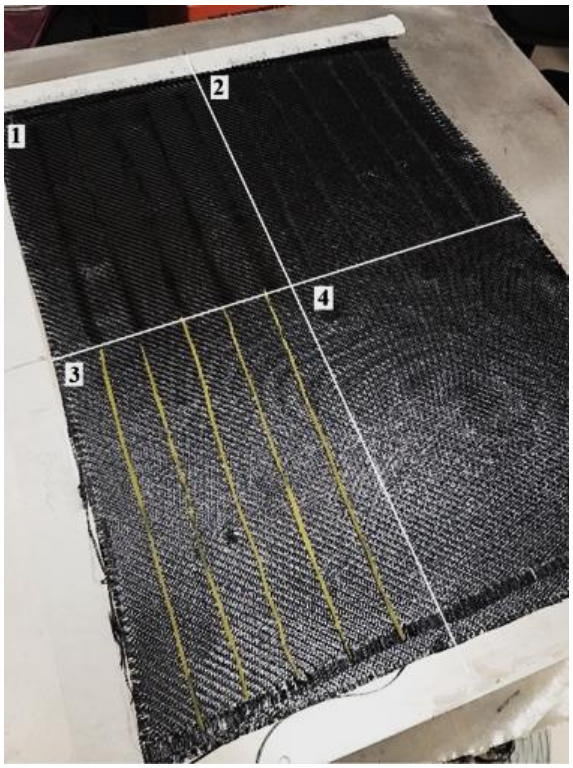


Рисунок 1. Процесс формования пакета композита: нанесение компонентов «жидкой» фазы гибридной матрицы в процессе формования образцов: 1 – зона с нанесенным анаэробным полимерным материалом; 2 – зона с нанесенным силиконовым эластомером; 3 – зона с нанесенным синтетическим воском; 4 – зона для изготовления контрольных образцов (без компонентов «жидкой» фазы матрицы)

Figure 1. The process of forming a composite package: application of components of the "liquid" phase of the hybrid matrix in the process of forming samples: 1 – zone with applied anaerobic polymer material; 2 – zone with applied silicone elastomer; 3 – zone with applied synthetic wax; 4 – zone for the manufacture of control samples (without components of the "liquid" phase of the matrix)

Испытания по определению усталостной прочности осуществлялись с помощью универсальной испытательной машины Zwick Z 100 в три этапа: определение статической прочности образцов и выбор параметров нагружения для выполнения циклических испытаний, выполнение 100 циклов нагружения, определение остаточной прочности испытуемых образцов.

Результаты

Для определения режимов циклических испытаний подготовленных серий образцов углепластиков были предварительно выполнены статические испытания по определению их предела прочности при растяжении на универсальной испытательной машине Zwick Z 100 со скорость нагружения 10 мм/мин. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Циклические испытания осуществлялись путем приложения к образцу циклически изменяющихся нагрузок растяжение-сжатие. Испытания осуществлялись с помощью испытательной машины Zwick Z 100 на следующих режимах: скорость нагружения: 10 мм/мин, количество циклов нагружения: 100, нагрузка: 70% от прочности при растяжении.

При циклическом нагружении напряжение составило: контрольных образцов углепластика $\sigma_{макс}$ = 515 МПа; углепластиков с анаэробным полимерным материалом $\sigma_{макс}$ = 465 МПа; с силиконовым эластомером $\sigma_{макс}$ = 420 МПа; с синтетическим воском в составе матрицы $\sigma_{макс}$ = 400 МПа.

После 100 циклов нагружения образцы испытывали до полного разрушения с целью получения остаточной прочности. Полученные значения остаточной прочности представлены в таблице 2.

Таблица 1.

Результаты статических испытаний на растяжение образцов углепластиков перед циклическими испытаниями

Table 1.

Results of static tensile tests of carbon fiber reinforced plastics samples before cyclic tests

Тип матрицы образцов Type of sample matrix	Модуль упругости, ГПа Modulus of elasticity, GPa	Абсолютное разрывное усилие, Н Absolute breaking force, N	Предел прочности, МПа Tensile strength, MPa	Относительное удлинение при разрушении, % Elongation at fracture, %
Эпоксидная | Epoxy	38	9054	574	2,2
Эпоксидная с анаэробным полимерным материалом Epoxy with anaerobic polymer material	35	9033	579	2,6
Эпоксидная с силиконовым эластомером Epoxy with silicone elastomer	38	7698	526	2,2
Эпоксидная с синтетическим воском Epoxy with synthetic wax	33	8194	504	2,4

Таблица 2.

Результаты испытаний образцов углепластиков с гибридными матрицами (остаточная прочность)

Table 2.

Results of tests of carbon fiber reinforced plastics samples with hybrid matrices (residual strength)

Тип матрицы образцов Type of sample matrix	Модуль упругости, ГПа Modulus of elasticity, GPa	Абсолютное разрывное усилие, Н Absolute breaking force, N	Предел прочности, МПа Tensile strength, MPa	Относительное удлинение при разрушении, % Elongation at fracture, %
Эпоксидная | Epoxy	37	9471	564	2,3
Эпоксидная с анаэробным полимерным материалом Epoxy with anaerobic polymer material	40	9557	630	1,8
Эпоксидная с силиконовым эластомером Epoxy with silicone elastomer	40	8961	606	1,6
Эпоксидная с синтетическим воском Epoxy with synthetic wax	30	8203	407	1,6

Обсуждение

По полученным результатам (таблица 2) можно сделать заключение, что в наибольшей степени на величину остаточной прочности оказывает влияние анаэробный полимерный материал в структуре углепластика и способствует повышению данного показателя на ~11% по сравнению с контрольными образцами. У образцов с силиконовым эластомером в составе матрицы наблюдается увеличение остаточной прочности на ~7% по сравнению со значением данного показателя у контрольных образцов. Синтетический воск в составе матрицы композита приводит к снижению остаточной прочности на ~28% по сравнению с остаточной прочностью контрольных образцов.

При этом следует отметить, что после выполнения 100 циклов нагружения у образцов углепластиков с анаэробным полимерным материалом и силиконовым эластомером остаточная прочность выше начальной статической прочности (таблица 1) на 51 МПа (или ~8%) и на 80 МПа (или ~13%) соответственно. У контрольных образцов и углепластиков с синтетическим воском потеря прочности составила 10 МПа (или ~2%) и 97 МПа (или ~19%) соответственно.

Учитывая свойство компонентов «жидкой» фазы замедлять или вовсе тормозить рост трещины в матрице материала [20], факт повышения остаточной прочности после циклического нагружения можно объяснить с позиции запаздывающего разрушения, описанного в монографии «Этюды по механике композитов» Полиловым А.Н.: «…при кратковременном нагружении свойства матрицы не успевают измениться и разрушение происходит при достижении растущими напряжениями предела статической прочности. При длительном (или циклическом) нагружении приложенные напряжения (или их размах) постоянны и разрушение происходит, когда рост дефектов в матрице снизит реализацию прочности волокон до уровня приложенных напряжений. Такой характер разрушения делает естественной формулировку модели двухфазного материала, в котором только один компонент – матрица – чувствителен ко времени нагружения, а прочность второго компонента – волокон – имеет статистический разброс и хотя не зависит от времени, но зависит от степени поврежденности матрицы». Таким образом, анаэробный полимерный материал и силиконовый эластомер в структуре гибридной матрицы способствуют сокращению роста поврежденности матрицы композита при циклических нагружениях предположительно за счет реализации механизма поглощения энергии разрушения компонентом «жидкой» фазы.

Также следует отметить изменение значения модуля упругости после выполнения 100 циклов нагружения, относительное изменение которого в процессе циклических нагружений рассматривается в качестве параметра сплошности (поврежденности). У образцов с анаэробным полимерным материалом и силиконовым эластомером в составе гибридной матрицы наблюдается повышение модуля упругости на 5 ГПа (или на ~13%) и на 2 ГПа (или 5%) соответственно. У образцов с синтетическим воском после 100 циклов нагружения значение модуля упругости наоборот уменьшилось на 3 ГПа (или на ~9%), а у контрольных образцов на 1 ГПа (или на ~3%).

У всех серий образцов после выполнения 100 циклов нагружения кроме контрольных образцов наблюдается падение значения относительного удлинения при разрушении. Наименьшая потеря данного показателя наблюдается у углепластиков с силиконовым эластомером (значение относительного удлинения уменьшилось на 0,6% (или в 1,38 раза)), у углепластиков с анаэробным полимерным материалом и с синтетическим воском значение относительного удлинения уменьшилось на 0,8% (или в 1,44 и 1,5 раза соответственно) (таблицы 1 и 2).

Заключение

На основании анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Использование анаэробного полимерного материала в качестве материала «жидкой» фазы позволяет достичь наибольшего среди сравниваемых типов образов значения остаточной прочности углепластиков.

2. Использование анаэробного полимерного материала и силиконового эластомера в качестве материалов «жидкой» фазы способствует повышению значения остаточной прочности и модуля упругости после 100 циклов нагружения по сравнению с результатами начальной статической прочности данных типов образцов.

3. Использование синтетического воска в качестве материала «жидкой» фазы приводит к наибольшему среди сравниваемых типов образцов снижению показателя остаточной прочности и модуля упругости после выполнения 100 циклов нагружения.

Благодарности

Материал подготовлен в рамках научных исследований по проекту № FSFM-2020–0011 (2019–1342), экспериментальные исследования проведены с использованием оборудования центра коллективного пользования МАДИ.

Литература

1 Дориомедов М.С. Российский и мировой рынок полимерных композитов (обзор)// Труды ВИАМ. 2020. №6-7 (89). С. 29-37. doi: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-29-37

2 Краев И.Д., Попков О.В., Шульдешов Е.М., Сорокин А.Е., Юрков Г.Ю. Перспективы использования кремнийорганических полимеров при создании современных материалов и покрытий различного назначения // Труды ВИАМ. 2017. №12. С. 48-62. doi: 10.18577/2307-6046-2017-0-12-5-5

3 Тимошков П.Н., Хрульков А.В., Язвенко Л.Н. Композиционные материалы в автомобильной промышленности (обзор) // Труды ВИАМ. 2017. №6. С. 61-68. doi: 10.18577/2307-6046-2017-0-6-7-7

4 Тимошков П.Н., Хрульков А.В. Анализ технологий производства изделий из непрерывно армированных полимерных композиционных материалов безавтоклавными способами изготовления (обзор) // Труды ВИАМ. 2017. № 11. С. 8. doi: 10.18477/2307–6046–2017–0–11–8–8

5 Чэнь Я., Городецкий М.А., Нелюб В.А., Малышева Г.В. Алгоритм оптимизации технологических режимов формования композитов на основе эпоксидной матрицы // Технология металлов. 2019. №2. С. 18-22. doi: 10.31044/1684-2499-2019-2-0-18-22

6 Nelyub V.A., Malysheva G.V. Modern treatment technologies of carbon fibre for ensuring the high strength carbon fibre reinforced plastic production // MATEC Web of Conferences. 2017. V. 129. P. 02001. doi: 10.1051/matecconf/201712902001

7 Neluyb V.A., Malysheva G.V., Komarov I.A. New technologies for producing multifunctional reinforced carbon plastics // Materials Science Forum. 2021. V. 1037. P. 196–202. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1037.196

8 Nelyub V.A., Komarov I.A. Technology of treatment of carbon fibers under electromagnetic influences of various origins to produce high-strength carbon fiber reinforced plastics // Russian Metallurgy (Metally). 2021. № 2021(13). P. 1696–1699. doi: 10.1134/S003602952113019X

9 Gorodetskii M.A., Nelyub V.A., Malysheva G.V., Shaulov A.Y. et al. Technology of forming and the properties of reinforced composites based on an inorganic binder // Russian Metallurgy (Metally). 2018. № 13. P.1195–1198. doi: 10.1134/S0036029518130074

10 Nelyub V.A. Technologies of metallization of carbon fabric and the properties of the related carbon fiber reinforced plastics // Russian Metallurgy. 2018. № 13. P. 1199–2101. doi: 10.1134/S0036029518130189

11 Maung P.P., Htet T.L., Malysheva G.V. Simulation and optimization of vacuum assisted resin infusion process for large-sized structures made of carbon fiber-reinforced plastic // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 709. №. 2. P. 022041. doi: 10.1088/1757–899X/709/2/022041

12 Nelyub V.A., Borodulin A.S., Kobets L.P., Malysheva G.V Thixotropy hysteresis and structure formation in elastomeric suspensions // Inorganic Materials: Applied Research. 2018. № 9(4). P. 603–608. doi: 10.1134/S2075113318040238

13 Malysheva G.V., Guzeva T.A. Technological support for decreasing the porosity of polymer composite products // Russian Metallurgy (Metally). 2021. № 2021(13). P. 1692–1695. doi: 10.1134/S0036029521130139

14 Орешко Е.И. Ерасов В.С., Гриневич Д.В., Шершак П.В. Обзор критериев прочности материалов // Труды ВИАМ. 2019. №9. С. 108-126. doi: 10.18577/2307-6046-2019-0-9-108-126

15 Кирюшина В.В., Ковалева Ю.Ю., Степанов П.А., Коваленко П.В. Исследование влияния масштабного фактора на прочностные свойства полимерных композиционных материалов // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2019. №1. С. 97–106. doi: 10.26583/npe.2019.1.09

16 Арутюнян А.Р. Формулировка критерия усталостной прочности композиционных материалов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. 2020. Т. 7 (65). №. 3. С. 511–517. doi: 10.21638/spbu01.2020.313

17 Полилов А.Н., Татусь Н.А. Технологическая механика композитов, основанная на изучении опыта природы в создании прочных биологических материалов-конструкций // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2021. № 1. С. 59–85. doi: 10.52261/02346206_2021_1_59

18 Берлин А.А. Об усталостной прочности природных материалов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2019. № 7. С. 2–3. doi: 10.31044/1994–6260–2019–0–7–2–3

19 Kosenko E.A., Baurova N.I., Zorin V.A. Mechanical Properties of Carbon Fiber Reinforced Plastics with Various Types of Hybrid Matrices at Negative Temperatures // Russian Metallurgy (Metally). 2021. № 2021(13). P. 1705–1708. doi: 10.1134/S0036029521130103

20 Kosenko E.A., Nelyub V.A. Evaluation of the stress–strain state of a polymer composition material with a hybrid matrix // Polymer Science – Series D. 2022. № 15(2). P. 240–244. doi: 10.1134/S1995421222020137.

References

1 Doriomedov M.S. Russian and world market of polymer composites (review). Proceedings of VIAM. 2020. no. 6-7 (89). pp. 29-37. doi: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-29-37 (in Russian).

2 Kraev I.D., Popkov O.V., Shuldeshov E.M., Sorokin A.E. et al. Prospects for the use of organosilicon elastomers in the development of modern polymer materials and coatings for various purposes. Proceedings of VIAM. 2017. no. 12. pp. 48-62. doi: 10.18577/2307-6046-2017-0-12-5-5

3 Timoshkov P.N., Hrulkov A.V., Yazvenko L.N. Composite materials in automotive industry (review). Proceedings of VIAM. 2017. no.6. pp. 61-68. doi: 10.18577/2307-6046-2017-0-6-7-7 (in Russian).

4 Timoshkov P.N., Khrulkov A.V. Analysis of continuously reinforced polymer composites production methods using out-of-autoclave technologies (review). Proceedings of VIAM. 2017. no. 11. pp. 8. doi: 10.18477/2307–6046–2017–0–11–8–8 (in Russian).

5 Chan Yanyan, Gorodetskiy M.A., Nelyub V.A., Malysheva G.V. Optimization algorithm of technological processes of molding the composites based on epoxy matrix. Technology of metals. 2019. no. 2. pp. 18-22. doi: 10.31044/1684-2499-2019-2-0-18-22 (in Russian).

6 Nelyub V.A., Malysheva G.V. Modern treatment technologies of carbon fibre for ensuring the high strength carbon fibre reinforced plastic production. MATEC Web of Conferences. 2017. vol. 129. pp. 02001. doi: 10.1051/matecconf/201712902001

7 Neluyb V.A., Malysheva G.V., Komarov I.A. New technologies for producing multifunctional reinforced carbon plastics. Materials Science Forum. 2021. vol. 1037. pp. 196–202. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1037.196

8 Nelyub V.A., Komarov I.A. Technology of treatment of carbon fibers under electromagnetic influences of various origins to produce high-strength carbon fiber reinforced plastics. Russian Metallurgy (Metally). 2021. no. 2021(13). pp. 1696–1699. doi: 10.1134/S003602952113019X

9 Gorodetskii M.A., Nelyub V.A., Malysheva G.V., Shaulov A.Y. et al. Technology of forming and the properties of reinforced composites based on an inorganic binder. Russian Metallurgy (Metally). 2018. no 13. pp. 1195–1198. doi: 10.1134/S0036029518130074

10 Nelyub V.A. Technologies of metallization of carbon fabric and the properties of the related carbon fiber reinforced plastics. Russian Metallurgy. 2018. no. 13. pp. 1199–2101. doi: 10.1134/S0036029518130189

11 Maung P.P., Htet T.L., Malysheva G.V. Simulation and optimization of vacuum assisted resin infusion process for large-sized structures made of carbon fiber-reinforced plastic. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. vol. 709. no. 2. pp. 022041. doi: 10.1088/1757–899X/709/2/022041

12 Nelyub V.A., Borodulin A.S., Kobets L.P., Malysheva G.V Thixotropy hysteresis and structure formation in elastomeric suspensions. Inorganic Materials: Applied Research. 2018. no. 9(4). pp. 603–608. doi: 10.1134/S2075113318040238

13 Malysheva G.V., Guzeva T.A. Technological support for decreasing the porosity of polymer composite products. Russian Metallurgy (Metally). 2021. no. 2021(13). pp. 1692–1695. doi: 10.1134/S0036029521130139

14 Oreshko E.I., Erasov V.S., Grinevich D.V., Shershak P.V. Review of criteria of durability of materials. Proceedings of VIAM. 2019. no. 9. pp. 108-126. doi: 10.18577/2307-6046-2019-0-9-108-126. (in Russian).

15 Kiryushina V.V., Kovaleva Yu.Yu., Stepanov P.A., Kovalenko P.V. A study into the scaling factor effects on the strength properties of polymer composite materials.Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika. 2019. no. 1. pp. 97–106. doi: 10.26583/npe.2019.1.09 (in Russian).

16 Arutyunyan A.R. Formulation of the fatigue fracture criterion of composite materials. Vestnik of Saint Petersburg University. Mathematics. Mechanics. Astronomy. 2020. vol. 7 (65). no. 3. pp. 511–517. doi: 10.21638/spbu01.2020.313 (in Russian).

17 Polilov A.N., Tatus N.A. Technological mechanics of composites, based on the study of nature experience in the creation of durable biological materials-structures. Engineering and automation problems. 2021. no. 1. pp. 59–85. doi: 10.52261/02346206_2021_1_59. (in Russian).

18 Berlin A.A. On the fatigue strength of natural materials. All materials. Encyclopedic reference book. 2019. no. 7. pp. 2–3. doi: 10.31044/1994–6260–2019–0–7–2–3 (in Russian).

19 Kosenko E.A., Baurova N.I., Zorin V.A. Mechanical Properties of Carbon Fiber Reinforced Plastics with Various Types of Hybrid Matrices at Negative Temperatures. Russian Metallurgy (Metally). 2021. no. 2021(13). pp. 1705–1708. doi: 10.1134/S0036029521130103

20 Kosenko E.A., Nelyub V.A. Evaluation of the stress–strain state of a polymer composition material with a hybrid matrix. Polymer Science – Series D. 2022. no. 15(2). pp. 240–244. doi: 10.1134/S1995421222020137

Сведения об авторах

Екатерина А. Косенко к.т.н., доцент, кафедра производства и ремонта автомобилей и дорожных машин, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Ленинградский пр-т, 64, г. Москва, 125319, Россия, kosenkokate@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7808-7359

Information about authors

Ekaterina A. Kosenko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, manufacturing and repair of vehicles and road-construction machines, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Leningradsky prospect, 64 Moscow, 125319, Russia, kosenkokate@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7808-7359

Вклад авторов

Екатерина А. Косенко написала рукопись, корректировала ее до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Ekaterina A. Kosenko wrote the manuscript, correct it before filling 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 18/04/2022	**После редакции** 10/05/2022	**Принята в печать** 02/06/2022

Received 18/04/2022	**Accepted in revised** 10/05/2022	**Accepted** 02/06/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-269-275 Оригинальная статья/Research article
УДК 625.746.533.85 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Модификация минерального наполнителя органосиланами в полимерной композиции для дорожной разметки

Виктор В. Талалай [1] talalay@bk.ru 0000-0002-8322-9147
Наталья В. Борисова [2] bnvktn2020@ya.ru 0000-0001-8827-9381
Александр А. Артеменко [2] artemenko_58@mail.ru 0000-0002-9443-4154
Юрий Э. Васильев [1] 89037500377@ya.ru 0000-0002-8506-5027

1 Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, пр-т Ленинградский, 64, г. Москва, 125319, Россия
2 Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., пл. Свободы,17, г. Энгельс, Саратовской обл., 413111, Россия

Аннотация. В настоящее время перспективно применение полимерных композиционных материалов для дорожной разметки, в частности термопластов на основе нефтеполимерных смол. Эффективность применения таких дорожно-разметочных материалов и срок их службы, в основном, зависят от рецептур термопластичных композиций для разметки и технологий их получения. Целью данной работы являлась оценка адгезионного взаимодействия, модифицированного органосиланами микродоломита и термопластичной нефтеполимерной смолы для придания повышенных эксплуатационных свойств дорожной разметочной композиции. Для повышения адгезионного сродства в системе полимер:наполнитель предложено провести модификацию микродоломита органосиланом марки АГМ-9, который содержит в составе бифункциональной молекулы гидролизуемую кремний-функциональную группу и негидролизуемую органофункциональную группу, что обеспечивает придание неорганической поверхности наполнителя органофункциональных свойств. Для создания разметочных термопластов с длительным сроком эксплуатации в данной работе было предложено использовать комбинированное сочетание модифицированного и немодифицированного микродоломита. Установлено, что сочетание модифицированного и немодифицированного микродоломита в пределах 10–15:85–90 приводит к увеличению прочности до 7 МПа, что выше допустимого значения не менее 5 МПа, при этом сохраняется способность к деформации растяжения и относительное удлинение при разрыве снижается от 5 до 3 %, что также выше допустимого не менее 3 %. Разработанный композиционный разметочный материал на основе отечественной нефтеполимерной смолы и комбинированного наполнителя марки МД40 с сочетанием модифицированного и немодифицированного микродоломита в соотношении 12,5:87,5 обладает оптимальными характеристиками «прочность–эластичность», соответствующими требованиям, предъявляемым к материалам дорожной разметки и длительной устойчивостью к истиранию до 4-ех тысяч циклов.

Ключевые слова: дорожная разметка, нефтеполимерная смола, модифицированный микродоломит, органосиланы, адгезия, долговечность, эксплуатационные характеристики.

Modification of mineral filler with organosilanes in a polymer composition for road marking

Victor V. Talalai [1] talalay@bk.ru 0000-0002-8322-9147
Natalia V. Borisova [2] bnvktn2020@ya.ru 0000-0001-8827-9381
Alexander A. Artemenko [2] artemenko_58@mail.ru 0000-0002-9443-4154
Yuri E. Vasiliev [1] 89037500377@ya.ru 0000-0002-8506-5027

1 Moscow Automobile and Road State Technical University, 64 Leningradsky Ave., Moscow, 125319, Russia
2 Engels Technological Institute of Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Svobody Square, 17, Engels, Saratov region, 413111, Russia

Abstract. Currently, the use of polymer composite materials for road markings, in particular thermoplastics based on petroleum polymer resins, is promising. The effectiveness of the use of such road marking materials and their service life mainly depend on the formulations of thermoplastic compositions for marking and technologies for their production. The purpose of this work was to evaluate the adhesive interaction of microdolomite modified by organosilanes and thermoplastic petroleum polymer resin to impart increased operational properties of the road marking composition. To increase the adhesive affinity in the polymer system:filler it is proposed to modify the microdolomite with organosilane of the AGM-9 brand, which contains a hydrolyzable silicon-functional group and a non-hydrolyzable organofunctional group in the composition of the bifunctional molecule, which provides organofunctional properties to the inorganic surface of the filler. To create marking thermoplastics with a long service life in this work, it was proposed to use a combined combination of modified and unmodified microdolomite. It was discovered that the mixture of modified and unmodified microdolomite in the range of 10-15:85-90 leads to an increase in strength up to 7 MPa, which is higher than the permissible value of at least 5 MPa, while the ability to strain stretching and elongation at break decreases from 5 to 3%, which is also higher than the permissible value of at least 3%. The developed composite marking material based on domestic petroleum polymer resin and a combined filler of the MD40 brand with a combination of modified and unmodified microdolomite in a ratio of 12.5:87.5 has optimal strength-elasticity characteristics that meet the requirements for road marking materials and long-term abrasion resistance of up to 4 thousand cycles.

Keywords: road markings, petroleum polymer resin, modified microdolomite, organosilanes, adhesion, durability, performance characteristics.

Для цитирования
Талалай В.В., Борисова Н.В., Артеменко А.А., Васильев Ю.Э. Модификация минерального наполнителя органосиланами в полимерной композиции для дорожной разметки // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 269–275. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-269-275

For citation
Talalai V.V., Borisova N.V., Artemenko A.A., Vasiliev Yu.E Modification of mineral filler with organosilanes in a polymer composition for road marking. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 269–275. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-269-275

© 2022, Талалай В.В. и др. / Talalai V.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 полимерные композиционные материалы находят практическое применение во всех отраслях народного хозяйства. Такая популярность ПКМ обусловлена не только уникальным комплексом свойств, но и возможностью его направленного регулирования, которое может быть решено путем модификации как наполнителя, так и матрицы [1–4].

Применение полимерных композиционных материалов для дорожной разметки уже давно освоенное в Европе, а в последнее время добралось и до России. Использование для этих целей композиционных материалов на основе термопластов обеспечивает повышение срока службы дорожной разметки в 5–10 раз в сравнении с традиционными лакокрасочными покрытиями [5–12].

Эффективность применения дорожно-разметочных материалов и срок их службы, в основном, зависят от рецептур термопластичных композиций для разметки и технологий их получения [11–15].

Цель работы – оценка адгезионного взаимодействия, модифицированного органосиланами микродоломита и термопластичной нефтеполимерной смолы для придания повышенных эксплуатационных свойств дорожной разметочной композиции.

Материалы и методы

Объектами исследования служили модельные композиции на основе нефтеполимерных смол (НПС) разных марок и производителей: НПС-1 марки UCRP1004L производитель Китай; НПС-2 марки С5100 производитель Россия; НПС-3 марки UCRP100L производитель Корея. Кроме связующего в состав композиции включали наполнитель немодифицированный и модифицированный органосиланами марки АГМ-9 в различном соотношении, а также функциональные добавки (таблица 1).

Деформационно-прочностные свойства полимерных композиционных разметочных материалов испытывали согласно стандартизованных методик [16–19].

Долговечность исследуемых разметочных композиций изучали на полигоне, предназначенном для испытания дорожных материалов на многократное воздействие колеса, называемый «Карусель-2». Параметры испытания: скорость вращения колеса 90 км/ч, количество циклов – 1–4 тыс. [16–20].

Результаты

Ранее в работах [16–18] было установлено, что введение в композицию, предназначенную для дорожной разметки, дисперсного минерального наполнителя – микродоломита марки МД 40 в количестве 60% масс. ч. является перспективным, так как именно при такой степени наполнения достигаются максимальные значения прочности при межслоевом сдвиге.

В данной работе изучена возможность модификации микродоломита (МД), применяемого в качестве наполнителя в разметочной композиции на основе нефтеполимерных смол. Для повышения адгезионного сродства в системе полимер: наполнитель, предложено провести модификация МД органосиланом марки АГМ-9, который содержит в составе бифункциональной молекулы гидролизуемую кремний-функциональную группу и негидролизуемую органофункциональную группу, что обеспечивает придание неорганической поверхности наполнителя органофункциональных свойств (рисунок 1).

Как видно из приведенных данных, после обработки силаном на результирующем ИК-спектре (кривая МД + АГМ-9) появляются пики, соответствующие валентным колебаниям силоксановой связи Si-O-Si (1103 $см^{1}$) и групп алифатического эфира С-О-С и исчезают пики, характерные для колебаний гидроксильных ОН-групп (1452 $см^{1}$), что позволяет предположить адсорбционное взаимодействие микродоломита с органосиланом.

Предполагаемая схема физико-химического взаимодействия наполнителя с модификатором представлена на рисунке 2.

В результате при введении модифицированного наполнителя (МД + АГМ-9) в состав нефтеполимерного связующего в композиции появляются NH_2-группы и создаются условия для взаимодействия модифицированного МД с макромолекулами НПС (рисунок 3).

Подтверждением предполагаемого на основе данных ИК-спектроскопии взаимодействия в системе нефтеполимерная смола и модифицированный ораганосиланом микродоломит является изменение деформационно-прочностных свойств получаемого композита (рисунок 4).

В результате модификации наполнителя органосиланами формируется термопластичный композиционный материал, для которого характерно повышение прочности при межслоевом сдвиге до 7–8 МПа при снижении относительного удлинения при деформации растяжения до 5–10%, что не соответствует эксплуатационным требованиям.

В связи с этим для создания разметочных термопластов с длительным сроком эксплуатации в данной работе было предложено использовать комбинированное сочетание модифицированного и немодифицированного микродоломита. Содержание $МД_{модиф}$ в комбинированном наполнителе для дорожных разметочных композиций варьировали от 0 до 25% (рисунок 5). Установлено,

что сочетание модифицированного и немодифицированного микродоломита в пределах 10–15:85–90 приводит к увеличению прочности до 7 МПа, что выше допустимого значения не менее 5 МПа, при этом сохраняется способность к деформации растяжения (относительное удлинение должно быть не менее 3%) [16–18]. Оценку устойчивости исследуемых композиций дорожного разметочного материала к истиранию автомобильными шинами с разными видами протекторов, в том числе шипованными проводили по внешнему виду. Установлено, что после 1000 циклов наблюдали снижение скорости износа для составов № 1 и № 2. Дальнейшее увеличение износа до 4000 циклов с сохранением внешнего вида выдержала разметочная композиция составом № 2.

Разработанный многокомпонентный полимерный материал на основе термопласта для дорожной разметки составом № 2 на основе НПС отечественного производителя и комбинированного наполнителя с сочетанием модифицированного и немодифицированного микродоломита в соотношении 12,5:87,5 отличается долговечностью и повышенными эксплуатационными характеристиками, отвечающие требованиям, предъявляемым к дорожно-разметочным материалам [16–20].

Таблица 1.

Модельный состав разметочной композиции на основе нефтеполимерных смол и микродоломита

Table 1.

Model composition of the marking composition based on petroleum polymer resins and micro-dolomite

Компонент Component	Содержание компонента,%$_{масс}$ | Component content,% by weight		
	состав 1 composition 1	состав 2 composition 2	состав 3| composition 3
Связующее – нефтеполимерная смола Binder – petroleum polymer resin	НПС-1 | NPC-1 20,0	НПС-2 | NPC-2 20,0	НПС-3 | NPC-3 20,0
Наполнитель – микродоломит марки МД40 Filler – microdolomite of the MD40 brand	60,0	60,0	60,0
МД$_{модиф}$: МД$_{немодиф}$ | MD$_{modif}$: MD$_{unmodif}$	10:90	12,5:87,5	15:85
Пластификатор – масло индустриальное Plasticizer – industrial oil	4,0	4,0	4,0
Адгезив – этиленвинилацетат | Adhesive – ethylene vinyl acetate	2,0	2,0	2,0
Адгезив – термопластичный эластомер «стирол–изопрен–стирол» Adhesive – thermoplastic elastomer "styrene–isoprene–styrene"	2,0	2,0	2,0
Добавка контроля пенообразования и липкости – воск марки ПВ-200 Foaming control additive and stickiness – PV-200 brand wax	2,0	2,0	2,0
Пигмент – диоксид титана | Pigment – titanium dioxide	5	5	5
Светоотражающая добавка – стекломикрошарики Reflective additive – glass microbeads	5	5	5

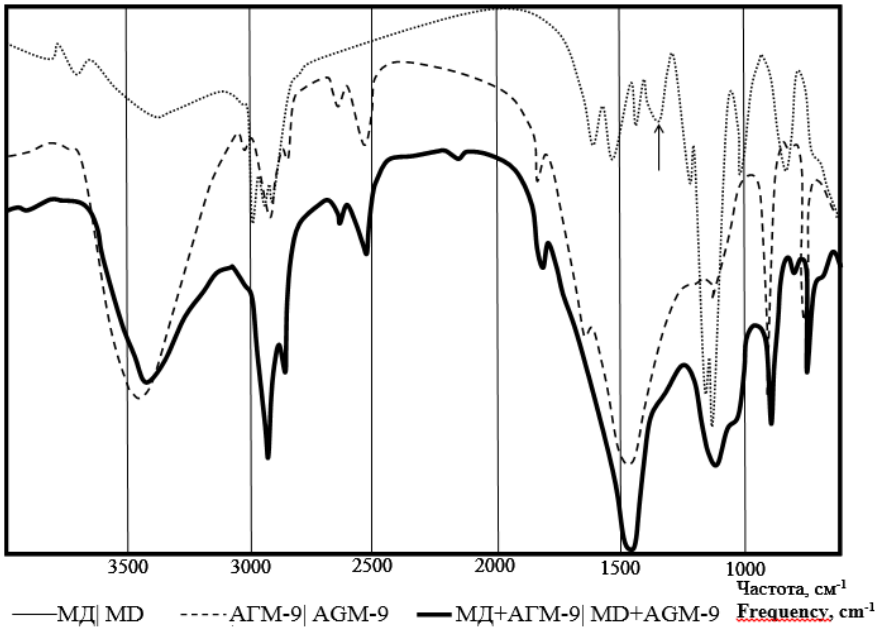


Рисунок 1. Спектрограмма поверхности модифицированного силаном наполнителя

Figure 1. Spectrogram of the silane modified filler surface

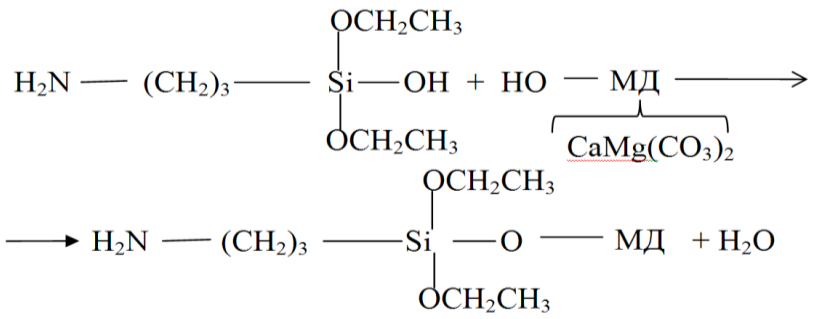


Рисунок 2. Схема взаимодействия органосилана с наполнителем

Figure 2. Scheme of interaction of organosilane with filler

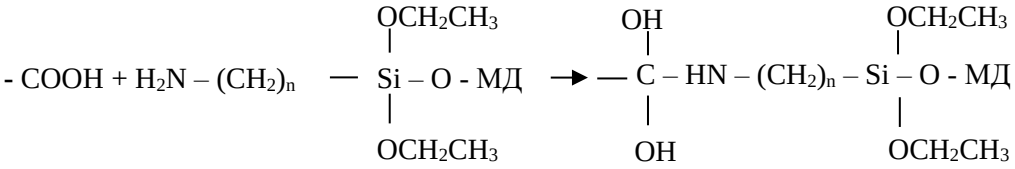
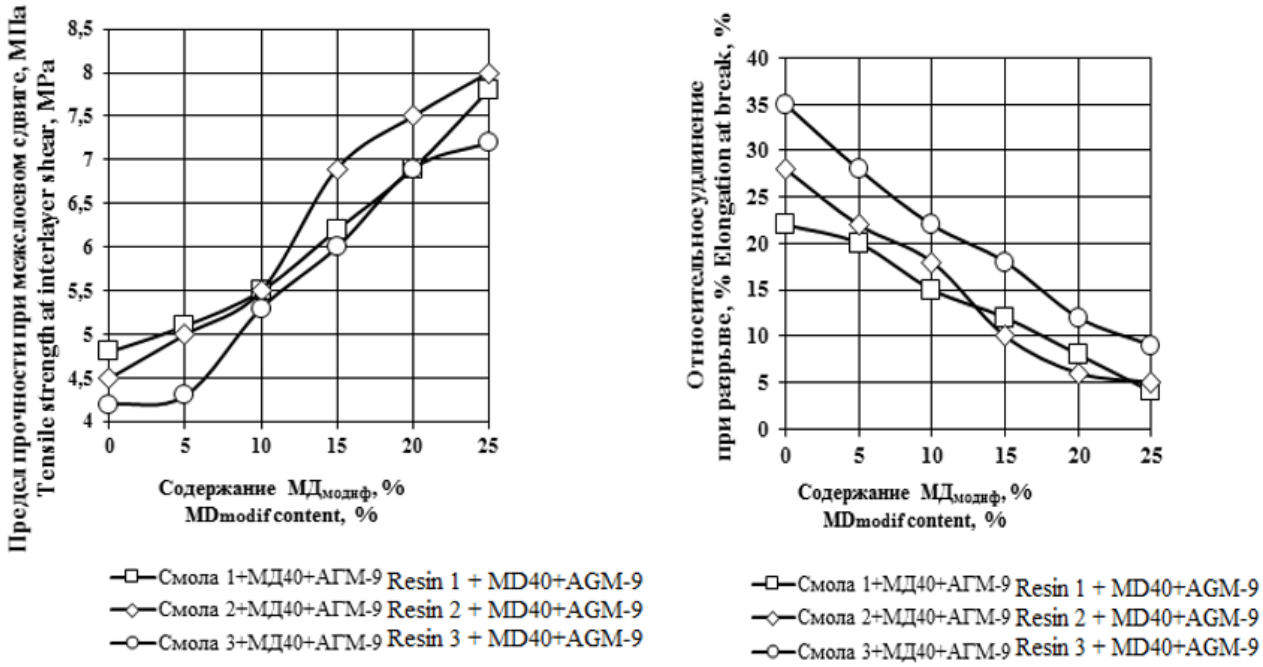


Рисунок 3. Схема взаимодействия аппретированного наполнителя с нефтеполимерной смолой

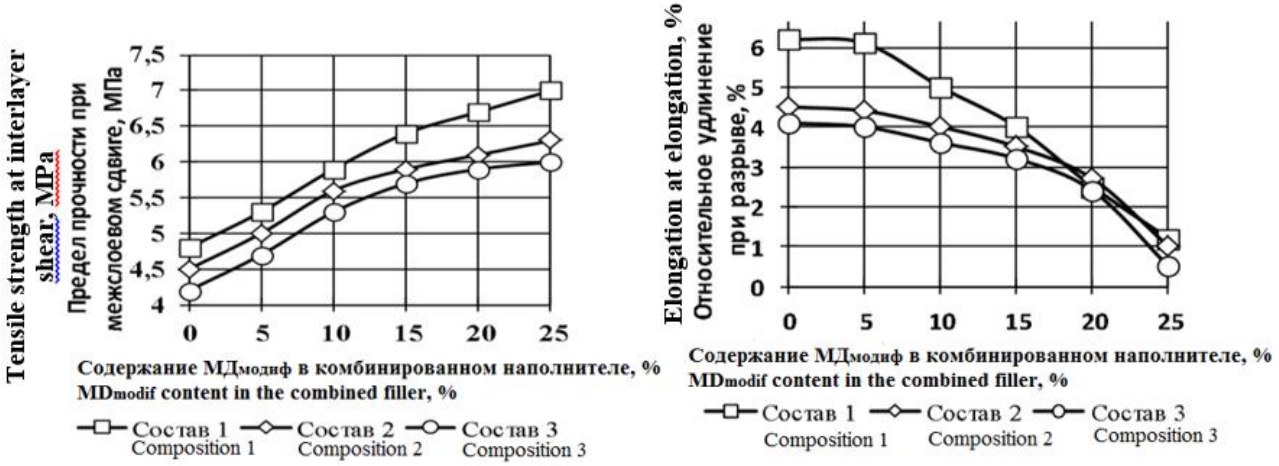
Figure 3. Scheme of interaction of the approved filler with an oil polymer resin



(a) (b)

Рисунок 4. Зависимость деформационно-прочностных свойств: (a) – прочность при сдвиге; (b) – относительное удлинение от содержания модифицированного микродоломита и нефтеполимерной смолы разных марок

Figure 4. Dependence of deformation and strength properties: (a) – shear strength; (b) – elongation from the content of modified microdolomite and petroleum polymer resin of different brands



(a) (b)

Рисунок 5. Зависимость деформационно-прочностных свойств: а – прочность при межслоевом сдвиге; б – относительное удлинение с комбинированным сочетанием модифицированного и немодифицированного микродоломита

Figure 5. Dependence of deformation and strength properties: a – strength at shear stress; b – elongation with a combined combination of modified and unmodified microdolomite

Заключение

Разработанный композиционный разметочный материал на основе отечественной нефтеполимерной смолы и комбинированного наполнителя марки МД40 с сочетанием модифицированного и немодифицированного микродоломита в соотношении 12,5:87,5 обладает оптимальными характеристиками «прочность–эластичность», соответствующими требованиям, предъявляемым к материалам дорожной разметки и длительной устойчивостью к истиранию до 4000 циклов.

Литература

1 Yakovlev N.A., Yakovlev N., Gorshkov N.V., Yudintseva T. et al. Enhancement of mechanical and electrical properties of epoxy based composites filled with intact or oxidized carbon nanotubes // Composites: Mechanics, Computations, Applications. 2019. V. 10. № 3. P. 241–251. doi: 10.1615/CompMechComputApplIntJ.2018027488

2 Раскутин А.Е. Стратегия развития полимерных композиционных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2017. С. 344–348.

3 Baillie C., Jayasinghe R. Green Composites: Waste and Nature-based Materials for a Sustainable Future. Woodhead Publishing, 2017. 220 p.

4 Ткачук А.И., Гребенева Т.А., Чурсова Л.В., Панина Н.Н. Термопластичные связующие. Настоящее и будущее // Труды ВИАМ. 2013. № 11. С. 7.

5 Свежинский В.Н. Дорожная разметка – некоторые итоги 2015 // Автомобильные дороги. 2016. № 4. С. 50–53.

6 Свежинский В.Н., Калядин Э.Н. Дорожная разметка 2017. Проблемы, тенденции, события // Про Движение. 2017. № 3 (10). С. 28–33.

7 Soilán M., Riveiro B., Martínez-Sánchez J., Arias P. Segmentation and classification of road markings using MLS data // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2017. V. 123. P. 94-103. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2016.11.011

8 Wei C., Li S., Wu K., Zhang Z. et al. Damage inspection for road markings based on images with hierarchical semantic segmentation strategy and dynamic homography estimation // Automation in Construction. 2021. V. 131. P. 103876. doi: 10.1016/j.autcon.2021.103876

9 Vasiliev Y., Talalay V., Kochetkov A., Surnina E. et al. Structural features of thermoplastic marking material with dispersed filler // Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport. 2019. P. 698-707. doi: 10.1007/978-3-030-57453-6_66

10 Burghardt T.E. and Pashkevich A. Green Public Procurement criteria for road marking materials from insiders' perspective // Journal of Cleaner Production. 2021. P.126521. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126521

11 Dormidontova T.V., Filatova A.V. Research of influence of quality of materials on a road marking of highways // Procedia Engineering. 2016. V. 153. P. 933–937. doi: 10.1016/j.proeng.2016.08.256

12 Caves-Campos A., Banón L., Covers-Garcia J.A., Ivory S. In situ study of road marking durability using glass microbeads and anti skid aggregates as drop-on materials // Coatings. 2018. V. 8. №. 10. P. 371. doi: 10.3390/coatings8100371

13 Bi Y., Pei J., Chen Z., Zhang L. et al. Preparation and characterization of luminescent road-marking paint // International Journal of Pavement Research and Technology. 2021. V. 14. №. 2. P. 252-258. doi: 10.1007/s42947-020-0229-3

14 Burghardt T.E., Pashkevich A. Emissions of volatile organic compounds from road marking paints // Atmospheric Environment. 2018. V. 193. P. 153-157. doi: 10.1016/j.atmosenv.2018.08.065

15 Юшков Б.С., Бургонутдинов А.М., Юшков В.С. Исследование долговечности дорожной горизонтальной разметки в климатических условиях Урала // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы I Междунар. науч. конф. Санкт-Петербург: Реноме, 2011. С. 208–212. URL: https://moluch.ru/conf/tech/archive/2/64/

16 Талалай В.В., Талалай В.В., Котлярский Э.В., Васильев Ю.Э. О механизме взаимодействия микродоломитового наполнителя и нефтеполимерной смолы в материалах для дорожной разметки // Дороги и мосты. 2017. № 38. С. 340–359.

17 Возный С.И., Евтеева С.М., Талалай В.В., Кочетков А.В. Технология производства термопластиков для дорожной разметки // Пластические массы. 2014. № 9–10. С. 45–49.

18 Talalay V.V., Talalay V.V., Kochetkov A.V., Surnina E.K. et al. Structural Features of Thermoplastic Marking Material with Dispersed Filler // Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport. Springer, Cham, 2019. P. 698-707. doi: 10.1007/978-3-030-57453-6_66

19 ГОСТ Р ГОСТ Р 51256–2018. Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Классификация. Технические требования. М.: Изд-во стандартов, 2018. 26 с.

20 Размарица Д.С. Световые характеристики дорожной разметки как один из методов нестандартных технических средств организации дорожного движения // Молодой ученый. 2016. № 13 (117). С. 202–204. URL: https://moluch.ru/archive/117/32171/

References

1 Yakovlev N.A., Yakovlev N., Gorshkov N.V., Yudintseva T. et al. Enhancement of mechanical and electrical properties of epoxy based composites filled with intact or oxidized carbon nanotubes. Composites: Mechanics, Computations, Applications. 2019. vol. 10. no. 3. pp. 241–251. doi: 10.1615/CompMechComputApplIntJ.2018027488

2 Raskutin A.E. Strategy for the development of polymer composite materials. Aviation materials and technologies. 2017. pp. 344–348. (in Russian).

3 Baillie C., Jayasinghe R. Green Composites: Waste and Nature-based Materials for a Sustainable Future. Woodhead Publishing, 2017. 220 p.

4 Tkachuk A.I., Grebeneva T.A., Chursova L.V., Panina N.N. thermoplastic binders. Present and future. Proceedings of VIAM. 2013. no. 11. pp. 7. (in Russian).

5 Svezhinsky V.N. Road markings - some results of 2015. Automobile roads. 2016. no. 4. pp. 50–53. (in Russian).

6 . Svezhinsky V.N., Kalyadin E.N. Road markings 2017. Problems, trends, events. Pro Movement. 2017. no. 3 (10). pp. 28–33. (in Russian).

7 Soilán M., Riveiro B., Martínez-Sánchez J., Arias P. Segmentation and classification of road markings using MLS data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2017. vol. 123. pp. 94-103. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2016.11.011

8 Wei C., Li S., Wu K., Zhang Z. et al. Damage inspection for road markings based on images with hierarchical semantic segmentation strategy and dynamic homography estimation. Automation in Construction. 2021. vol. 131. pp. 103876. doi: 10.1016/j.autcon.2021.103876

9 Vasiliev Y., Talalay V., Kochetkov A., Surnina E. et al. Structural features of thermoplastic marking material with dispersed filler. Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport. 2019. pp. 698-707. doi: 10.1007/978-3-030-57453-6_66

10 Burghardt T.E. and Pashkevich A. Green Public Procurement criteria for road marking materials from insiders' perspective. Journal of Cleaner Production. 2021. pp. 126521. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126521

11 Dormidontova T.V., Filatova A.V. Research of influence of quality of materials on a road marking of highways. Procedia Engineering. 2016. vol. 153. pp. 933–937. doi: 10.1016/j.proeng.2016.08.256

12 Caves-Campos A., Banón L., Covers-Garcia J.A., Ivory S. In situ study of road marking durability using glass microbeads and anti skid aggregates as drop-on materials. Coatings. 2018. vol. 8. no. 10. pp. 371. doi: 10.3390/coatings8100371

13 Bi Y., Pei J., Chen Z., Zhang L. et al. Preparation and characterization of luminescent road-marking paint. International Journal of Pavement Research and Technology. 2021. vol. 14. no. 2. pp. 252-258. doi: 10.1007/s42947-020-0229-3

14 Burghardt T.E., Pashkevich A. Emissions of volatile organic compounds from road marking paints. Atmospheric Environment. 2018. vol. 193. pp. 153-157. doi: 10.1016/j.atmosenv.2018.08.065

15 Yushkov B.S., Burgonutdinov A.M., Yushkov V.S. Investigation of the durability of road horizontal markings in the climatic conditions of the Urals. Technical sciences: problems and prospects: materials of the I Intern. scientific conf. St. Petersburg, Renome, 2011. pp. 208–212. Available at: https://moluch.ru/conf/tech/archive/2/64/ (in Russian).

16 Talalay V.V., Talalay V.V., Kotlyarsky E.V., Vasiliev Yu.E. On the mechanism of interaction of microdolomite filler and petroleum polymer resin in materials for road marking. Roads and bridges. 2017. no. 38. pp. 340–359. (in Russian).

17 Vozny S.I., Evteeva S.M., Talalay V.V., Kochetkov A.V. Technology for the production of thermoplastics for road marking. Plastic masses. 2014. no. 9–10. pp. 45–49. (in Russian).

18 Talalay V.V., Talalay V.V., Kochetkov A.V., Surnina E.K. et al. Structural Features of Thermoplastic Marking Material with Dispersed Filler. Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport. Springer, Cham, 2019. pp. 698-707. doi: 10.1007/978-3-030-57453-6_66

19 GOST R GOST R 51256–2018. Technical means of organizing traffic. Road marking. Classification. Technical requirements. Mosow, Publishing house of standards, 2018. 26 p. (in Russian).

20 Razmaritsa D.S. Light characteristics of road markings as one of the methods of non-standard technical means of organizing traffic. Young scientist. 2016. no. 13 (117). pp. 202–204. Available at: https://moluch.ru/archive/117/32171/ (in Russian).

Сведения об авторах

Виктор В. Талалай аспирант, кафедра дорожно-строительных материалов, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, пр-т Ленинградский, 64, г. Москва, 125319, Россия, talalay@bk.ru
https://orcid.org/0000-0002-8322-9147

Наталья В. Борисова к.т.н., доцент, кафедра технологий и оборудования химических, нефтегазовых и пищевых производств, Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., пл. Свободы,17, г. Энгельс, 413111, Россия, bnvktn2020@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-8827-9381

Александр А. Артеменко д.т.н., профессор, кафедра оборудования и технологий обработки материалов, Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., пл. Свободы,17, г. Энгельс, 413111, Россия, artemenko_58@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9443-4154

Юрий Э. Васильев д.т.н., профессор, кафедра дорожно-строительных материалов, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, пр-т Ленинградский, 64, г. Москва, 125319, Россия, 89037500377@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-8506-5027

Information about authors

Victor V. Talalai graduate student, road building materials department, Moscow Automobile and Highway State Technical University, 64 Leningradsky Ave., Moscow, 125319, Russia, talalay@bk.ru
https://orcid.org/0000-0002-8322-9147

Natalia V. Borisova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technologies and equipment for chemical, oil and gas and food industries department, Engels Institute of Technology (branch) Yu.A. Gagarin Saratov State Technical University, sq. Svobody, 17, Engels, 413111, Russia,, bnvktn2020@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-8827-9381

Alexander A. Artemenko Dr. Sci. (Engin.), professor, equipment and materials processing technologies department, Engels Institute of Technology (branch) Yu.A. Gagarin Saratov State Technical University, sq. Svobody, 17, Engels, 413111, Russia, artemenko_58@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9443-4154

Yuri E. Vasiliev Dr. Sci. (Engin.), professor, road building materials department, Moscow Automobile and Highway State Technical University, 64 Leningradsky Ave., Moscow, 125319, Russia, 89037500377@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-8506-5027

Вклад авторов

Виктор В. Талалай предложил методику проведения эксперимента

Наталья В. Борисова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты
Александр А. Артеменко консультация в ходе исследования
Юрий Э. Васильев написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Contribution

Victor V. Talalai proposed a scheme of the experiment and organized production trials
Natalia V. Borisova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Alexander A. Artemenko consultation during the study
Yuri E. Vasiliev 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 06/04/2022	**После редакции** 29/04/2022	**Принята в печать** 01/06/2022

Received 06/04/2022	**Accepted in revised** 29/04/2022	**Accepted** 01/06/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-276-281 Оригинальная статья/Research article
УДК 678.76 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Использование модифицированного «неодимового» полибутадиена в рецептуре обкладки конвейерных лент

Татьяна А. Ярцева [1] yrceva@bk.ru 0000-0001-8175-6210
Ольга В. Карманова [1] karolga@mail.ru 0000-0002-2360-5892
Наталья А. Михалева [2] n.mikhaleva@orgkhim.com
Алексей В. Ткачев [3] tkachevalv@vsk.sibur.ru 0000-0002-6912-4947

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 Обособленное подразделение ООО ПСК «БИОСИНТЕЗ», Ленинский пр-т, д.2, оф.1, г. Воронеж, 394014, Россия
3 АО «Воронежсинтезкаучук», Ленинский пр-т, д.2, г. Воронеж, 394014, Россия

Аннотация. В настоящее время в рецептурах конвейерных лент для улучшения прочностных показателей и износостойкости резин используют бутадиеновый каучук в дозировке до 50 масс. ч. Представлены результаты исследования свойств обкладочных резиновых смесей и резин на основе комбинации полиизопрена, бутадиен-стирольного сополимера и полибутадиена, применяемых для изготовления конвейерных лент. Предложено использование в рецептуре обкладки конвейерных лент модифицированного «неодимового» полибутадиена (СКД-НД-М), при получении которого в качестве модификатора использовали полифункциональное гетероциклическое соединение. Образец отличался повышенным содержанием 1,4-цис звеньев, узким ММР и вязкостью по Муни на уровне каучуков, полученных без модификатора. В качестве образцов сравнения использовали серийные марки каучуков, полученных на разных каталитических системах: титановой (СКД) и неодимовой (СКД-НД). Отмечено существенное снижение энергозатрат при изготовлении резиновых смесей на основе модифицированного каучука по сравнении с резиновой смесью на основе СКД. Установлено, что применение СКД-НД-М вместо СКД позволило достигнуть улучшения технологических свойств резиновых смесей и их вулканизационных характеристик, обеспечить требуемый уровень физико-механических свойств вулканизатов и эксплуатационных показателей обкладочных резин. Отмечено улучшение сопротивления раздиру резин, а также остаточной деформации при сжатии, оцененной при 100°С и 125°С, при использовании в рецептуре обкладочной резины вместо каучука «титанового» каучука, модифицированного «неодимового» полибутадиена. Замена СКД-НД на модифицированный аналог обеспечила снижение показателя истирания обкладки конвейерной ленты, что положительно скажется на увеличении срока службы изделий на его основе.

Ключевые слова: бутадиеновый каучук, модифицированный цис -1,4 полибутадиен, конвейерная лента.

The use of modified "neodymium" polybutadiene in the formulation of the outer lining of conveyor belts

Tatiana A. Yartseva [1] yrceva@bk.ru 0000-0001-8175-6210
Olga V. Karmanova [1] karolga@mail.ru 0000-0002-2360-5892
Natalia A. Mikhaleva [2] n.mikhaleva@orgkhim.com
Alexey V. Tkachev [3] tkachevalv@vsk.sibur.ru 0000-0002-6912-4947

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
2 BIOSINTEZ Production and Service Company OOO, 2, Leninsky Av., Voronezh, 394014, Russia
3 JSC "Voronezhsintezkauchuk", Leninsky pr-t, 2, Voronezh, 394014, Russia

Abstract. Currently, in the formulations of conveyor belts, polybutadiene rubber used with a content of up to 50 mass parts to improve the strength and wear resistance of rubbers. The results of a study of the properties of covering rubber compounds and rubbers based on a combination of polyisoprene, styrene-butadiene copolymer and polybutadiene used for the manufacture of conveyor belts were presented. The use of modified "neodymium" polybutadiene (SKD-ND-M), in the preparation of which a polyfunctional heterocyclic compound was used as a modifier, was proposed in the formulation of the lining of conveyor belts. This sample was characterized by an increased content of 1,4-cis units, a narrow MWD and a Mooney viscosity at the level of rubbers obtained without a modifier. We used serial brands of rubbers obtained on different catalytic systems: titanium (SKD) and neodymium (SKD-ND) as reference samples. A significant reduction in energy consumption in the manufacture of rubber compounds based on modified rubber in comparison with the rubber compound based on SKD was noted. It has been established that the use of SKD-ND-M instead of SKD made it possible to achieve an improvement in the technological properties of rubber compounds and their vulcanization characteristics, to ensure the required level of physical and mechanical properties of vulcanizates and performance indicators of lining rubbers. An improvement in the tear resistance of rubbers, as well as in compression set at 100°C and 125°C, when using modified "neodymium" polybutadiene in the lining rubber formulation instead of SKD rubber, was revealed. Replacing SKD-ND with a modified analogue provided a reduction in the abrasion rate of the conveyor belt lining, which will positively affect the increase in the service life of products based on it.

Keywords: butadiene rubber, modified cis -1,4 polybutadiene, conveyor belt

Для цитирования
Ярцева Т.А., Карманова О.В., Михалева Н.А., Ткачев А.В. Использование модифицированного «неодимового» полибутадиена в рецептуре обкладки конвейерных лент // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 85. № 2. С. 276–281. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-276-281

For citation
Yartseva T.A., Karmanova O.V., Mikhaleva N.A., Tkachev A.V. The use of modified "neodymium" polybutadiene in the formulation of the outer lining of conveyor belts. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 85. no. 2. pp. 276–281. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-276-281

© 2022, Ярцева Т.А. и др. / Yartseva T.A. 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 ужесточением требований к эксплуатационным характеристикам резинотехнических изделий, работающих в сложных условиях особую актуальность, приобретают исследования, направленные на совершенствование конструкции изделий, материалов и технологии их изготовления. К таким изделиям относится конвейерная лента, являющаяся гибким элементом транспортирующей установки, передающей тяговые усилия от приводного барабана и несущей транспортируемый груз [1]. Это основная часть ленточного конвейера, поскольку обычно стоимость конвейерной ленты и ее ремонта за полный срок эксплуатации конвейера в несколько раз выше стоимости механического оборудования и его монтажа: до 50 % капитальных и до 30 % эксплуатационных расходов при строительстве и обслуживании конвейерной установки приходится на стоимость и эксплуатацию конвейерной ленты [2]. Ленты используют для транспортировки руд черных и цветных металлов, крепких горных пород кусками, известняка и других абразивных материалов, поэтому они должны иметь высокую прочность при растяжении, обеспечивающую передачу тягового усилия с учетом коэффициента запаса прочности; низкое удлинение при рабочей нагрузке, что обеспечивает минимальный ход натяжных устройств конвейера и снижение числа перестыковок ленты в процессе эксплуатации. Кроме того, они должны иметь стойкость к ударным нагрузкам, износу обкладки, продольным порывам и порезам, расслоению, распространению разрушения после частичного повреждения, сохранение прочностных и эксплуатационных характеристик в процессе эксплуатации [3].

В рецептурах обкладки конвейерных лент, особенно эксплуатирующихся при пониженных температурах, для улучшения прочностных показателей, износостойкости и морозостойкости резин используют бутадиеновый каучук в дозировке до 50 масс. ч. [4]. В настоящее время проводятся работы по созданию новых марок бутадиеновых и бутадиен-стирольных каучуков, полученных с применением разветвляющих или функционализирующих агентов [5-7], которые характеризуются узким молекулярно-массовым распределением и обеспечивают улучшение эксплуатационных свойств резин на их основе. Как известно, улучшению упруго-прочностных свойств резин способствует снижение коэффициента полидисперсности каучука, увеличение стерео- регулярности его микроструктуры [8], при этом, как правило, повышаются износостойкость и долговечность резин [9]. Однако при переработке таких каучуков как правило, возникает ряд проблем, связанных с корректировкой рецептуры резиновых смесей и режимов их изготовления, что может привести к повышению энергозатрат на переработку, усложнению и удорожанию рецептуры резиновой смеси, что требует дополнительного обоснования целесообразности применения таких каучуков. В этой связи исследование возможности и целесообразности применения модифицированных бутадиеновых каучуков в рецептуре конвейерных лент является актуальной задачей.

Целью работы явилось исследование свойств резиновых смесей и резин, полученных по рецептуре износостойкой обкладки конвейерных лент на основе различных бутадиеновых каучуков.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись резиновые смеси предназначенные для изготовления обкладки конвейерных лент, полученные на основе тройной комбинации каучуков: изопреновый, бутадиен-стирольный, бутадиеновый в соотношении 33:34:33, соответственно. В работе использовали следующие бутадиеновые каучуки:

- СКД-Ti - синтезированный на титановой каталитической системе: содержание 1,4-*цис* - звеньев - 92,2 % масс.; вязкость по Муни (ML(1+4) 100°C) - 45,2 ед. , полидисперсность (Mw\Mn) - 2,6;
- СКД-НД - синтезированный на неодимовой каталитической системе: содержание 1,4-*цис*-звеньев - 96,5 % масс., вязкостью по Муни - 45,3 усл ед., полидиспесрность - 2,6;
- модифицированный «неодимовый» каучук шифра СКД-НД-М, при получении которого в качестве модификатора использовали полифункциональное гетероциклическое соединение. Образец отличался повышенным содержанием 1,4-*цис*-звеньев - 98,4 % масс. и низкой полидисперсностью - 2,3. Вязкость по Муни модифицированного образца - 44,5 усл. ед., то есть близка к показателю каучуков СКД-НД и СКД-Ti.

Таким образом исследовали три типа образцов: серийный на основе СКД-Ti и два опытных на основе СКД-НД и СКД-НД-М.

Резиновые смеси получены в резиносмесителе Intermix 1.5 по рецептуре, представленной в таблице 1 по двух-стадийному режиму смешения. На первой стадии температура загрузки ингредиентов составляла 65°C, температура выгрузки 155±5°C, на второй стадии начальная температура составляла 45°C, температура выгрузки 105±5°C. Резиновую смесь после первой стадии подвергали вылежке в течении 4 часов, после чего проводили вторую стадию смешения.

Для оценки технологических свойств резиновых смесей использовали ротационный вискозиметр Муни (ASTM D 1646) и анализатор перерабатываемости резин RPA-2000 (ф. «Alpha Technologies») при 0,1 Гц и 100°С в диапазоне деформаций от 1 до 450 %. Оценку технологических свойств осуществляли по значению вязкости по Муни резиновой смеси после 1 и 2 стадии смешения.

Вулканизационные характеристики резиновых смесей определяли на приборе MDR 2000 в течение 30 мин при температуре Т=160°С, амплитуде колебаний 0,50°, частоте колебаний 1,7 Гц (ASTM D 5289).

Физико-механические испытания проведены на разрывной машине Zwick/Roell/Z005 согласно ASTM D 412-98.

Анализ упруго-гистерезисных свойств резин осуществляли с использованием прибора DMA 242 E Artemis (ф. Netzsch) при частоте деформации 10 Гц; амплитуде динамической деформации 1%.

Таблица 1.

Рецептура износостойкой обкладки конвейерных лент

Table 1.

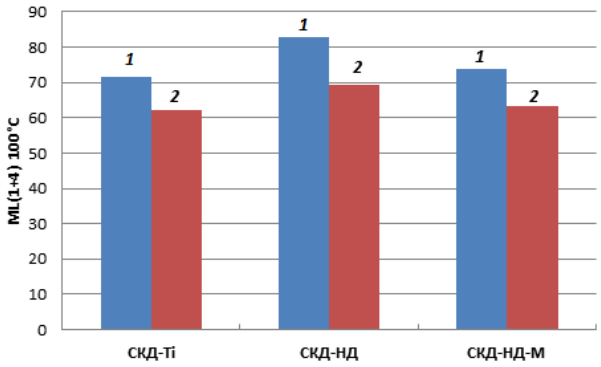
Recipe for wear-resistant lining of conveyor belts

Наименование ингредиента Ingredients	Мас.ч Phr
Каучук СКИ-3 | Rubber SKI-3	33,0
Каучук СКС-30АРКМ-15/ Rubber SKS-30 ARKM-15	33,0
Каучук СКД-Ti* или СКД-НД** или СКД-НД-М** | Rubber SKD-Ti* or SKD-ND** or SKD-M**	34,0
Сера | Sulfur	1,0
Оксид цинка | Zinc oxide	3,0
Кислота стеариновая | Stearic acid	1,0
Ускорители вулканизации Vulcanization accelerators	2,3
Техуглерод | Carbon black	60,0
Минеральные наполнители | Mineral fillers	10,0
Мягчители и пластификаторы Softeners and plasticizers	19,0
Противостарители | Antioxidants	1,9
Итого | Total	198,2

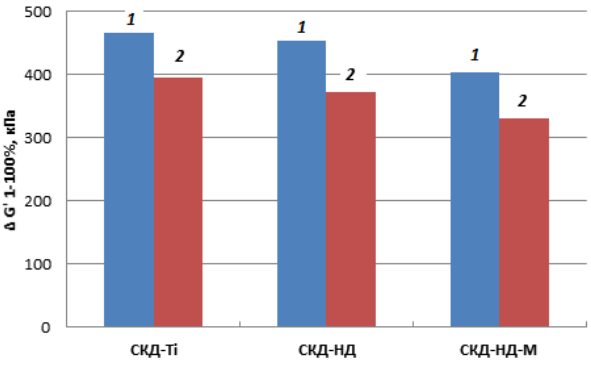
Обсуждение результатов

В ходе анализа пласто-эластических свойств исследуемых резиновых смесей установлено, что при замене СКД- Ti на СКД-НД наблюдается увеличение вязкости по Муни после 1 и 2 стадий на 12-15 %, а при использовании СКД-НД-М повышение вязкости по Муни незначительно (2-3 %) относительно образца СКД- Ti (рисунок 1, а), что свидетельствует о лучшей перерабатываемости резиновых смесей на основе СКД-НД-М по сравнению с СКД-НД.

Отмечено улучшение диспергирования наполнителей при использовании СКД-НД-М, что подтверждается более низким значением показателя эффекта Пейна Δ G' 1-100%, кПа (рисунок 1, б), характеризующим взаимодействие каучука с наполнителем [10].



а)



б)

Рисунок 1. Вязкость по Муни резиновых смесей на основе разных марок бутадиеновых каучуков: 1 - после первой стадии смешения; 2 - после второй стадии смешения.

Figure 1. Mooney viscosity of rubber compounds based on different brands of butadiene rubber: 1 - after the first stage of mixing; 2- after the second stage of mixing.

В таблице 2 приведены результаты исследования вулканизационных характеристик исследуемых резиновых смесей. Установлено, что применение в рецептуре СКД-НД-М обуславливает увеличение продолжительности индукционного периода (τ_s) и сокращение времени достижения оптимума вулканизации (τ_{90}) по сравнению с образцами на основе СКД- Ti и СКД- НД, что приводит к повышению общей скорости вулканизации (v).

Сопротивление раздиру резин обкладки конвейерных лент является важным показателем, характеризующим его эксплуатационные свойства, так как в процессе эксплуатации лент часто происходят порезы и разрывы острыми кромками транспортируемого материала. Установлено, что введение в рецептуру износостойкой обкладки конвейерной ленты каучука СКД-НД-М позволило повысить сопротивление раздиру резин ~ на 8% по сравнению с серийной резиной на основе СКД-Ti (рисунок 2, а).

При анализе износостойкости обкладки конвейерной ленты установлено, что применение в рецептуре СКД-НД и СКД-НД-М обуславливает значительное снижение показателя истирания, что вероятно связано с особенностями структуры, а именно снижением полидисперсности и проявлением эффекта гелеобразования в процессе получения каучука [11].

Анализ физико-механических свойств резин на основе исследуемых каучуков показал, что условная прочность при растяжении образцов на основе СКД-НД-М выше по сравнению с резиной, содержащей каучук СКД-НД (~ на 7%). По условной прочности при растяжении резин на основе СКД-НД-М и СКД-Ti получены близкие значения (таблица 3).

Таблица 2.

Вулканизационные характеристики резиновых смесей на основе бутадиеновых каучуков

Table 2.

Vulcanization characteristics of rubber compounds based on butadiene rubbers

Наименование показателей* |Properties	СКД-Ti | SKD-Ti	СКД-НД | SKD-ND	СКД-НД- М | SKD-M
M_L, дН·м / M_L, dN m	2,8	3,0	2,8
M_H, дН·м / M_H, dN m	15,0	15,8	14,6
t_{s1}, мин / t_{s1}, min	4,2	4,5	5,2
t_{25}, мин / t_{25}, min	5,4	5,6	6,3
t_{50}, мин / t_{50}, min	6,8	6,9	7,6
t_{90}, мин / t_{90}, min	13,2	12,5	12,9
v, мин$^{-1}$ / v, min^{-1}	11,1	12,5	13,0

*M_L и M_H – минимальный и максимальные крутящие моменты, соответственно; t_{s1} – время начала вулканизации; t_{25}, t_{50}, t_{90}, - время достижения заданной степени вулканизации (25 50 ,90 %), v – скорость вулканизации, мин$^{-1}$

*M_L и M_H – the minimum and maximum torques, respectively; t_{s1} – is the start time of vulcanization; t_{25}, t_{50}, t_{90}, - time to reach the desired degree of vulcanization (25 50 ,90 %), v – curing speed, min^{-1}

Таблица 3.

Физико-механические характеристики вулканизатов на основе бутадиеновых каучуков

Table 3.

Physical and mechanical characteristics and elastic-hysteresis properties of vulcanizates based on butadiene rubbers

Наименование показателей* | Properties*	СКД-Ti | SKD-Ti	СКД-НД | SKD-ND	СКД-НД- М | SKD-M
f_{100}, МПа / f_{100}, MPa	1,9	2,0	1,8
f_{300}, МПа / f_{300}, MPa	6,6	7,0	5,9
f_p, МПа / f_p, MPa	20,7	19,8	21,1
ε_p, %	682	634	715
H_A, усл.ед. / H_A, units	71	71	69
E, %	37	39	40
ОДС, 25 %, 72 ч 100 ºС / Residual deformation in static compression, 25 %, 72 ч 100 ºС	86	83	88
ОДС, 25 %, 72 ч 125 ºС / Residual deformation in static compression, 25 %, 72 ч 100 ºС	93	91	101

* f_{100}, f_{300} – условное напряжение при заданном удлинении (100, 300 %); f_p - условная прочность при растяжении; ε_p - относительное удлинение при разрыве; H_A – твёрдость по Шору А; E – эластичность по отскоку

* f_{100}, f_{300} – nominal stress at a given elongation (100, 300 %); f_p - tensile strength; ε_p - elongation at break; H_A – Shore A hardness; E - elasticity

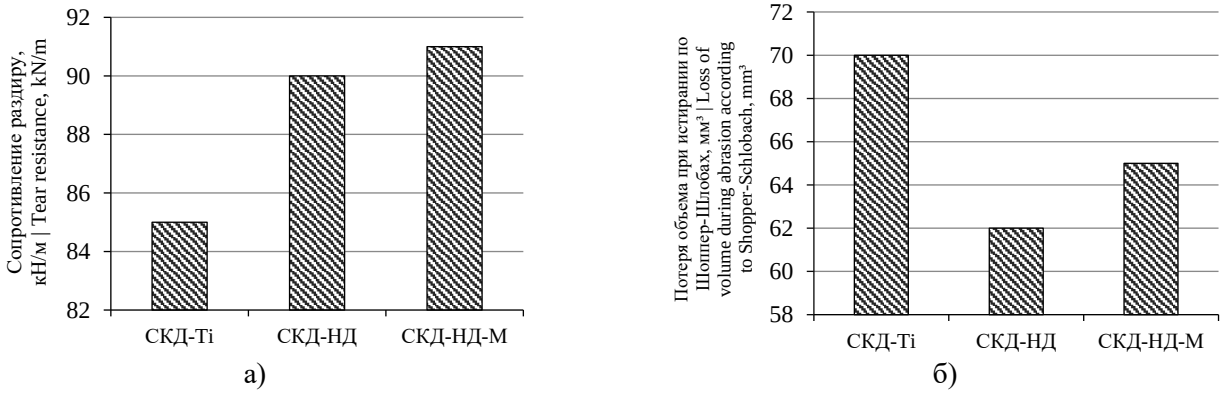


Рисунок 3. Эксплуатационные характеристики резин на основе разных марок бутадиеновых каучуков: а – потеря объема при истирании; б – сопротивление раздиру.

Figure 3. Performance characteristics of rubbers based on different brands of butadiene rubbers: a – loss of volume during abrasion; b – tear resistance.

Таким образом, в результате проведенных сравнительных исследований свойств резиновых смесей и резин, полученных по рецептуре обкладки конвейерных лент при использовании различных бутадиеновых каучуков, выявлено, что использование модифицированного полибутадиена приводит к улучшению технологических свойств резиновой смеси по сравнению с СКД-НД, улучшению физико-механических показателей его вулканизатов относительно СКД-Ti и СКД-НД, а также значительному повышению показателей сопротивления раздиру и стойкости к стиранию по сравнению с серийной резиной.

Улучшение технологических свойств резиновых смесей при сохранении высокого уровня показателей вулканизатов может быть обусловлено улучшением взаимодействия между наполнителем и полимером, а также за счет образования микрогеля, способного выступать в роли структурного пластификатора.

Литература

1 Ерофеева Н.В., Чеботова И.Н. Методы повышения долговечности конвейерных лент на горячих грузопотоках // III Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции и инновации в науке и производстве». 2014. С. 28-29.

2 Голиков Г.Ф. Изучение характера износа обкладок-эффективный путь создания условий для повышения долговечности конвейерных лент // Каучук и резина. 2017. Т. 76. №. 5. С. 298-301.

3 Коптев С.С., Коровин В.В. Зарождение производства резиновых технических изделий в Курской области // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. №. 4. С. 210-215.

4 Каблов В.Ф., Аксёнов В.И. Современные тенденции применения каучуков и наполнителей в рецептуре резин // Промышленное производство и использование эластомеров. 2018. №. 3. С. 24-34.

5 Джабаров Г.В., Лынова А.С., Ярцева Т.А., Туренко С.В. и др. Морозостойкий полибутадиен, полученный на неодимовой каталитической системе // Каучук и резина. 2020. Т. 79. №. 4. С. 180-185.

6 Перфельева С.А., Шашок Ж.С., Шкодич В.Ф., Кочнев А.М. Влияние структуры бутадиеновых каучуков на технические свойства шинных резин // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. №. 2. С. 183-186.

7 Pogodaev A.K., Karmanova O.V., Pogodaev A.K., Firsova A.V. et al. Synthesis and properties of functionalized styrene-butadiene rubbers // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2019. V. 54. № 6. P. 1137–1140.

8 Ярцева Т.А., Лагунова С.А., Лынова А.С, Ткачев А.В. Неодимовый полибутадиен, модифицированный тетрахлоридом олова и тетрахлоридом кремния. Свойства каучука и резин на их основе // Промышленное производство и использование эластомеров. 2017. № 3-4. С. 45-49.

9 Галимова Е.М., Галимова А.Г. Сахабутдинов А.Г., Коробейникова О.А. Сравнительная оценка характеристик промышленных полибутадиенов, полученных на разных каталитических системах // Каучук и резина. 2018. Т. 77. № 3. С. 142-147.

10 Jalal M., Nassir N., Jalal H. Waste tire rubber and pozzolans in concrete: A trade-off between cleaner production and mechanical properties in a greener concrete // Journal of Cleaner production. 2019. V. 238. P. 117882. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117882

11 Золотарев В.Л. Левенберг И.П., Ковалева Л.А., Зуев А.А. и др. 1,4-цис-полибутадиен и морозостойкость резин на его основе // Производство и использование эластомеров. 2020. №3-4. С 3-7.

12 Wang H., Yang L., Rempel G.L. Homogeneous hydrogenation art of nitrile butadiene rubber: a review // Polymer Reviews. 2013. V. 53. №. 2. P. 192-239. doi: 10.1080/15583724.2013.776586

13 Hou G., Tao W., Liu J., Zhang X. et al. Effect of the structural characteristics of solution styrene–butadiene rubber on the properties of rubber composites // Journal of Applied Polymer Science. 2018. V. 135. №. 24. P. 45749. doi: 10.1002/app.45749

14 Yang R., Song Y., Zheng Q. Payne effect of silica-filled styrene-butadiene rubber // Polymer. 2017. V. 116. P. 304-313. doi: 10.1016/j.polymer.2017.04.003

15 Peterson S.C. Utilization of low-ash biochar to partially replace carbon black in styrene–butadiene rubber composites // Journal of Elastomers & Plastics. 2013. V. 45. №. 5. P. 487-497. doi: 10.1177/0095244312459181

16 Qu L., Yu G., Xie X., Wang L. et al. Effect of silane coupling agent on filler and rubber interaction of silica reinforced solution styrene butadiene rubber // Polymer Composites. 2013. V. 34. №. 10. P. 1575-1582. doi: 10.1002/pc.22554

17 Lin Y., Liu S., Peng J., Liu L. The filler–rubber interface and reinforcement in styrene butadiene rubber composites with graphene/silica hybrids: A quantitative correlation with the constrained region // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2016. V. 86. P. 19-30. doi: 10.1016/j.compositesa.2016.03.029

18 Yang Q., Yu S., Zhong H., Liu T. et al. Gas products generation mechanism during co-pyrolysis of styrene-butadiene rubber and natural rubber // Journal of Hazardous Materials. 2021. V. 401. P. 123302. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123302

19 Choi S.S., Ko E. Novel test method to estimate bound rubber formation of silica-filled solution styrene-butadiene rubber compounds // Polymer testing. 2014. V. 40. P. 170-177. doi: 10.1016/j.polymertesting.2014.09.003

20 Shi J., Zou H., Ding L., Li X. et al. Continuous production of liquid reclaimed rubber from ground tire rubber and its application as reactive polymeric plasticizer // Polymer degradation and stability. 2014. V. 99. P. 166-175. doi: 10.1016 /j.polymdegradstab.2013.11.010

References

1 Erofeeva N.V., Chebotova I.N. Methods for increasing the durability of conveyor belts on hot cargo flows. III International scientific and practical conference. “Modern trends and innovations in science and production”. 2014. pp. 28-29. (in Russian).

2 Golikov G.F. The study of the nature of the wear of the facings is an effective way to create conditions for increasing the durability of conveyor belts. Kauchuk i rezina. 2017. vol. 76. no. 5. pp. 298-301. (in Russian).

3 Koptev S.S., Korovin V.V. The origin of the production of rubber technical products in the Kursk region. Proceedings of the South-Western State University. 2013. no. 4. pp. 210-215. (in Russian).

4 Kablov V.F., Aksenov V.I. Modern trends in the use of rubbers and fillers in the formulation of rubber. Industrial production and use of elastomers. 2018. no. 3. pp. 24-34. (in Russian).

5 Dzhabarov G.V., Lynova A.S., Yartseva T.A., Turenko S.V. Frost-resistant polybutadiene obtained on a neodymium catalytic system. Kauchuk i rezina. 2020. vol. 79. no. 4. pp. 180-185. (in Russian).

6 Perfeleva S.A., Shashok Zh.S., Shkodich V.F., Kochnev A.M. Influence of the structure of butadiene rubbers on the technical properties of tire rubber. Bulletin of the Kazan Technological University. 2015. vol. 18. no. 2. pp. 183-186. (in Russian).

7 Pogodaev A.K., Karmanova O.V., Pogodaev A.K., Firsova A.V. et al. Synthesis and properties of functionalized styrene-butadiene rubbers. Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2019. vol. 54. no. 6. pp. 1137–1140.

8 8 Yartseva T.A., Lagunova S.A., Lynova A.S., Tkachev A.V. Neodymium polybutadiene modified with tin tetrachloride and silicon tetrachloride. Properties of rubber and rubber based on them. Industrial production and use of elastomers. 2017. no. 3-4. pp. 45-49. (in Russian).

9 Galimova E.M., Galimova A.G. Sakhabutdinov A.G., Korobeynikova O.A. Comparative evaluation of the characteristics of industrial polybutadienes obtained on different catalytic systems. Kauchuk i rezina. 2018. vol. 77. no. 3. pp. 142-147. (in Russian).

10 Jalal M., Nassir N., Jalal H. Waste tire rubber and pozzolans in concrete: A trade-off between cleaner production and mechanical properties in a greener concrete. Journal of Cleaner production. 2019. vol. 238. pp. 117882. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117882

11 Zolotarev V.L. Levenberg I.P., Kovaleva L.A., Zuev A.A. et al. 1,4-cis-polybutadiene and frost resistance of rubber based on it. Production and use of elastomers. 2020. no. 3-4. pp. 3-7. (in Russian).

12 Wang H., Yang L., Rempel G.L. Homogeneous hydrogenation art of nitrile butadiene rubber: a review. Polymer Reviews. 2013. vol. 53. no. 2. pp. 192-239. doi: 10.1080/15583724.2013.776586

13 Hou G., Tao W., Liu J., Zhang X. et al. Effect of the structural characteristics of solution styrene–butadiene rubber on the properties of rubber composites. Journal of Applied Polymer Science. 2018. vol. 135. no. 24. pp. 45749. doi: 10.1002/app.45749

14 Yang R., Song Y., Zheng Q. Payne effect of silica-filled styrene-butadiene rubber. Polymer. 2017. vol. 116. pp. 304-313. doi: 10.1016/j.polymer.2017.04.003

15 Peterson S.C. Utilization of low-ash biochar to partially replace carbon black in styrene–butadiene rubber composites. Journal of Elastomers & Plastics. 2013. vol. 45. no. 5. pp. 487-497. doi: 10.1177/0095244312459181

16 Qu L., Yu G., Xie X., Wang L. et al. Effect of silane coupling agent on filler and rubber interaction of silica reinforced solution styrene butadiene rubber. Polymer Composites. 2013. vol. 34. no. 10. pp. 1575-1582. doi: 10.1002/pc.22554

17 Lin Y., Liu S., Peng J., Liu L. The filler–rubber interface and reinforcement in styrene butadiene rubber composites with graphene/silica hybrids: A quantitative correlation with the constrained region. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2016. vol. 86. pp. 19-30. doi: 10.1016/j.compositesa.2016.03.029

18 Yang Q., Yu S., Zhong H., Liu T. et al. Gas products generation mechanism during co-pyrolysis of styrene-butadiene rubber and natural rubber. Journal of Hazardous Materials. 2021. vol. 401. pp. 123302. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123302

19 Choi S.S., Ko E. Novel test method to estimate bound rubber formation of silica-filled solution styrene-butadiene rubber compounds. Polymer testing. 2014. vol. 40. pp. 170-177. doi: 10.1016/j.polymertesting.2014.09.003

20 Shi J., Zou H., Ding L., Li X. et al. Continuous production of liquid reclaimed rubber from ground tire rubber and its application as reactive polymeric plasticizer. Polymer degradation and stability. 2014. vol. 99. pp. 166-175. doi: 10.1016/ j.polymdegradstab.2013.11.010

Сведения об авторах

Татьяна А. Ярцева аспирант, кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, yrceva@bk.ru
https://orcid.org/0000-0001-8175-6210

Ольга В. Карманова д.т.н., профессор, заведующий 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/0000-0002-2360-5892

Наталья А. Михалева к.т.н., начальник центра технического сервиса клиентов, ООО Производственно-сервисная компания «БИОСИНТЕЗ», Ленинский проспект, д. 2, оф. 1, г. Воронеж, 394014, Россия, n.mikhaleva@orgkhim.com

Алексей В. Ткачев к.т.н., Главный технолог - начальник технического отдела, АО «Воронежсинтезкаучук», Ленинский пр-т, д.2, оф.1, г. Воронеж, Ленинский пр-т, д.2, оф.1, Воронеж, 394014, Россия, tkachevalv@vsk.sibur.ru
https://orcid.org/0000-0002-6912-4947

Information about authors

Tatiana A. Yartseva Post-graduate student,, Department of Organic Compound Technology, Polymer Processing and Technosphere Safety, Voronezh State University of Engineering Technologies, 19 Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russia, yrceva@bk.ru
https://orcid.org/0000-0001-8175-6210

Olga V. Karmanova Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department, Department of Organic Compound Technology, Polymer Processing and Technosphere Safety, Voronezh State University of Engineering Technologies, 19 Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russia, karolga@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-2360-5892

Natalia A. Mikhaleva Ph.D., Head of Technical Customer Service Center, LLC Production and service company "BIOSINTEZ", 2, Leninsky Av., 1, Voronezh, 394014, Russia, n.mikhaleva@orgkhim.com
https://orcid.org/Место для ввода текста.

Alexey V. Tkachev Ph.D., Technology of organic compounds, polymer processing and Chief technologist - head of the technical department, JSC Voronezhsintezkauchuk, 2, Leninsky Av., room 1, Voronezh, 394014, Russia, tkachevalv@vsk.sibur.ru
https://orcid.org/0000-0002-6912-4947

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 20/10/2020	**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/10.20914/2310-1202-2022-2-282-289 Оригинальная статья/Research article
УДК 621.8 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Оценка показателя жесткости углепластиков с гибридной матрицей

Екатерина А. Косенко [1] kosenkokate@mail.ru 0000-0002-7808-7359
1 Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Ленинградский пр-т, 64, г. Москва, 125319, Россия

Аннотация. Одной из важнейших характеристик конструкционных материалов является их жесткость. Обеспечение требуемой жесткости является залогом долговечности и эффективной эксплуатации конструкции. Вариация составов полимерных композиционных материалов (ПКМ), внедрение в их структуру различных добавок и модификаторов приводит к изменению не только эксплуатационных свойств композитов, но также и их жесткости. Достижение положительного эффекта по ряду одних свойств может привести к потере других. В данной статье представлено описание технологии формования полимерных композиционных материалов с гибридной матрицей. Особенностью данных материалов является то, что гибридная матрица формируется двумя материалами, один из которых (основное связующее) после формования полностью отверждается, а второй сохраняет свое «жидкое» состояние и представляет в структуре композита самостоятельную фазу. Такие ПКМ обладают переменной по объему материала жесткостью, вследствие чего возникает необходимость экспериментального исследования влияния количества и схемы локации компонента «жидкой» фазы на данный показатель. Изложена технология лабораторного метода определения жесткости образцов ПКМ, заключающаяся в измерении максимального прогиба плоского образца под действием статически приложенной нагрузки. Измерение осуществлюсь на образцах углепластиков с гибридной матрицей, формируемой эпоксидным связующим и силиконовым эластомером. Оценивалось влияние количества и схемы локации силиконового эластомера в структуре композита, а также масштабного эффекта на величину максимального прогиба. Количество силиконового эластомера суммарно во всех зонах локации принималось 0,25 и 0,50 мл, при этом варьировалось количество зон локации и их направление относительно длины образца. Установлено, что продольная локация силиконового эластомера в образцах ПКМ приводит к наибольшему снижению их жесткости. Количество силиконового эластомера в зоне локации не оказывает существенного влияния на изменение жесткости образцов. Увеличение количества слоев армирующей ткани в 2 раза позволяет снизить прогиб испытуемых образцов в 7–10 раз в зависимости от прикладываемой нагрузки, а удвоение ширины образцов и зон локации силиконового эластомера приводит к уменьшению максимального прогиба в 2 раза. С увеличением толщины ПКМ у образцов с силиконовым эластомером значения максимального прогиба под действием различных статически приложенных нагрузок аналогичны значениям данного показателя углепластиков такой же толщины без компонента «жидкой» фазы.

Ключевые слова: гибридная матрица, жесткость, полимерные композиционные материалы, прогиб, углепластик.

Evaluation of the stiffness index of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) with a hybrid matrix

Ekaterina A. Kosenko [1] kosenkokate@mail.ru 0000-0002-7808-7359
1 Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Leningradsky prospect, 64 Moscow, 125319, Russia

Abstract. One of the most important characteristics of structural materials is their stiffness. Ensuring the required stiffness is the key to durability and efficient operation of the structure. Variation in the compositions of polymer composite materials (PCM), the introduction of various additives and modifiers into their structure leads to changes not only in the operational properties of composites, but also in their stiffness. Achieving a positive effect on a number of some properties can lead to the loss of others. This article describes the technology of forming polymer composite materials with a hybrid matrix. The peculiarity of these materials is that the hybrid matrix is formed by two materials, one of which (the main binder) is completely cured after molding, and the second retains its "liquid" state and represents a separate phase in the composite structure. Such PCM have a variable stiffness of material, which makes it necessary to experimentally study the effect of the quantity and location scheme of the "liquid" phase component on this indicator. The technology of the laboratory method for determining the stiffness of PCM samples is described, which consists in measuring the maximum deflection of a flat sample under the action of a statically applied load. The measurement was carried out on carbon fiber reinforced plastic samples with a hybrid matrix formed by an epoxy binder and a silicone elastomer. The influence of the amount and location scheme of silicone elastomer in the composite structure, as well as the scale effect on the maximum deflection was evaluated. The amount of silicone elastomer was taken in a total of 0.25 mL and 0.50 mL in all locations, varying the number of locations and their direction relative to the length of the sample. It was found that the longitudinal location of silicone elastomer in PCM samples leads to the greatest decrease in their rigidity. The amount of silicone elastomer in the location zone does not significantly affect the change in the stiffness of the samples. Increasing the number of layers of reinforcing fabric by 2 times allows to reduce the deflection of the test samples by 7–10 times depending on the applied load. Doubling the width of samples and silicone elastomer locations results in a 2-fold reduction in maximum deflection. With an increase in the thickness of PCM in samples with silicone elastomer, the values of maximum deflection under the action of various statically applied loads are similar to the values of this parameter of carbon fibers of the same thickness without a component of the "liquid" phase.

Keywords: hybrid matrix, stiffness, polymer composite materials, deflection, carbon fiber reinforced plastic.

Введение

В настоящее время одними из наиболее перспективных конструкционных материалов являются полимерные композиционные материалы (ПКМ). Композиты используют при производстве как мелких, но конструктивно сложных изделий, так и крупногабаритных, несущих значительные нагрузки, конструкций [1, 2].

В процессе эксплуатации конструкции изделий из ПКМ подвергаются различным по направлению и характеру внешним нагрузкам (статическим, динамическим, циклическим) [3–7]. Обеспечение заданных прочностных и жесткостных свойств реализуется путем оптимального выбора компонентов ПКМ, схем армирования и технологии формования [8–15].

Для цитирования
Косенко Е.А. Оценка показателя жесткости углепластиков с гибридной матрицей // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 282–289. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-282-289

For citation
Kosenko E.A. Evaluation of the stiffness index of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) with a hybrid matrix. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 282–289. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-282-289

© 2022, Косенко Е.А. / Kosenko E.A.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Основные напряжения, возникающие под действием внешних нагрузок в конструкции из волокнистых ПКМ, воспринимают высокопрочные и высокомодульные волокна, придавая жёсткость и прочность в направлении ориентации волокон, а совместную работу отдельных волокон обеспечивает матрица за счет собственной жесткости и взаимодействия на границе раздела фаз [16–18].

При расчете конструкции на изгиб помимо напряжений, возникающих от действия внешних сил, важным показателем также является величина перемещения под действием этих же сил. Одно из требований к элементам конструкций заключается в том, чтобы перемещение не превосходило некоторого допустимого значения, то есть выполнялось условие жесткости или конструктивной прочности, так как низкая жесткость конструктивного элемента может привести к нежелательным колебаниям конструкции с большой амплитудой и появлению дополнительных напряжений.

В ряде случаев для достижения заданных эксплуатационных и технологических характеристик прибегают к различного рода модификациям структуры ПКМ. При этом существует вероятность изменения жесткости конструкции.

Так, результаты проведенных исследований показали, что добавление в состав матрицы ПКМ силиконового эластомера, представляющего в структуре матрицы самостоятельную «жидкую» фазу, способствует минимизации потери прочности при растяжении в условиях экстремально низких температур (-30 и -50 °С), что делает ПКМ с гибридной матрицей данного типа перспективным материалом для использования при производстве изделий, работающих в условиях отрицательных температур [19,20]. Однако ПКМ с гибридной матрицей, компоненты «жидкой» фазы которых расположены в структуре композита по заданных схемам обладает переменной по объему жесткостью.

Цель работы – оценка влияния количества и схемы локации силиконового эластомера, а также масштабного эффекта на величину максимального прогиба под действием диапазона прикладываемых к образцам статических нагрузок.

Материалы и методы

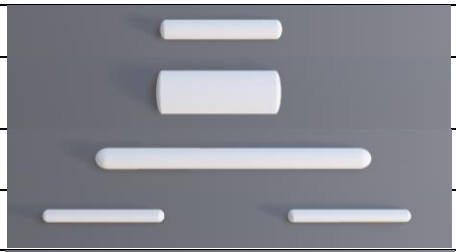
Для оценки влияния количества и схемы локации силиконового эластомера на жесткость ПКМ были изготовлены 10 серий образцов с различным количеством и схемами локации компонента «жидкой» фазы (серии № 1–10) и соответствующая серия контрольных образцов (без компонента «жидкой» фазы) (серия № 11) (таблица 1). Для оценки влияния масштабного эффекта на жесткость углепластиков с гибридной матрицей были изготовлены серия образцов удвоенной ширины с удвоенным количеством зон локации силиконового эластомера (серия № 12) и соответствующая серия контрольных образцов (серия № 13), серия образцов с удвоенным количеством слоев армирующей ткани (серия № 14) и соответствующая серия контрольных образцов (серия № 15) (таблица 1).

Таблица 1.

Схемы локации и количество силиконового эластомера в структуре углепластиков

Table 1.

Location schemes and the amount of silicone elastomer in the structure of carbon fiber reinforced plastics

Образец (Серия) Sample (Series)	Схема локации силиконового эластомера Silicone elastomer location scheme	Количество силиконового эластомера, мл Amount of silicone elastomer, ml
1	2	3
1		0,25
2		0,50
3		0,50
4		0,25
5		0,50
6		0,50
7		0,25
8		0,50

Продолжение таблицы 1 | Continuation of table 1 |

1	2	3
9		0,25
10		0,50
11	Контроль | Control	0,00
12		0,50 + 0,50
13	Контрольный образец удвоенной ширины Double width control sample	0,00
14		0,50
15	Контрольный образец увеличенной толщины Control sample of increased thickness	0,00

Для изготовления образцов углепластиков использовалась биаксиальная углеродная ткань марки 12К-1270–410 (+45/-45°), 2 слоя (4 слоя для образцов серий № 14 и № 15), пропитанных эпоксидным связующим марки L с отвердителем ЕРН 161. Между 1 и 2 слоями (2 и 3 слоями для образцов серии № 14) наносился компонент «жидкой» фазы (силиконовый эластомер марки Юнисил-9628) в суммарном количестве на один образец 0,25 мл и 0,5 мл (таблица 1). Формование образцов осуществлялось вакуумформованием по препреговой технологии [20] с отверждением при температуре 23 ± 2 °С в течении 24 часов.

В результате были получены серии образцов длиной l = 250 мм со следующими значениями поперечных сечений: S = 1,2 х 20 = 24 мм^2 (серии № 1–6), S=1,3х20=26мм^2 (серии №7 и №8), S = 1,4 х 20 = 28 мм^2 (серии № 9-11), S = 1,0 х 40 = 40 мм^2 (серии № 12), S = 1,4 х 40 = 56 мм^2 (серии № 13), S = 2,6 х 20 = 52 мм^2 (серии № 14 и № 15). Разнотолщинность образцов объясняются усадкой силиконового эластомера, величина которой варьируется в зависимости от количества силиконового эластомера и количества армирующего материала.

Для выполнения измерений образцы закреплялись консольно на расстоянии 30 мм, обеспечивая длину свободной части равную 220 мм. Нагрузка прикладывалась к свободному концу образца на расстоянии 20 мм (рисунок 1).

Оценка изменения жесткости углепластиков в зависимости от схемы локации и количества силиконового эластомера, а также влияния масштабного эффекта, осуществлялась путем измерения максимального прогиба под действием статической нагрузки (Р) равной 0,1 Н, 0,2 Н, 0,3 Н, 0,4 Н, 0,5 Н

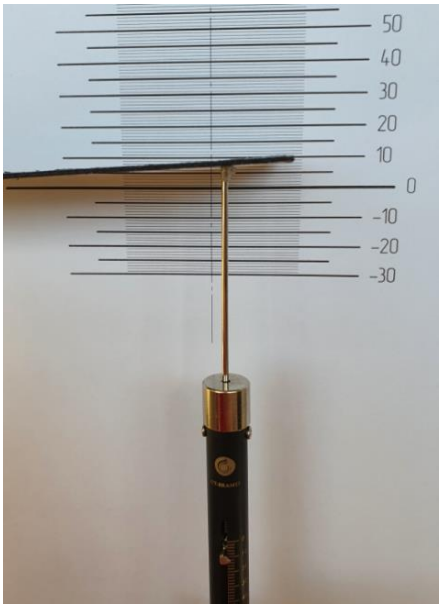


Рисунок 1. Измерение прогиба углепластиков с гибридной матрицей

Figure 1. Measurement of deflection of carbon fiber reinforced plastics with hybrid matrix

Результаты

В результате измерений были получены значения максимального прогиба испытуемых серий образцов (таблица 2). Для наглядности представления результаты измерений округлены до целочисленных значений.

Таблица 2.

Средний максимальный прогиб испытуемых серий образцов углепластиков

Table 2.

The average maximum deflection of the tested series of carbon fiber reinforced plastics samples

Образец Sample	Величина прогиба, v_{max}, мм в зависимости от прикладываемой нагрузки, P, Н Deflection value, v_{max}, mm depending on the applied load, P, N				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
1	27	57	78	100	115
Δv_{max1}* = v_{max1} * -$v_{max\ 11}$*	8	18	22	30	26
2	31	57	82	101	114
Δv_{max2} = v_{max2} − $v_{max\ 11}$	12	18	26	31	25
3	30	60	84	103	116
Δv_{max3} = v_{max3} − $v_{max\ 11}$	11	21	28	33	27
4	30	55	79	97	114
Δv_{max4} = v_{max4} − $v_{max\ 11}$	11	16	23	27	25
5	30	54	81	98	118
Δv_{max5} = v_{max5} − $v_{max\ 11}$	11	15	25	28	29
6	29	54	76	96	111
Δv_{max6} = v_{max6} − $v_{max\ 11}$	10	15	20	26	22
7	23	42	61	78	92
Δv_{max7} = v_{max7} − $v_{max\ 11}$	4	3	5	8	3
8	23	45	68	83	100
Δv_{max8} = v_{max8} − $v_{max\ 11}$	4	6	12	13	11
9	23	44	65	82	94
Δv_{max9} = v_{max9} − $v_{max\ 11}$	4	5	9	12	5
10	22	44	65	85	102
Δv_{max10} = v_{max10} − $v_{max\ 11}$	3	5	9	15	13
11	19	39	56	70	89
12	15	27	39	53	64
Δv_{max12} = v_{max12} − $v_{max\ 13}$	6	9	12	17	20
13	9	18	27	35	44
14	3	6	9	12	16
Δv_{max14} = v_{max14} − $v_{max\ 15}$	0	0	0	0	1
15	3	6	9	12	15

* индекс при значении максимального прогиба, обозначающий номер серии испытуемых образцов

*index at the value of the maximum deflection, indicating the number of the series of test samples

Обсуждение

Из представленных данных (таблица 2) видно, что у всех испытуемых образцов с силиконовым эластомером в составе матрицы (кроме образцов серии №14) наблюдается увеличение прогиба по сравнению с образцами без компонента «жидкой» фазы. Так у образцов серий № 1–6 наблюдается увеличение прогиба в среднем на 20–40% в зависимости от прикладываемой нагрузки, а у образцов серий № 7–10 на 3–18%. При этом среднее значение величины прогиба практически не зависит от количества силиконового эластомера (сравнение по группам серий № 1–3, № 4–6, № 7–8, № 9–10 (таблица 2)). На величину прогиба оказывает влияние схема локации силиконового эластомера. Так, снижение значения прогиба наблюдается у образцов с диагональным и поперечным нанесением компонента «жидкой» фазы (серии № 7–10).

У углепластиков удвоенной ширины (с удвоенным количеством зон локации компонента «жидкой фазы) силиконовый эластомер в составе матрицы также приводит к увеличению величины прогиба (сравнение серий № 12 и № 13) на 30–40% в зависимости от прикладываемой нагрузки.

Не оказывает влияния на величину прогиба наличие силиконового эластомера в образцах углепластиков увеличенной толщины (сравнение серий № 14 и № 15).

Точность результатов измерений оценивалась на основании показателя среднего квадратического отклонения (S) (таблица 3).

Таблица 3.

Среднее квадратическое отклонение результатов измерения максимального прогиба серий образцов углепластиков с гибридной матрицей

Table 3.

Root-mean-square deviation of the results of measuring the maximum deflection of a series of CFRP specimens with a hybrid matrix

Образец Sample	Среднее квадратическое отклонение результатов измерения максимального прогиба, S, мм в зависимости от прикладываемой нагрузки, P, Н | The mean square deviation of the measurement results of the maximum deflection, S, mm, depending on the applied load, P, N				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
1	1,14	1,95	3,63	4,88	3,83
2	1,52	1,87	1,30	1,14	1,52
3	0,84	3,11	2,59	3,87	3,08
4	0,84	1,10	2,92	3,08	2,17
5	3,27	3,97	3,65	2,95	3,03
6	1,30	3,05	2,59	3,05	2,92
7	1,30	2,07	2,97	2,49	3,70
8	2,35	1,64	1,14	3,21	2,30
9	0,55	1,73	2,30	2,28	3,27
10	0,55	2,17	3,67	4,18	5,90
11	1,30	1,30	1,79	2,00	2,49
12	0,55	2,07	3,16	0,55	1,48
13	0,84	1,10	1,41	0,84	1,10
14	0,00	0,55	1,41	1,82	2,68
15	0,55	1,14	0,55	1,10	1,10

Для оценки изменения показателя максимального прогиба в зависимости от прикладываемой нагрузки по формуле (1) были определены значения относительного прогиба для образцов каждой серии (таблица 4).

$$\delta_v = \frac{v_{i\max} - v_{i\max-1}}{v_{i\max-1}}, \quad (1)$$

где v_{imax} – максимальный прогиб образца на *i*-том этапе нагружения (мм), i – этап нагружения (1 – 0,1 Н, 2 – 0,2 Н, 3 – 0,3 Н и т. д.).

Таблица 4.

Относительный прогиб образцов углепластика с гибридными матрицами

Table 4.

Relative deflection of carbon fiber samples with hybrid matrices

Образец Sample	Величина относительного прогиба, δ_v, мм в зависимости от прикладываемой нагрузки, P, Н The magnitude of the relative deflection, δ_v, mm depending on the applied load, P, N				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
1	0,00	1,11	0,37	0,28	0,15
2	0,00	0,84	0,44	0,23	0,13
3	0,00	1,00	0,40	0,23	0,13
4	0,00	0,83	0,44	0,23	0,18
5	0,00	0,80	0,50	0,21	0,20
6	0,00	0,86	0,41	0,26	0,16
7	0,00	0,83	0,45	0,28	0,18
8	0,00	0,96	0,51	0,22	0,20
9	0,00	0,91	0,48	0,26	0,15
10	0,00	1,00	0,48	0,31	0,20
11	0,00	1,05	0,44	0,25	0,27
12	0,00	0,80	0,44	0,36	0,21
13	0,00	1,00	0,50	0,30	0,26
14	0,00	1,00	0,50	0,33	0,33
15	0,00	1,00	0,50	0,33	0,25

У всех испытуемых серий образцов наблюдается линейная зависимость приращения величины прогиба с увеличением прикладываемой нагрузки. Величина относительного прогиба в зависимости от типа образцов варьируется в диапазонах: 1,11–0,8 мм (при P = 0,2 Н), 0,51–0,37 мм (при P = 0,3 Н), 0,36–0,21 (при P = 0,4 Н) и 0,33–0,13 мм (при P = 0,5 Н).

Увеличение ширины образцов и соответствующее удвоение количества зон локации силиконового эластомера (сравнение серий № 12 и № 3) приводит к уменьшению прогиба в среднем в 2 раза. При увеличении количества слоев углеродной ткани при формовании, толщина готовых образцов увеличилась в ~2 раза при этом величина прогиба сократилась в 7–10 раз в зависимости от прикладываемой нагрузки (сравнение серий № 14 и № 3). В таблице 5 представлены значения констант подобия.

Таблица 5.

Константы подобия для образцов увеличенной ширины и количества силиконового эластомера и увеличенной толщины

Table 5.

Similarity constants for samples of increased width and amount of silicone elastomer and increased thickness

Образец Sample	Константы подобия, *c* в зависимости от прикладываемой нагрузки, P, Н Similarity constants, *c* depending on the applied load, P, N				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
12	0,50	0,45	0,46	0,51	0,55
14	0,10	0,10	0,11	0,12	0,14

Заключение

Сокращение величины прогиба (повышение жесткости конструкции) обеспечивается за счет выбора оптимальной схемы локации компонента «жидкой» фазы.

Наибольшая величина прогиба наблюдается при продольном нанесении силиконового эластомера (серии № 1–6).

Повышению жесткости способствует диагональное и поперечное нанесение силиконового эластомера (образцы серий № 7–10). Так, сравнивая серии образцов № 1 (с продольной локацией) и №7 (с диагональной локацией (3 зоны)) можно отметить, что диагональное нанесение силиконового эластомера позволяет снизить величину максимального прогиба на 15-26%, а поперечное (серия образцов № 9 (3 зоны)) - на 13-23% в зависимости от прикладываемой нагрузки.

В наибольшей степени на величину жесткости испытуемых образцов углепластиков с гибридной матрицей оказывает влияние толщина образцов. Увеличение количества слоев армирующей ткани в 2 раза позволяет снизить прогиб испытуемых образцов в 7–10 раз в зависимости от прикладываемой нагрузки (сравнение серий № 14 и № 3).

При удвоении ширины образцов и соответственно зон локации силиконового эластомера наблюдается уменьшение максимального прогиба в 2 раза (сравнение серий № 12 и № 3).

С увеличением толщины величина максимального прогиба ПКМ с силиконовым эластомером в составе гибридной матрицы аналогична величине прогиба ПКМ такой же толщины без компонента «жидкой» фазы (сравнение серий № 14 и № 15).

Благодарности

Материал подготовлен в рамках научных исследований по проекту № FSFM-2020–0011 (2019–1342), экспериментальные исследования проведены с использованием оборудования центра коллективного пользования МАДИ.

Литература

1 Дориомедов М.С. Российский и мировой рынок полимерных композитов (обзор) // Труды ВИАМ. 2020. №6-7 (89). С. 29-37. doi: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-29-37

2 Тимошков П.Н. Хрульков А.В., Язвенко Л.Н. Композиционные материалы в автомобильной промышленности (обзор) // Труды ВИАМ. 2017. № 6. С. 61–68. doi: 10.18577/2307–6046–2017–0–6–7–7

3 Рудской А.И., Баурова Н.И. Технологическая наследственность при производстве и эксплуатации конструкционных материалов // Технология металлов. 2019. №2. С 2-10. doi: 10.31044/1684-2499-2019-2-0-2-10

4 Трунилина А.В., Баурова Н.И. Полимерные композиты со свойствами биодеградации // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2019. №1. С. 9-13. doi: 10.31044/1994-6260-2019-0-1-9-13

5 Баурова Н.И., Зорин В.А. Выбор моделей для оценки долговечности полимеров на различных масштабных уровнях // Теоретические основы химической технологии. 2018. №5. С. 567-572. doi: 10.1134/S0040357118050019

6 Grib V.V., Zorin V.A., Baurova N.I. Determination of the resources of machine components made of polymeric composite materials on the basis of cumulative evidence // Polymer Science, Series D. 2018. №. 4. P. 431-435. doi: 10.1134/S1995421218040068

7 Баурова Н.И., Зорин В.А., Приходько В.М. Информационная модель состояния технической системы // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2017. №6. С. 11-16.

8 Gorodetskii M.A., Nelyub V.A., Malysheva G.V., Shaulov A.Y. et al. Technology of forming and the properties of reinforced composites based on an inorganic binder // Russian Metallurgy (Metally). 2018. № 13. P. 1195–1198. doi: 10.1134/S0036029518130074

9 Nelyub V.A. Technologies of metallization of carbon fabric and the properties of the related carbon fiber reinforced plastics // Russian Metallurgy. 2018. № 13. P. 1199–2101. doi: 10.1134/S0036029518130189

10 Maung P.P., Htet T.L., Malysheva G.V. Simulation and optimization of vacuum assisted resin infusion process for large-sized structures made of carbon fiber-reinforced plastic // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 709. № 2. P. 022041. doi: 10.1088/1757–899X/709/2/022041

11 Nelyub V.A., Malysheva G.V. Modern treatment technologies of carbon fibre for ensuring the high strength carbon fibre reinforced plastic production // MATEC Web of Conferences. 2017. V. 129. P. 02001. doi: 10.1051/matecconf/201712902001

12 Nelyub V.A., Borodulin A.S., Kobets L.P., Malysheva G.V Thixotropy hysteresis and structure formation in elastomeric suspensions // Inorganic Materials: Applied Research. 2018. № 9(4). P. 603–608. doi: 10.1134/S2075113318040238

13 Malysheva G.V., Guzeva T.A. Technological support for decreasing the porosity of polymer composite products // Russian Metallurgy (Metally). 2021. № 2021(13). P. 1692–1695. doi: 10.1134/S0036029521130139

14 Neluyb V.A., Malysheva G.V., Komarov I.A. New technologies for producing multifunctional reinforced carbon plastics // Materials Science Forumthis. 2021. P. 196–202. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1037.196

15 Maung P.P., Thant Kyaw P., Malysheva G.V. Optimization of technological modes for moulding composites using vacuum infusion technology // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 971(3). P. 032048. doi: 10.1088/1757–899X/971/3/032048

16 Орешко Е.И. Ерасов В.С., Гриневич Д.В., Шершак П.В. Обзор критериев прочности материалов // Труды ВИАМ. 2019. №9. С. 108-126. doi: 10.18577/2307-6046-2019-0-9-108-126

17 Кирюшина В.В., Ковалева Ю.Ю., Степанов П.А., Коваленко П.В. Исследование влияния масштабного фактора на прочностные свойства полимерных композиционных материалов // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2019. №1. С. 97–106. doi: 10.26583/npe.2019.1.09

18 Арутюнян А.Р. Формулировка критерия усталостной прочности композиционных материалов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. 2020. Т. 7 (65). №. 3. С. 511–517. doi: 10.21638/spbu01.2020.313

19 Kosenko E.A., Nelyub V.A. Evaluation of the stress–strain state of a polymer composition material with a hybrid matrix // Polymer Science – Series D. 2022. № 15(2). P. 240–244. doi: 10.1134/S1995421222020137

20 Kosenko E.A., Baurova N.I., Zorin V.A. Mechanical properties of carbon fiber reinforced plastics with various types of hybrid matrices at negative temperatures // Russian Metallurgy (Metally). 2021. № 2021(13). P. 1705–1708. doi: 10.1134/S0036029521130103

References

1 Doriomedov M.S. Russian and world market of polymer composites (review). Proceedings of VIAM. 2020. №6-7 (89). pp. 29-37. doi: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-29-37 (in Russian).

2 Timoshkov P.N. Khrulkov A.V., Yazvenko L.N. Composite materials in the automotive industry (review). Proceedings of VIAM. 2017.no. 6. pp.61–68. doi: 10.18577/2307–6046–2017–0–6–7–7 (in Russian).

3 Rudskoy A.I., Baurova N.I. Technological heredity when producing and operating the structural materials. Tehnologia metallov (Technology of metals). 2019. no. 2. pp. 2-10. doi: 10.31044/1684-2499-2019-2-0-2-10 (in Russian).

4 Trunilina A.V., Baurova N.I. Polymer composites with biodegradation properties. All materials. Encyclopaedic reference manual. 2019. no.1. pp. 9-13. doi: 10.31044/1994-6260-2019-0-1-9-13 (in Russian).

5 Baurova N.I. Zorin V.A. Choice of models for evaluating the durability of polymers at different scale levels. Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii. 2018. no. 5. pp. 567-572. doi: 10.1134/S0040357118050019. (in Russian).

6 Grib V.V., Zorin V.A., Baurova N.I. Determination of the resources of machine components made of polymeric composite materials on the basis of cumulative evidence. Polymer Science, Series D. 2018. no. 4. pp. 431-435. doi: 10.1134/S1995421218040068

7 Baurova N.I., Zorin V.A., Prikhodko V.M. Information model of technical system state. All materials. Encyclopaedic reference manual. 2017. no.6. pp. 11-16. (in Russian).

8 Gorodetskii M.A., Nelyub V.A., Malysheva G.V., Shaulov A.Y. et al. Technology of forming and the properties of reinforced composites based on an inorganic binder. Russian Metallurgy (Metally). 2018. no 13. pp. 1195–1198. doi: 10.1134/S0036029518130074

9 Nelyub V.A. Technologies of metallization of carbon fabric and the properties of the related carbon fiber reinforced plastics. Russian Metallurgy. 2018. no 13. pp. 1199–2101. doi: 10.1134/S0036029518130189

10 Maung P.P., Htet T.L., Malysheva G.V. Simulation and optimization of vacuum assisted resin infusion process for large-sized structures made of carbon fiber-reinforced plastic. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. vol. 709. no. 2. pp. 022041. doi: 10.1088/1757–899X/709/2/022041

11 Nelyub V.A., Malysheva G.V. Modern treatment technologies of carbon fibre for ensuring the high strength carbon fibre reinforced plastic production. MATEC Web of Conferences. 2017. vol. 129. pp. 02001. doi: 10.1051/matecconf/201712902001

12 Nelyub V.A., Borodulin A.S., Kobets L.P., Malysheva G.V Thixotropy hysteresis and structure formation in elastomeric suspensions. Inorganic Materials: Applied Research. 2018. no. 9(4). pp. 603–608. doi: 10.1134/S2075113318040238

13 Malysheva G.V., Guzeva T.A. Technological support for decreasing the porosity of polymer composite products. Russian Metallurgy (Metally). 2021. no. 2021(13). pp. 1692–1695. doi: 10.1134/S0036029521130139

14 Neluyb V.A., Malysheva G.V., Komarov I.A. New technologies for producing multifunctional reinforced carbon plastics. Materials Science Forumthis. 2021. pp. 196–202. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1037.196

15 Maung P.P., Thant Kyaw P., Malysheva G.V. Optimization of technological modes for moulding composites using vacuum infusion technology. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. no. 971(3). pp. 032048. doi: 10.1088/1757–899X/971/3/032048

16 Oreshko E.I., Erasov V.S., Grinevich D.V., Shershak P.V. Review of criteria of durability of materials. Proceedings of VIAM. 2019. no. 9. pp. 108-126. doi: 10.18577/2307-6046-2019-0-9-108-126. (in Russian).

17 Kiryushina V.V., Kovaleva Yu.Yu., Stepanov P.A., Kovalenko P.V. A study into the scaling factor effects on the strength properties of polymer composite materials. Izvestiya vuzov. Nuclear energy. 2019. no. 1. pp. 97–106. doi: 10.26583/npe.2019.1.09. (in Russian).

18 Arutyunyan A.R. Formulation of the fatigue fracture criterion of composite materials. Vestnik of Saint Petersburg University. Mathematics. Mechanics. Astronomy. 2020. vol. 7 (65). no. 3. pp. 511–517. doi: 10.21638/spbu01.2020.313 (in Russian).

19 Kosenko E.A., Nelyub V.A. Evaluation of the stress–strain state of a polymer composition material with a hybrid matrix. Polymer Science – Series D. 2022. no. 15(2). pp. 240–244. doi: 10.1134/S1995421222020137

20 Kosenko E.A., Baurova N.I., Zorin V.A. Mechanical properties of carbon fiber reinforced plastics with various types of hybrid matrices at negative temperatures. Russian Metallurgy (Metally). 2021. no. 2021(13). pp. 1705–1708. doi: 10.1134/S0036029521130103

Сведения об авторах

Екатерина А. Косенко к.т.н., доцент, кафедра производства и ремонта автомобилей и дорожных машин, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Ленинградский пр-т, 64, г. Москва, 125319, Россия, kosenkokate@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7808-7359

Information about authors

Ekaterina A. Kosenko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, production and repair of automobiles and road machines department, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Leningradsky prospect, 64 Moscow, 125319, Russia, kosenkokate@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7808-7359

Вклад авторов

Екатерина А. Косенко написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Ekaterina A. Kosenko 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 13/04/2022	**После редакции** 11/05/2022	**Принята в печать** 03/06/2022

Received 13/04/2022	**Accepted in revised** 11/05/2022	**Accepted** 03/06/2022

Экономика и управление

Economics and Management

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-290-297 Оригинальная статья/Research article

УДК 360 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Эколого-экономическая оценка нарушения нормативных требований по охране водных объектов

Раиса Н. Плотникова [1] raya.plotnikova.57@mail.ru 0000-0001-9559-4443

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

Аннотация. Рассмотрены вопросы эколого-экономической оценки последствий нарушения нормативных требований по охране водных объектов. Проведен сравнительный анализ действующих методик определения размера вреда, наносимого водным объектам при нарушении водоохранных требований, и величины предотвращенного ущерба водным ресурсам в результате деятельности природоохранных органов. Проанализированы методы компенсации материальных и финансовых затрат, понесенных при разработке необходимой проектной документации и реализации мероприятий по ликвидации нанесенного ущерба, а также по восстановлению базового состояния водного объекта. Показано, что норматив платы за тонну токсиканта, попавшего в водный объект, зависящий от значений предельно-допустимых концентраций, по своей сути аналогичен коэффициенту относительной эколого-экономической опасности сброшенного в водный объект загрязнителя, также зависящего от значений предельно-допустимых концентраций токсикантов и их классов опасности. Установлено, что показатель удельного ущерба водным объектам может быть сравним с коэффициентом, характеризующим природно-климатические факторы, и показателем, зависящим от кратности превышения концентрации токсиканта в сбросе над его фоновой концентрацией в водном объекте. Установлена достаточно близкая сходимость расчетных данных по определению размера вреда в соответствии с методикой оценки вреда водным объектам вследствие нарушения водного законодательства и величины платы за превышение разрешенного сброса. Отмечены максимальные отклонения для токсикологических групп малоопасных токсикантов. Получены коэффициенты адаптации финансовой оценки ущерба водным объектам, нанесенного в результате аварийных сбросов загрязняющих веществ, и размера вреда, причиненного в результате нарушения водоохранных требований.

Ключевые слова: ущерб, вред, окружающая среда, водные объекты, эколого-экономическая оценка

Ecological and economic assessment of violations of regulatory requirements for the protection of water bodies

Raisa N. Plotnikova [1] raya.plotnikova.57@mail.ru 0000-0001-9559-4443

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

Abstract. The issues of ecological and economic assessment of the consequences of violation of regulatory requirements for the protection of water bodies are considered. A comparative analysis of the current methods for determining the amount of damage caused to water bodies in violation of water protection requirements and the amount of prevented damage to water resources as a result of the activities of environmental authorities has been carried out. It is shown that the standard of payment for a ton of toxicant entering a water body, depending on the values of maximum permissible concentrations, is essentially similar to the coefficient of relative ecological and economic danger of a pollutant discharged into a water body, also depending on the values of maximum permissible concentrations of toxicants and their hazard classes. It is established that the indicator of specific damage to water bodies can be comparable with the coefficient characterizing natural and climatic factors and the indicator depending on the multiplicity of excess of the concentration of the toxicant in the discharge above its background concentration in the water body. A fairly close convergence of the calculated data on determining the amount of damage in accordance with the methodology for assessing damage to water bodies due to violations of water legislation and the amount of the fee for exceeding the permitted discharge has been established. Maximum deviations were noted for the toxicological groups of low-risk toxicants. The coefficients of adaptation of the financial assessment of damage to water bodies caused as a result of emergency discharges of pollutants and the amount of damage caused as a result of violation of water protection requirements are obtained.

Keywords: damage, harm, environment, water bodies, environmental and economic assessment

Введение

Реализация любой производственной деятельности напрямую связано с эксплуатацией хотя бы одного объекта окружающей среды. Законодательство Российской Федерации достаточно жестко регламентирует практически все виды предпринимательской деятельности с точки зрения их воздействия на окружающую среду [1]. Как правило, такого рода регламентация выражается через реализацию экономических механизмов охраны объектов окружающей среды [2–4]. К подобного рода экономическим рычагам воздействия на юридические и физические лица, являющиеся природопользователями, относят экологическое лицензирование, экологическую сертификацию, экологическое страхование, экологическую оценку природных ресурсов и территорий, плату за загрязнение объектов окружающей среды, экологические штрафы и налоги [5–7].

Для цитирования

Плотникова Р.Н. Эколого-экономическая оценка нарушения нормативных требований по охране водных объектов // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 290–297. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-290-297

For citation

Plotnikova R.N. Ecological and economic assessment of violations of regulatory requirements for the protection of water bodies. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 290–297. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-290-297

© 2022, 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

Нарушение требований природоохранного законодательства влечет за собой как минимум финансовые санкции, размер которых рассчитывается по соответствующим методикам [8–10].

Так превышение установленных норм негативного воздействия на водные объекты считается нанесением вреда или ущерба, размеры которых рассчитываются в соответствии с методическими указаниями [11–12]. Такие негативные ситуации могут возникать при отклонении от установленных технической документацией правил эксплуатации сооружений и устройств водохозяйственного назначения. Особое место занимают производственные аварии, приводящие к несанкционированному сбросу в водные объекты токсикантов в составе сточных вод. В отдельную группу нарушений относят разливы нефти и нефтесодержащих продуктов.

Цель работы – Проведение эколого-экономической оценки последствий нарушения нормативных требований по охране водных объектов.

Материалы и методы

В рамках исследования проведен сравнительный анализ действующих методик определения размера вреда, наносимого водным объектам при нарушении водоохранных требований, и величины предотвращенного ущерба водным ресурсам в результате деятельности природоохранных органов.

Результаты и обсуждение

Основополагающим принципом при определении размера вреда для водохозяйственного объекта является компенсация объема затрат, понесенных при проектировании необходимой документации и реализации мероприятий поликвидации нанесенного ущерба, а также повосстановлению базового состояния водного объекта [13, 14].

Проектируемые или фактические затраты как правило включают расходы на определение качественных и количественных характеристик загрязнения воды в водном объекте и его донных отложениях, на оценку степени распространения токсикантов по площади или по руслу водного объекта с прогнозом их влияния на качество извлекаемой воды для питьевого и промышленного назначения, на создание водоочистных сооружений для ликвидации нанесенного вреда, на очистку донных отложений. При необходимости в объем затрат на ликвидацию нанесенного вреда могут быть включены расходы по очистке и восстановлению прибрежных территорий. При разливах нефти включаются затраты на ее сбор и утилизацию (рисунок 1).

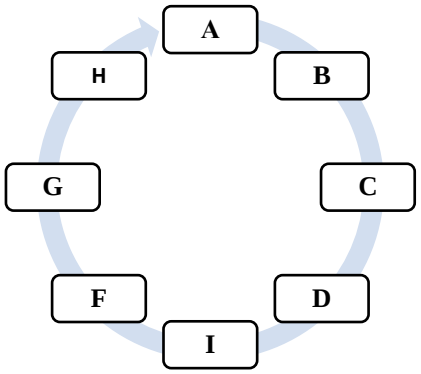


Рисунок 1. Схема распределения затрат при нанесении вреда водным объектам: A – анализ качества воды; B – разработка проекта по очистке и восстановлению; C – оценка распространения токсикантов; D – Предупреждение распространения токсикантов; I – создание водоочистных сооружений; F – сбор, удаление и утилизация токсикантов; G – очистка донных отложений; H – очистка прибрежных зон

Figure 1. Scheme of distribution of costs in case of damage to water bodies: A – analysis of water quality; B – development of a project for cleaning and restoration; C – assessment of the spread of toxicants; D – Prevention of the spread of toxicants; I – creation of water treatment facilities; F – collection, removal and disposal of toxicants; G – cleaning of bottom sediments; H – cleaning of coastal zones

Важная роль при определении размера нанесенного вреда отводится отдельным факторам, оказывающим особое влияние на состояние водного объекта. К ним относят природно-климатические факторы, зависящие от времени года (рисунок 2), периода негативного воздействия токсикантов на водный объект (рисунок 3, 4), экологического состояния водного объекта (таблица 1).

При длительности воздействия более 500 ч устанавливается повышающий коэффициент 5.

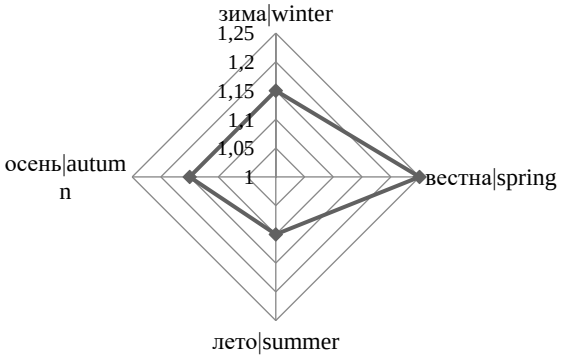


Рисунок 2. Значения природно-климатических факторов

Figure 2. Values f natural and climatic factors

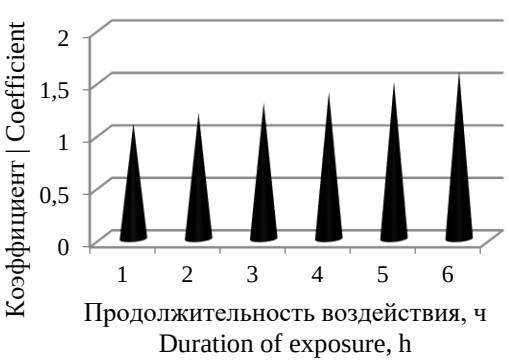


Рисунок 3. Зависимость повышающих коэффициентов при краткосрочном воздействии токсикантов на водный объект, ч: 1 – 6; 2 – 12; 3 – 18; 4 – 24; 5 – 30; 6 – 36

Figure 3. Dependence of increasing coefficients for short-term exposure of toxicants to a water body, h: 1 – 6; 2 – 12; 3 – 18; 4 – 24; 5 – 30; 6 – 36

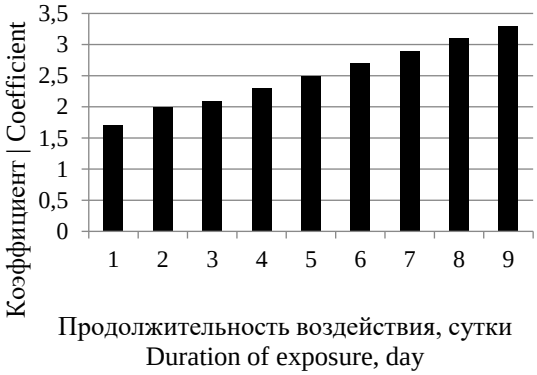


Рисунок 4. Размеры повышающих коэффициентов при среднесрочном воздействии токсикантов, сутки: 1 – 2; 2 – 3; 3 – 4; 4 – 5; 5 – 6; 6 – 7; 7 – 8; 8 – 9; 9 – 10

Figure 4. Sizes of increasing coefficients for medium-term exposure to toxicants, days: 1 – 2; 2 – 3; 3 – 4; 4 – 5; 5 – 6; 6 – 7; 7 – 8; 8 – 9; 9–10

Таблица 1.

Показатель состояния водных объектов

Table 1.

Indicator of the state of water bodies

Водный объект Water site	Коэффициент состояния водного объекта Water Object State Coefficient	Коэффициент экологической ситуации и экологической значимости водных объектов Coefficient of the ecological situation and the environmental significance of water bodies
Нева | Neva	1,51	1,15–1,51
Северная Двина | Northern Dvina	1,36	1,02–1,36
Печора | Pechora	1,37	1,1–1,34
Волга | Volga	1,41	1,1–1,41
Терек | Terek	1,55	1,11–1,48
Урал | Ural	1,60	1,06–1,45
Дон | Don	1,29	1,07–1,56
Кубань | Kuban	2,20	1,15–2,2
Днепр | Dnieper	1,33	1,05–1,33
Обь | Ob	1,22	1,1–1,34
Енисей | Yenisei	1,36	1,02–1,36
Лена | Lena	1,27	1,01–1,27
Озеро Байкал | Lake Baikal	2,80	-
Амур | Amur	1,27	1,05–1,27
Озера | Lakes	1,80	-

С учетом представленных факторов размер причиненного вреда W (тыс. р) предложено рассчитывать по формуле

$$W = k_{вг} k_{в} k_{ин} k_{из} \sum_{i=1}^{n} T_i m_i, \qquad (1)$$

где $k_{вг}$ – показатель влияния природно-климатических факторов, рисунок 1; $k_{в}$ – показатель состояния водных объектов, таблица 1; $k_{ин}$ – инфляционный коэффициент; $k_{из}$ – показатель интенсивности токсического воздействия; T_i – норматив платы за тонну токсиканта, попавшего в водный объект, тыс. р/т; m_i – масса токсиканта, т.

При этом расчет массы токсикантов, сброшенных в водный объект (m_i), т, необходимо вести по формуле:

$$m_i = 10^6 V \tau \left(C_{fi} - C_{di} \right),$$

где 10^{-6} – коэффициент перевода массы токсиканта в т; V – часовой объем сброса, м^3/ч; τ – период времени сброса сточных вод, ч; C_{fi} – концентрация отдельного токсиканта в стоке за анализируемый период, мг/дм^3; C_{di} – нормативно допустимая или временно разрешенная концентрация отдельного токсиканта в стоке, мг/дм^3.

Следует отметить, что для предприятий, занимающихся приемом хозяйственно-бытовых

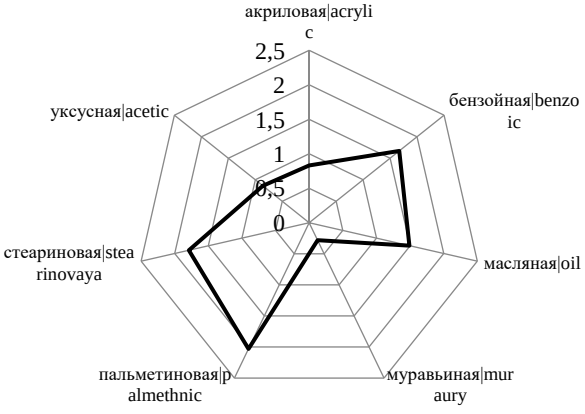
и производственных стоков, их обезвреживанием и сбросом в водные объекты, допустимые концентрации токсикантов устанавливаются с повышающим коэффициентом 1,4 [15].

В особом порядке производится расчет массы органических загрязнителей, входящих в состав стока, $m_{БПК_{полн}}, m$:

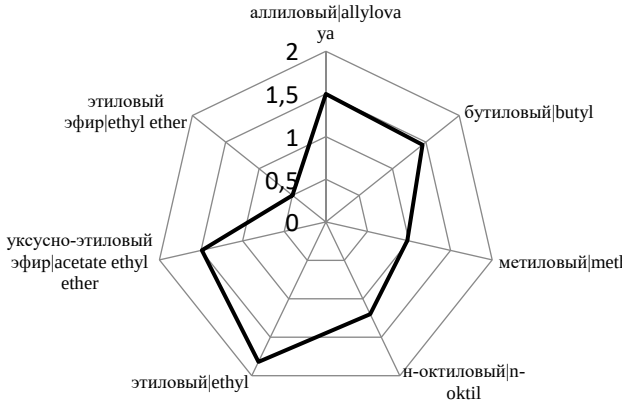
$$m_{БПК_{полн}} = 10^6 V\tau\left(C^f_{БПК_{полн}} - C^d_{БПК_{полн}}\right),$$

где $C^f_{БПК_{полн}}$ и $C^d_{БПК_{полн}}$ – реальные и допущенные в стоке концентрации органических загрязнителей, переведенные в единицы биологического потребления кислорода мг/дм^3.

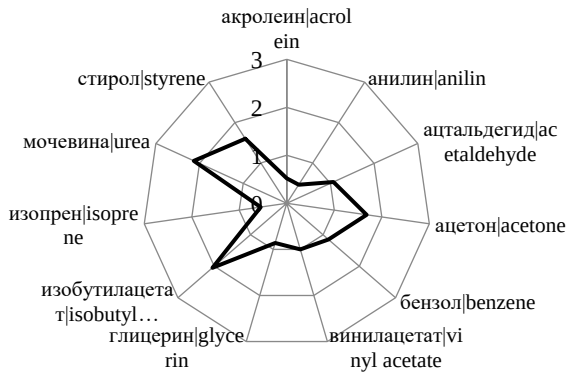
Пересчет осуществляется с использованием переводных коэффициентов $k_{БПК}$, рисунок 5.



(a)



(b)



(c)

Рисунок 5. Значения переводных коэффициентов для различных органических соединений: (a) – кислоты; (b) – спирты; (c) – другие органические соединения

Figure 5. The values the translated coefficients for various organic compounds: (a) – ki slots; (b) – alcohols; (c) – other organic co-unity

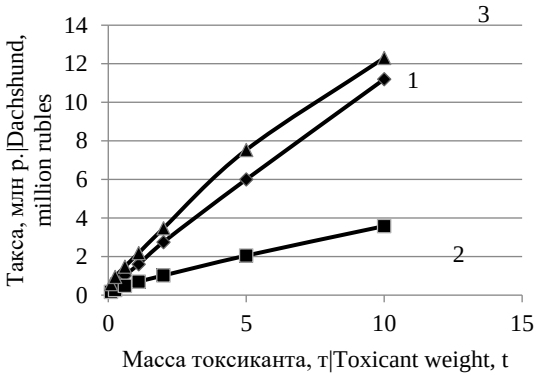


Рисунок 6. Зависимость таксы для расчета вреда, нанесенного водному объекту в результате аварий: 1 – органическими веществами; 2 – неорганическими веществами; 3 – пестицидами

Figure 6. Dachshund dependence to calculate the harm caused by an aqueous object as a result of accidents: 1 – organic substances; 2 – inorganic substances; 3 – pesticides

Отмечается [16, 17], что степень негативного воздействия токсикантов результате аварийных сбросов в различной природы предписано оценивать различными значениями такс, величина которых зависит от массы токсического вещества, сброшенного в водный объект (рисунок 6).

В то же время в расчет ущерба от загрязнения водных объектов *Y*, проводимого с использованием методики определения предотвращенного ущерба [2],

$$Y = Y_{уд} K_э \sum_{i=1}^{n} M_i, \qquad (2)$$

где $Y_{уд}$ – величина удельного ущерба водному объекту при сбросе единицы токсической массы загрязнителей для конкретного водного объекта, р./усл. т; $K_э$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния водного объекта; M_i – токсическая масса сброшенных в водный объект загрязнителей, усл., – включены несколько иные показатели за исключением достаточно сравнимых по величине коэффициентов $k_в$ и $K_э$, приведенных в таблице 1.

В этом случае токсическая масса сброшенных загрязнителей определяется по формуле

$$M_i = \sum_{i=1}^{k} \left(m_i K_{эi} \right), \qquad (3)$$

где m_i – масса сброшенного загрязнителя, т; $K_{эi}$ – коэффициент относительной эколого-экономической опасности сброшенного загрязнителя.

Использованный в формуле (1) показатель T_i как норматив платы за тонну токсиканта, попавшего в водный объект, зависящий от значений предельно-допустимых концентраций, по своей сути аналогичен коэффициенту относительной эколого-экономической опасности сброшенного в водный объект загрязнителя $K_{эi}$ (формула 3), также зависящего от значений ПДК токсиканта и его класса опасности. Показатель $Y_{уд}$, входящий в формулу (2), может быть сравним при некоторых приближениях с коэффициентами $k_{вг}$ и $k_{из}$, характеризующие влияние природно-климатических факторов и интенсивность токсического воздействия.

Следует отметить, что для крупных населенных пунктов, расположенных на берегах рек, особое место при исчислении вреда отводится нефти и нефтепродуктам, попадающим в водные объекты во время дождей при неисправной ливневой канализации. Для водохранилища, расположенного в черте города Воронежа, размер вреда при попадании нефти и нефтепродуктов, определяется по результатам анализов на основе инструментальных методов с учетом ее массы, находящейся в виде пленки и в растворенном или эмульгированном состоянии по формуле

$$m_н = m_{нпл} m_{нр}, \qquad (4)$$

где $m_н$ – масса нефтесодержащих соединений, брошенных в водохранилище, т; $m_{нпл}$ – масса нефтесодержащих соединений в виде пленки, т; $m_{нр}$ – масса растворенных или эмульгированных нефтесодержащих соединений, т.

В случае попадания нефтепродуктов в водные объекты с ливневыми стоками их массу в пленочном виде определить достаточно сложно, так как происходит достаточно быстрое их распространение по поверхности водоема с образованием толщины слоя менее 1 мм. В этом случае удельная масса нефтепродуктов, приходящаяся на 1 м^{2}акватории, определяется по внешним признакам, включающим шесть категорий (рисунок 7).

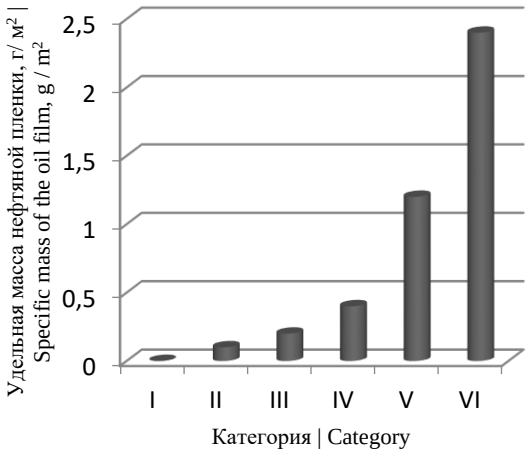


Рисунок 7. Удельная масса нефтяной пленки в зависимости от категории: I – чистая поверхность; II – отдельные радужные полосы при отсутствии пятен и пленки; III – появление пятен и налета на поверхности серебристого цвета; IV – яркие цветные полосы на пятнах и пленках; V – значительная поверхность покрыта сплошной пленкой и пятнами мутно-коричневого цвета; VI – сплошная темно-коричневая поверхность

Figure 7. The specific gravity of the oil film depending on the category: I – clean surface; II – individual iridescent stripes in the absence of spots and film; III – the appearance of spots and plaque on the surface of a silvery color; IV – bright colored stripes on spots and films; V – a significant surface is covered with a continuous film and spots of a dull brown color; VI – solid dark brown surface

Массу растворенных или эмульгированных в воде нефтепродуктов находят в основном по результатам инструментальных анализов по их концентрации. Однако в случае ливневых стоков для замкнутых водоемов можно пользоваться показателем 26 г./м^3, а для проточных – 122 г./м^3.

Методикой [18] предусмотрено при оплате размера нанесенного вреда учитывать факт внесения платы за превышение массы разрешенного сброса токсикантов в составе сточных вод, рассчитываемой по формуле

$$П_{пр} = \sum_{i=1}^{n} \left(M_{прi} H_{плi} K_{от} K_{пр} \right). \qquad (5)$$

В этом случае также учитывается масса дополнительного сброса токсикантов $M_{прi}$, ставка платы по каждому токсиканту $H_{плi}$, дополнительный повышающий коэффициент для особо охраняемых территорий $K_{от}$. Все остальные факторы токсического воздействия закрывает единый для промышленных объектов соответствующих категорий негативного воздействия на окружающую среду показатель $K_{пр}$, изменяющийся в пределах от 25 до 100 (таблица 2).

Результаты сравнительной эколого-экономической оценки нарушения водоохранных требований по показателям нанесенного вреда и ущерба водному объекту, определенных в соответствии с формулами (1) и (2) в отношении 1 тонны загрязняющих веществ соответствующей токсикологической группы, приведены в таблице 3.

Таблица 2.

Размер платы за превышение разрешенного сброса по группам токсикантов

Table 2.

The amount of the fee for exceeding the permitted discharge by groups of toxicants

Концентрация токсиканта в стоке, мг/дм^3 Concentration of the toxicant in the drain, mg/dm^3	Ставка платы, р/т Fee rate, r/t	Ппр, тыс. Ppr, thousand rubles	Коэффициент пересчета Conversion factor
> 40	6,0	600	13,4
< 40	14,9	1490	10,8
< 4	1473,8	147380	1,9
< 2	2942,3	294230	1,5
< 0,2	7355,9	735590	1,1
< 0,06	14711,7	1471170	0,7
< 0,02	73553,2	7355320	0,9
< 0,006	147106,3	14710630	0,5
Взвешенные вещества Suspended substances	977,2	97720	0,5

Таблица 3.

Сравнительная эколого-экономическая оценка вреда водному объекту в расчете на 1 тонну условного загрязнителя

Table 3.

Comparative ecological and economic assessment of harm to a water body per 1 ton of conditional pollutant

ПДК токсиканта для водного объекта, мг/дм^3 MPC of a toxicant for a water body, mg/dm^3	Hi, тыс. р/т thousand rubles/ton	W, тыс. р thousand rubles	Кэ, усл. т/т usl. t/t	У, тыс. р thousand rubles	Коэффициент адаптации W/У Adaptation coefficient W/Y
> 40	5	8,1	0,05	0,5	14,3
< 40	10	16,1	0,2	2,2	7,2
< 4	170	274,1	1,0	11,2	24,4
< 2	280	451,5	3,5	39,3	11,5
< 0,2	510	822,3	11	123,6	6,7
< 0,06	670	1080,3	20	224,7	4,8
< 0,02	4350	7014,3	90	1011,4	6,9
< 0,006	4800	7740,0	250	2809,4	2,8
Взвешенные вещества Suspended substances	30	48,3	0,15	1,6	28,7

Согласно полученным данным можно сделать вывод о достаточной сходимости результатов оценки вреда и размера платы за превышение разрешенного сброса, поскольку для большинства токсикологических групп коэффициент пересчета близок к единице. Однако при сравнении расчетных данных по размерам вреда и ущерба отмечается довольно широкий разброс в пределах от 2,8 до 28,7. Максимальные отклонения наблюдаются для токсикологических групп с невысокими ПДК токсикантов для водных объектов.

Заключение

Таким образом в результате проведенной эколого-экономической оценки последствий нарушения нормативных требований по охране водных объектов с использованием различных методик установлена достаточно близкая сходимость расчетных данных по определению размера вреда в соответствии с методикой [11] и величины платы за превышение разрешенного сброса в соответствии с методикой [18]. Отмечены максимальные отклонения для токсикологических групп малоопасных токсикантов с ПДКв более 4 мг/дм^3. Показано, что использование методики расчета ущерба водным объектам [12] приводит к заниженным результатам оценки негативного воздействия. Получены коэффициенты адаптации финансовой оценки ущерба водным объектам, нанесенного в результате аварийных сбросов загрязняющих веществ, и размера вреда, причиненного в результате нарушения водоохранных требований.

Литература

1 О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 21.07.2014 № 219-ФЗ.

2 Pavanelli D.D., Voulvoulis N. Habitat Equivalency Analysis, a framework for forensic cost evaluation of environmental damage // Ecosystem Services. 2019. V. 38. P. 100953. doi: 10.1016/j.ecoser.2019.100953

3 Fogleman V. The duty to prevent environmental damage in the environmental liability directive; a catalyst for halting the deterioration of water and wildlife // ERA Forum. Springer Berlin Heidelberg, 2020. V. 20. №. 4. P. 707-721. doi: 10.1007/s12027-019-00586-6

4 Wang F., Liu B., Zhang B. Embodied environmental damage in interregional trade: A MRIO-based assessment within China // Journal of Cleaner Production. 2017. V. 140. P. 1236-1246. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.10.036

5 Плотникова Р.Н. Анализ проекта экологического налога // Вестник ВГТА. 2003. № 8. С. 82–89.

6 Shepherd D.A., Patzelt H., Baron R.A. "I care about nature, but…": Disengaging values in assessing opportunities that cause harm // Academy of Management Journal. 2013. V. 56. №. 5. P. 1251-1273. doi: 10.5465/amj.2011.0776

7 Barcos Arias I.F., Molina Manzo A.D., Cruz Piza I.A. Valoración de la sanción al daño ambiental en la provincia de Los Ríos // Revista Universidad y Sociedad. 2020. V. 12. №. 6. P. 339-347.

8 Ferrari C. Mancini F.M., Damiani G., Dini V. et al. Environmental damage and environmental mediation: Italian guidelines // Microchemical Journal. 2019. V. 149. P. 103993. doi: 10.1016/j.microc.2019.103993

9 Плотникова Р.Н. Применение нормативной базы по минимизации негативного воздействия на окружающую среду для развития биотехнологических подходов к ее оздоровлению // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. V. 83. №. 1. P. 129-137. doi: 10.20914/2310-1202-2021-1-129-137

10 Жаворонкова Н.Г., Харченко С.Г., Агафонов В.Б. Тенденции и перспективы развития законодательства о чрезвычайных экологических ситуациях // Экология и промышленность России. 2020. V. 24. №. 7. P. 68-71. doi: 10.18412/1816-0395-2020-7-68-71

11 Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства: приказ Минприроды России от 13 апреля 2009 г. № 87 (с изменениями на 26 августа 2015 г.)

12 Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба. Утверждена председателем Государственного комитета Российской Федерации по охране окружающей среды В.И. Даниловым-Данильяном 9 марта 1999 г.

13 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.

14 Wen, B. Shen, Standards of water environmental protection and practical removal technologies of emerging contaminants // Huanjing Kexue Xuebao/Acta Scientiae Circumstantiae. 2018. V. 38. P. 847–857.

15 Федеральный закон от 07.12.2011 г. № 416-ФЗ "О водоснабжении и водоотведении"

16 Khalatbari Y., Poorhashemi A. 'Environmental Damage': Challenges and opportunities in International Environmental Law // Khalatbari, Yalda, and Poorhashemi Abbas.'Environmental Damage': Challenges and opportunities in International Environmental Law." CIFILE Journal of International Law (CJIL). 2019. V. 1. №. 1. P. 21-28.

17 Varvastian S., Kalunga F. Transnational Corporate Liability for Environmental Damage and Climate Change: Reassessing Access to Justice after Vedanta v // Lungowe Transnational Environmental Law. 2020. V. 9. № 2. P. 323–345.

18 Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду» (вместе с правилами исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду: постановление Правительства РФ от 03.03.2017 № 255.

19 Данилова Н.В. Административно-правовая квалификация загрязнения водных объектов // Юридическая наука и правоохранительная практика. 2017. №. 2 (40). С. 44-49.

20 Романова О.А. О совершенствовании правовой охраны водных объектов // Вестник Кыргызского национального университета имени Жусупа Баласагына. 2018. №. S. С. 187-192.

References

1 On Amendments to the Federal Law "On Environmental Protection: Federal Law No. 219 FZ of July 21, 2014. (in Russian).

2 Pavanelli D.D., Voulvoulis N. Habitat Equivalency Analysis, a framework for forensic cost evaluation of environmental damage. Ecosystem Services. 2019. vol. 38. pp. 100953. doi: 10.1016/j.ecoser.2019.100953

3 Fogleman V. The duty to prevent environmental damage in the environmental liability directive; a catalyst for halting the deterioration of water and wildlife. ERA Forum. Springer Berlin Heidelberg, 2020. vol. 20. no. 4. pp. 707-721. doi: 10.1007/s12027-019-00586-6

4 Wang F., Liu B., Zhang B. Embodied environmental damage in interregional trade: A MRIO-based assessment within China. Journal of Cleaner Production. 2017. vol. 140. pp. 1236-1246. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.10.036

5 Plotnikova R.N. Analysis of the environmental tax project. Vestnik VGTA. 2003. no. 8. pp. 82–89. (in Russian).

6 Shepherd D.A., Patzelt H., Baron R.A. "I care about nature, but…": Disengaging values in assessing opportunities that cause harm. Academy of Management Journal. 2013. vol. 56. no. 5. pp. 1251-1273. doi: 10.5465/amj.2011.0776

7 Barcos Arias I.F., Molina Manzo A.D., Cruz Piza I.A. Valoración de la sanción al daño ambiental en la provincia de Los Ríos. Revista Universidad y Sociedad. 2020. vol. 12. no. 6. pp. 339-347.

8 Ferrari C. Mancini F.M., Damiani G., Dini V. et al. Environmental damage and environmental mediation: Italian guidelines. Microchemical Journal. 2019. vol. 149. pp. 103993. doi: 10.1016/j.microc.2019.103993

9 Plotnikova R.N. Application of the regulatory framework to minimize the negative impact on the environment for the development of biotechnological approaches to its improvement. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 129-137. doi: 10.20914/2310-1202-2021-1-129-137 (in Russian).

10 Zhavoronkova N.G., Kharchenko S.G., Agafonov V.B. Trends and prospects for the development of legislation on emergency environmental situations. Ecology and Industry of Russia. 2020. vol. 24. no. 7. pp. 68-71. doi: 10.18412/1816-0395-2020-7-68-71 (in Russian).

11 Methodology for calculating the amount of damage caused to water bodies due to violation of water legislation: Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated April 13, 2009 No. 87 (as amended on August 26, 2015) (in Russian).

12 Temporary methodology for determining averted environmental damage. Approved by the Chairman of the State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection V.I. Danilov-Danilyan March 9, 1999. (in Russian).

13 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.

14 Wen, B. Shen, Standards of water environmental protection and practical removal technologies of emerging contaminants. Huanjing Kexue Xuebao/Acta Scientiae Circumstantiae. 2018. vol. 38. pp. 847–857.

15 Federal Law of 07.12.2011 No. 416 FZ "On Water Supply and Sanitation". (in Russian).

16 Khalatbari Y., Poorhashemi A. 'Environmental Damage': Challenges and opportunities in International Environmental Law. Khalatbari, Yalda, and Poorhashemi Abbas.'Environmental Damage': Challenges and opportunities in International Environmental Law." CIFILE Journal of International Law (CJIL). 2019. vol. 1. no. 1. pp. 21-28.

17 Varvastian S., Kalunga F. Transnational Corporate Liability for Environmental Damage and Climate Change: Reassessing Access to Justice after Vedanta v. Lungowe Transnational Environmental Law. 2020. vol. 9. no 2. pp. 323–345.

18 On the calculation and collection of fees for negative environmental impact" (together with the rules for the calculation and collection of fees for negative environmental impact: Decree of the Government of the Russian Federation of 03.03.2017 No. 255. (in Russian).

19 Danilova N.V. Administrative-legal qualification of pollution of water bodies. Legal Science and Law Enforcement Practice. 2017. no. 2 (40). pp. 44-49. (in Russian).

20 Romanova O.A. On improving the legal protection of water bodies. Bulletin of the Kyrgyz National University named after Zhusup Balasagyn. 2018. no. S. pp. 187-192. (in Russian).

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, raya.plotnikova.57@mail.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, raya.plotnikova.57@mail.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 05/04/2022	**После редакции** 25/04/2022	**Принята в печать** 20/05/2022
Received 05/04/2022	**Accepted in revised** 25/04/2022	**Accepted** 20/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-298-304 Оригинальная статья/Research article
УДК 338 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Экономические перспективы PR-коммуникаций в сфере туризма

Людмила Э. Глаголева [1] milaprofi@mail.ru 0000-0002-3222-301X
Наталья П. Зацепилина [1] nataha.zatsepilina@ya.ru 0000-0001-8554-9972
Елена Н. Ковалева [1] kovaleva.lena@gmail.com 0000-0002-8558-4724
Лилия С. Зацепилина [1] lilia.zatsepilina@ya.ru
Алиса Б. Сандберг [1] sandberg.alisa@gmail.com
Марк Е. Сехниев [1] markys0987@mail.ru

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

Аннотация. В данной статье раскрываются экономические перспективы использования PR-коммуникаций как инструмента повышения эффективности маркетинговых услуг в сфере туризма. Рассмотрены способы увеличения интереса пользователей к сайтам турагентств и повышения конверсии проекта за счет контекстной рекламы, а также другие способы увеличения посещаемости сайтов организаций в сфере туризма. Рассмотрены метрики веб-аналитики, показывающие экономическую эффективность рекламы, построенной на развитии PR-коммуникаций, так как для грамотного продвижения туристического продукта необходимо умение анализировать бизнес-метрики, чтобы оценивать экономическую эффективность бизнес-процессов: какая реклама принесла продажи и выручку, как лучше распределить бюджет, какая PR-коммуникация оказалась убыточной и от нее стоит отказаться. Поэтому так важно с точки зрения современных тенденций в экономике учитывать и рассматривать основные критерии эффективности PR-коммуникаций и перспективы их внедрения в сфере туризма как основного по воздействию на потребителя вида рекламы. В статье рассматривается специфика продвижения услуг в сети интернет, позволяющая учитывать индивидуальные особенности каждого клиента. Это связано с тем, что выявление целевой аудитории весьма актуально, потому что позволяет компании максимально выгодно достигать маркетинговые цели, что неизбежно ведет к снижению издержек и получению прибыли за счет экономической эффективности рекламной кампании.

Ключевые слова: интернет-маркетинг, PR-коммуникации, веб-аналитика, таргетинг, контекстная реклама, контент-маркетинг, пиар в интернете, трафик-менеджмент, интернет-проекты

Economic prospects of PR communications in the field of tourism

Lyudmila E. Glagoleva [1] milaprofi@mail.ru 0000-0002-3222-301X
Natalya P. Zatsepilina [1] nataha.zatsepilina@ya.ru 0000-0001-8554-9972
Elena N. Kovaleva [1] kovaleva.lena@gmail.com 0000-0002-8558-4724
Lilia S. Zatsepilina [1] lilia.zatsepilina@ya.ru
Alisa B. Sandberg [1] sandberg.alisa@gmail.com
Mark E. Sekhniev [1] markys0987@mail.ru

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

Abstract. This article reveals the economic prospects of using PR communications as a tool to improve the effectiveness of marketing services in the tourism sector. The ways of increasing user interest in travel agency websites and increasing the conversion of the project through contextual advertising, as well as other ways to increase the attendance of websites of organizations in the field of tourism are considered. The metrics of web analytics are considered, showing the economic efficiency of advertising based on the development of PR communications, since for the competent promotion of a tourist product, it is necessary to be able to analyze business metrics in order to assess the economic efficiency of business processes: what kind of advertising brought sales and revenue, how best to allocate the budget, which PR communication turned out to be unprofitable and should be abandoned. Therefore, it is so important from the point of view of modern trends in the economy to take into account and consider the main criteria for the effectiveness of PR communications and the prospects for their implementation in the tourism sector as the main type of advertising for the consumer. The article discusses the specifics of the promotion of services on the Internet, which allows taking into account the individual characteristics of each client. This is due to the fact that identifying the target audience is very important, because it allows the company to achieve marketing goals as profitably as possible. This inevitably leads to lower costs and profit due to the economic efficiency of the advertising campaign.

Keywords: internet marketing, PR communications, web analytics, targeting, contextual advertising, content marketing, internet advertising, traffic management, Internet projects

Введение

На данный момент сфера туризма является многообещающим с точки зрения получения прибыли сектором экономики. С каждым годом все больше и больше компаний вкладывают деньги, время и другие усилия для развития этого сегмента рынка и успешной с точки зрения получения прибыли работы в этой области. Активное развитие туризма требует не только уникального туристического продукта, но и планомерного подхода к его продвижению на рынке услуг.

Для цитирования
Глаголева Л.А., Зацепилина Н.П., Ковалева Е.Н., Зацепилина Л.С., Сандберг А.Б., Сехниев М.Е. Экономические перспективы PR-коммуникаций в сфере туризма // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 298–304. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-298-304

For citation
Glagoleva L.E., Zatsepilina N.P., Kovaleva E.N., Zatsepilina L.S., Sandberg A.B., Sekhniev M.E. Economic prospects of PR communications in the field of tourism. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 298–304. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-298-304

© 2022, 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

В последние годы стало ясно, что традиционные формы рекламы теряют свою эффективность. Это связано с тем, что современный потребитель находится под влиянием большого количества информации из различных офлайн- и онлайн-источников и делает все возможное, чтобы сэкономить свои временные и денежные ресурсы [1, 2]. В связи с тенденциями цифровизации общества, изменениями в личном общении, а также диверсификацией на основе современных рыночных тенденций, по мере того, как все больше компаний расширяют спектр услуг и специализируются на новых продуктах, актуальными становятся все виды интернет-рекламы и продвижения своих услуг в сфере туризма в интернете. Этот подход позволяет бизнес-компаниям расширить охват потребителей, облегчить планирование и управление коммуникациями, усовершенствовать систему платежей [3, 4].

Поэтому важнейшей и неотъемлемой частью интернет-присутствия компании является конкурентоспособная реклама, занимающая свою нишу на туристическом рынке. Интернет является эффективным инструментом продвижения рекламных услуг, представляющих собой информацию, разделенную на текстовые и графические форматы, содержащие фото, видео, графику, анимацию, для повышения интереса и внимания потенциальных покупателей туристических туров и услуг, связанных с их организацией. Просто нажав на кнопку, пользователь переходит на сайт, заходит в интернет-магазин, страницу в социальной сети для совершения необходимого ему действия для покупки. При этом он видит на сайтах туристических компаний всю подробную информацию о товаре, регистрации, спецпредложениях и т. д. [5, 6].

Целью PR-коммуникаций является выработка четкого представления о той или иной туристической компании, ее товарах или услугах. Из этого следует, что при таком подходе реклама, стимулирование продаж взаимодополняют друг друга для достижения экономических целей при продвижении своего продукта [7].

Рекламные PR-кампании могут приносить визиты пользователей на сайты туристических компаний и новые регистрации. Но если не знать, сколько пользователей, которые проявили интерес к товару или услуге, в итоге станут покупателями, то невозможно понять, насколько реклама эффективна. Когда бизнес получает только заявки, это не приносит прибыль.

Чтобы понимать, насколько экономически эффективно работает интернет-реклама, надо смотреть на бизнес-метрики: стоимость покупки; стоимость привлечения одного клиента; окупаемость вложений в маркетинг; средний чек. Необходимо умение анализировать количественные и качественные характеристики, чтобы оценивать экономическую эффективность бизнес-процессов. Поэтому важно с точки зрения современных тенденций в экономике учитывать и рассматривать основные критерии эффективности PR-коммуникаций и перспективы их внедрения в сфере туризма как основного по воздействию на потребителя вида рекламы.

Материалы и методы

При оценке экономической эффективности PR-коммуникаций в сети интернет в сфере туризма необходимы определенные показатели, которые измеряют во время рекламной кампании и после ее завершения. С их помощью можно определить, сколько организация тратит на привлечение клиента, какой процент покупателей совершает повторные покупки, насколько лояльна аудитория к туристическому бренду.

Анализ результативности электронной торговли показывает, что 92% компаний имеют отделы рекламы, а в 8% случаев менеджеры выполняют функции маркетологов [8]. Доля использования инструментария интернет-маркетинга туристическим сегментом на рынке представлена на рисунке 1.



Рисунок 1. Инструменты интернет-маркетинга

Figure 1. Internet marketing tools

Из рисунка 1 видно, что одним из самых популярных инструментов среди PR-коммуникаций является создание корпоративного сайта для предприятия и его SEO-оптимизация. Ведь каждый рубль, вложенный в рекламную кампанию предприятия туристической сферы, дает дополнительную прибыль в размере 0,3 рубля.

Заметим, что первыми шагами в SEO-оптимизации является сбор семантического ядра сайта, определение ключевых слов и выбор контента сайта для конкретных поисковых запросов. Это должно быть отправной точкой наполнения сайта контентом. Профессиональное SEO поможет сайту выйти в топ результатов поиска, повысить видимость сайта и увеличить коэффициент конверсии посетителей сайта в клиентов.

Выделим 5 основных причин, по которым компании сегодня недостаточно квалифицированно используют инструмент SEO-оптимизации:

1. Недостаток знаний туристических компаний о полном наборе инструментов интернет-маркетинга и использовании планового концептуального подхода при продвижении туристического сайта.

2. Сильный эффект так называемой SEO-инерции: вся работа по электронному маркетингу основана на топ-фразах и текстовой рекламе. Сильная позиция различных «платежных планов» – позиции, трафик, звонки, шансы – только усугубляет ситуацию, создавая видимость гарантий и развития; непонимание всех возможностей электронного маркетинга и анализа. Многие маркетологи рассматривают интернет только как средство стимулирования продаж.

3. Плохая взаимосвязь предлагаемых инструментов интернет-маркетинга с экономическим планом компании, бизнес-моделью и стратегией роста, а также с системами CRM/ERP.

4. Отсутствие культуры сопровождения исследований и аналитических проверок перед началом любых работ.

5. Маркетинговые кампании строятся на условных заявлениях подрядчиков («Рекомендуем перестроить сайт / Создать группу в соцсетях / Отбор вопросов / Поставить релевантную рекламу»). Такие утверждения, как правило, не подтверждаются фактами. На самом деле, важно выбрать поисковые вопросы для маркетинговых исследований потребительских предпочтений, сегментации аудитории и метрик потребительского продукта.

Основным видом текстовой рекламы может быть контекстная реклама в виде текстовых сообщений. Размер баннера – важный показатель, и его следует учитывать при его разработке. Он должен быстро загружаться и не влиять на работу рекламной площадки.

Текстовые интернет-объявления – это текстовые рекламные объявления, интегрированные в общий текст страницы сайта. Такая реклама может отображаться как неотъемлемая часть страницы. Поскольку многие пользователи блокируют рекламные баннеры, текстовые объявления могут быть более эффективными. К тому же он загружается намного быстрее. Особым видом текстовой рекламы может быть контекстная реклама в виде текстовых сообщений.

Контекстная реклама – это тип динамического позиционирования рекламы в интернете, когда реклама приближается к контексту сайта, на котором она размещена, или запросам посетителей. Самая известная – это реклама в поисковых системах: отображение рекламы на страницах результатов поиска. С точки зрения некоторых компаний, предлагающих услуги интернет-рекламы, контекстная реклама более выгодна исполнителю, чем поисковая оптимизация [9].

После выбора интернет-рекламы перед рекламодателем всегда стоит задача привлечь потенциальных клиентов. Для успешного продвижения рыночных услуг в сфере туризма и рекреации здесь важно активно использовать веб-аналитику. Прежде всего, необходимо сделать эту рекламу привлекательной. Также ценится оперативность и своевременность информации. Современные технологии позволяют ежедневно обновлять информацию и смотреть за состоянием метрик, важность которых мы подчеркивали ранее.

Какую же экономическую выгоду дает оценивание метрик? Во-первых, отдел маркетинга видит, сколько заявок и продаж получает туристическая компания, какова конверсия на каждом этапе в воронке продаж. Во-вторых, бизнес может вовремя реагировать на негативные изменения – можно заметить падение выручки по сравнению с предыдущим периодом, определить причину и исправить ошибки. Далее, компания может отслеживать сезонность – метрики покажут, как меняется спрос на туристический продукт в разное время года. Наличие обширной аудитории различных возрастов, методов воздействия, интерактивности, мультимедийности, таргетированности (возможности точечно сегментировать целевую аудиторию благодаря функционалу), доступ к сайту из любой точки мира, делает PR-коммуникации важнейшим направлением электронной торговли турпродуктом [10, 11].

Для рассмотрения экономической эффективности PR-коммуникаций в сфере туризма рассмотрим основные оценки. Одна из них – CPO («cost per order», стоимость привлечения одной продажи) – показывает сколько денег было потрачено на маркетинговый канал для привлечения одного покупателя. Расходы по рекламе можно смотреть в рекламных кабинетах Google Ads, Яндекс. Директ, myTarget и других. Количество покупок с каждого канала трафика есть

в CRM-системе. Если выручка, которую в среднем приносит одна заявка, ниже показателя CPO, то реклама работает в убыток туристическому бизнесу.

Однако нельзя принимать решение об оптимизации или отключении рекламного канала, основываясь только на одном маркетинговом показателе [12]. Поэтому для экономической оценки PR-эффективности нужны и другие характеристики. Например, CAC («customer acquisition cost», стоимость «приобретения» клиента) – сумма, которую компания платит для привлечения нового клиента за определенный период времени. Проблема расчета этой метрики в том, что невозможно точно подсчитать все расходы, которые понесла компания в процессе привлечения новых клиентов.

Количественных метрик, помимо указанных двух основных, достаточно много, и для учета всех экономических затрат и подсчета прибыли требуются высококвалифицированные специалисты, которых, несмотря на большое число выпускников IT-специальностей, не хватает. Так как подобного рода аналитики должны иметь достаточно большой опыт работы именно в предметной области, зная детали продажи именно туристического продукта [13].

В связи с этим рассмотрим основные виды цифровых PR-коммуникаций в туристической сфере с точки зрения применимости оценочных метрик эффективности продвижения услуг [14–17].

Ключевым направлением современных PR-коммуникаций при реализации продвижения турпродукта является SMM-деятельность. Социальные сети (Вконтакте, Одноклассники, Мой Мир и др.) давно перестали быть каналом общения и поиска друзей. Это мощный инструмент продвижения туристических товаров и услуг путем воздействия на целевую аудиторию. Они обладают важнейшим свойством таргетинга, который с помощью функционала социальных площадок позволяет выделить пользователей по различным признакам (географическим, демографическим, поведенческим, сегментировать по интересам и разделяемому образу жизни). Этот вид рекламы является самым дешевым и охватывает широкий круг потенциальных клиентов.

Чаще всего туристические агентства создают страницу в социальных сетях или группу, которая постоянно отображает информацию об актуальных турах и ценах, где специалисты могут проконсультировать по всем возникающим вопросам. Такую рекламу дают крупнейшие туроператоры Воронежа «Корал Трэвел» и «ПЕГАС Туристик», «Интурист», «Р-Экспресс» и др.).

В сетевых сообществах сообщение передается не корпоративным лицом компании, а «незаинтересованным» блоггером (или просто другом, родственником), поэтому воспринимается как откровенное и правдивое. Наблюдается смещение интереса публики от рекламы, проплаченной фирмой, в сторону рекомендации нейтральной стороны. Важно вести наблюдение за тем, какой информацией о бизнесе пользователи делятся на разных платформах [18].

Для того, чтобы стимулировать туристов подписываться на аккаунты компании в соцсетях, им можно предлагать небольшую скидку на стоимость проживания или предложить бесплатно дополнительную услугу [19, 20]. Также можно подсказать, как постояльцы могут подписывать свои публикации и фотографии из отеля, поставив в номерах таблички с названиями профилей.

Для оценки экономической эффективности в данном случае обычно используется следующая метрика: коэффициент вовлеченности (от англ. engagement rate или сокращенно ER – уровень вовлеченности) – то, как аудитория проявляет активность в аккаунте или под публикацией в соцсетях или на youtube. Например, можно рассчитать соотношение количества комментариев, сохранений постов к общему количеству подписчиков.

Эффективность интернет-каналов зачастую определяется количеством подписчиков: чем их больше, тем лучше. Однако со временем стало очевидно, что пользователи могут быть подписчиками, но не проявлять интерес к сообществу. От пассивной аудитории туристическому бизнесу не стоит ждать экономической выгоды. Поэтому сейчас «полезность» подписчиков определяют, оценивая их активность или вовлеченность в жизнь сообщества.

Заключение

Из представленных экономических перспектив использования PR-коммуникаций в туристической сфере можно сделать вывод о том, что для эффективного продвижения продуктов и услуг необходим контент-маркетинг: размещение на своем и партнерских сайтах тематических обзоров, статей с интересной информацией о туристических услугах и по смежным темам. Большую экономию финансов дает также директ-маркетинг, а именно email-рассылка со спецпредложениями по базе лояльных клиентов.

Важно участие туристических компаний в глобальной системе бронирования (GDS). Наиболее известными являются четыре глобальные системы бронирования: Amadeus, Galileo,

Worldspan, Sabre. С GDS работают более 800 000 различных туристических агентств по всему миру, осуществляя с ее помощью бронирование туристических и гостиничных услуг. Турагентства размещают в GDS информацию о гостиницах следующего характера: цена, доступность номерного фонда, категории номеров, дополнительные услуги и расположение. IDS (интернет-системы бронирования), также известные как ADS (альтернативные системы бронирования) также приносят прибыль туристической сфере. Существует несколько сотен международных систем интернет-бронирования. Наиболее известными среди них служат Booking.com, Expedia.com, HRS.com, Orbitz.com, trivago.com. Кроме того, имеются региональные проекты. Все это увеличивает коэффициент вовлеченности и повышает доход турфирм.

Ретаргетинг (также называемый ремаркетинг) по посетителям сайта туристической фирмы – механизм, позволяющий показ рекламы тем людям, которые есть в базе конкретного рекламного сервиса и уже побывали у вас на сайте, также один из показателей экономической эффективности PR-коммуникаций в туристической сфере.

Анализ поведения посетителей сайта через использование веб-аналитики – Google Analytics и Яндекс-Метрика позволяет проанализировать поведение пользователя на сайте и оценить эффективность каналов онлайн продвижения бизнеса, а также правильно распределить финансовые вложения в продвижение турпродукта. Непрерывный анализ в сочетании с экспериментальной деятельностью гарантирует достижение поставленных целей: снижение расходов и увеличение эффективности рекламы, увеличение трафика, повышение конверсионных показателей, стабильный рост дохода компании.

Основное требование к веб-сайту туристического агентства – эффективность. При поиске билета в глобальной сети интернет-покупатель должен получить больше информации, чем в других СМИ с использованием PR-технологий. Краткая справочная информация должна быть доступна на туристических порталах. Заказчик имеет право перейти с туристического портала на сайт туристической компании для получения более подробной и актуальной информации. Однако необходимо ограничить объем информации по конкретной стране. Вы можете получить доступ к этим данным на других специализированных сайтах. Информация о конкретных предложениях сначала запрашивается на сайте туристической компании.

На своем веб-сайте можно выделить конкурентные преимущества собственного туристического продукта в скрытой форме с разными заголовками, например, «Часто задаваемые вопросы», или на форуме вы можете сравнить свой туристический продукт с продуктом конкурента.

Аналитические системы позволяют выяснить, с каких устройств пользователи заходят на сайт. Они также дают возможность увидеть средний показатель отказов по сайту или по каждой странице. Это позволит понять, какие страницы наименее интересны пользователю и требуют каких-либо изменений в структуре, дизайне, цветовой гамме, содержании.

Полученная статистика является основополагающим материалом для проведения экспериментов с отдельными элементами сайта (например, кнопкой бронирования) или целыми разделами, результатом которого станет эффективно работающий интернет-проект, который помогает продвигать услуги компаний туристической сферы.

Согласно данным статистики, ежемесячно около 500 миллионов людей вводят в окна поисковых систем примерно 12 миллиардов запросов. До 94% посетителей приходят на веб-ресурсы с сайтов поисковиков. При этом около 80% пользователей используют для этого исключительно ссылки из органической выдачи, игнорируя контекстную рекламу. Не менее 45% покупателей современных интернет-магазинов приходят с поисковых машин. Примерно 51% пользователей узнают о появлении новых интернет-проектов благодаря результатам поисковой выдачи. Это подтверждает значение поисковой оптимизации в маркетинговой кампании турфирмы, нацеленной на увеличение трафика из интернета и роста числа реальных клиентов.

Корректный подход к разработке сайта и организация рациональной маркетинговой кампании с привлечением специалистов в области веб-аналитики позволит выбрать правильные методы популяризации компании, повысить интерес целевой аудитории к данному интернет-проекту в частности и туристическому сектору в целом.

Литература

1 Краев В.Н. Методы принятия управленческих решений // Управление, подбор персонала. 2014. С. 67.

2 Grant R.M. Contemporary strategy analysis. John Wiley & Sons, 2021.

3 Ireland R., Hitt M. Achieving and maintaining strategic competitiveness in the 21st century: The role of strategic leadership // Academy of Management Executive. 2005. № 4 (19). P. 63–77.

4 Snowdon B., Stonehouse G. Competitiveness in globalized world: Michael Porter on the Microeconomic Foundations of the Competitiveness of Nations, Regions and Firms // Journal of International Business Studies. 2006. № 2 (37). P. 163–175.

5 Dey P.K., Petridis N.E., Petridis K., Malesios C. et al. Environmental management and corporate social responsibilitypractices of small and medium-sized enterprises // Journal of cleaner production. 2018. № 195. P. 687–702.

6 Collings D.G., Mellahi K., Cascio W.F. Global talent management and performance in multinational enterprises: A multilevel perspective // Journal of Management. 2019. № 45 (2). P. 540–566.

7 Hilorme T., Chorna M., Karpenko L., Milyavskiy M. et al. Innovative model of enterprises personnel incentives evaluation // Academy of Strategic Management Journal. 2018. № 17 (3). P. 1–6.

8 Егорова Г.Н., Дерканосова А.А., Гребенникова Н.И. Технологический подход в применении арсенала средств педагогики // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2014. Т. 10. №. 5-2. С. 65-68.

9 Drosou M., Jagadish H.V., Pitoura E., Stoyanovich J. Diversity in big data: A review // Big data. 2017. № 5 (2). P. 73–84.

10 Глаголева Л.Э., Зацепилина Н.П., Ковалева Е.Н., Зацепилина Л.С. и др. Интернет-продвижение рыночных услуг в сфере туризма и рекреации // Лизинг. 2021. № 5. С. 16–21.

11 Ассоциация туроператоров (АТОР): аналитика. URL: http://www.atorus.ru/ratings.html

12 Итоги внутреннего и выездного туризма в 2016 году. URL: http://turstat.com/travelrussia2016

13 Портал GoogleAdWords. Интернет-реклама от Google. URL: http://www.adwords.google.com

14 Bukharin S.V., Melnikov A.V., Chernyaeva S.N., Korobova L.A. The method of immersion the problem of comparing technical objects in an expert shell in the class of artificial intelligence algorithms // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering International Conference on Materials. 2017. P. 012208.

15 Глаголева Л.Э., Зацепилина Н.П., Ковалева Е.Н., Зацепилина Л.С. и др. Интернет-маркетинг как инструмент продвижения рыночных услуг в сфере гостеприимства и гостиничном деле // Лизинг. 2021. № 3. С. 4–11.

16 Grillia L., Mazzucatob M., Meolic M., Scellatode G. Sowing the seeds of the future: Policies for financing tomorrow's innovations // Technological Forecasting and Social Change. 2018. № 127. P. 1–7.

17 Chekudaev K.V., Zhukova E.E. Application of PEST and SNW analysis methods to determine an enterprise's development strategy // XI International scientific and practical conference: State and Business. Ecosystem of the digital economy. North-West Institute of Management. 2019. P. 101–105.

18 Platonova I.V., Gorkovenko E.V., Chekudaev K.V. The system of indicators for assessing the innovative mechanism of an enterprise // Economics and Entrepreneurship. 2013. № 1. P. 360.

19 Алексеев Г.В., Егошина Е.В., Боровков М.И., Егорова Г.Н. Применение сегментного анализа для разработки стратегии развития образовательного учреждения // Вестник ВГУИТ. 2015. №. 3 (65). С. 224-227.

20 Cagnin C., Havas A., Saritas O. Future-oriented technology analysis: Its potential to address disruptive transformations // Technological Forecasting and Social Change. 2018. № 80. P. 379–385.

References

1 Kraev V.N. Methods of managerial decision-making. Management, personnel selection. 2014. p. 67. (in Russian).

2 Grant R.M. Contemporary strategy analysis. John Wiley & Sons, 2021.

3 Ireland R., Hitt M. Achieving and maintaining strategic competitiveness in the 21st century: the role of strategic leadership. Academy of Executive Power Management. 2005. no. 4 (19). pp. 63–77.

4 Snowdon B., Stonehouse G. Competitiveness in a globalized world: Michael Porter on the microeconomic foundations of competitiveness of countries, regions and firms. Journal of International Business Studies. 2006. no. 2 (37). pp. 163–175.

5 Day P.K., Petridis N.E., Petridis K., Malezios S. et al. Environmental management and corporate social responsibilitypractics of small and medium-sized enterprises. Journal of Clean Production. 2018. no. 195. pp. 687–702.

6 Collings D.G., Mellahi K., Cascio V.F. Global talent management and productivity in multinational enterprises: multilevel perspective. Journal of Management. 2019. no. 45 (2). pp. 540–566.

7 Hilorm T., Chernaya M., Karpenko L., Milyavsky M. et al. An innovative model for evaluating incentives for personnel of enterprises. Journal of the Academy of Strategic Management. 2018. no. 17 (3). pp. 1–6.

8 Egorova G.N., Derkanosova A.A., Grebennikova N.I. Technological approach in the application of the arsenal of pedagogical tools. Proceedings of VSUET. 2014. no. 10 (5–2). pp. 65–68. (in Russian).

9 Drosou M., Jagadish H.V., Pitoura E., Stoyanovich J. Diversity in big data: A review. Big data. 2017. no. 5 (2). pp. 73–84.

10 Glagoleva L.E., Zatsepilina N.P., Kovaleva E.N., Zatsepilina L.S. and other Internet promotion in the market of services in the field of tourism and recreation. Leasing. 2021. no. 5. pp. 16–21. (in Russian).

11 Association of Tour Operators (ATOR): analytics. Available at: http://www.atorus.ru/ratings.html (in Russian).

12 Results of domestic and outbound tourism in 2016. Available at: http://turstat.com/travelrussia2016 (in Russian).

13 GoogleAdWords Portal. Internet advertising from Google. Available at: http://www.adwords.google.com (in Russian).

14 Bukharin S.V., Melnikov A.V., Chernyaeva S.N., Korobova L.A. Method of immersion of the problem of comparing technical objects in an expert shell in the class of artificial intelligence algorithms. IOP Conference Series: International Conference on Materials Science and Engineering. Materials. 2017. pp. 012208.

15 Glagoleva L.E., Zatsepilina N.P., Kovaleva E.N., Zatsepilina L.S. et al. Internet marketing as a tool for promoting market services in the field of hospitality and hotel business. Leasing. 2021. no. 3. pp. 4–11. (in Russian)

16 Grilla L., Mazzukatob M., Meolik M., Skellatod G. Sowing the seeds of the future: the policy of financing innovations of tomorrow. Technological forecasting and social change. 2018. no. 127. pp. 1–7.

17 Chekudaev K.V., Zhukova E.E. Application of PEST and SNW analysis methods to determine the strategy of enterprise development. XI International Scientific and Practical Conference: State and Business. The ecosystem of the digital economy. North-Western Institute of Management. 2019. pp. 101–105.

18 Platonova I.V., Gorkovenko E.V., Chekudaev K.V. A system of indicators for evaluating the innovative mechanism of an enterprise. Economics and entrepreneurship. 2013. no. 1. pp. 360.

19 Alekseev G.V., Egoshina E.V., Borovkov M.I., Egorova G.N. Using segment analysis to develop an educational institution development strategy. Proceedings of VSUET. 2015. no. 3 (65). pp. 224–227. (in Russian).

20 Kanyin S., Havas A., Saritas O. Analysis of future-oriented technologies: its potential for solving the problems of destructive transformations. Technological forecasting and social changes. 2018. no. 80. pp. 379–385.

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, milaprofi@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3222-301X

Наталья 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
https://orcid.org/0000-0001-8554-9972

Елена Н. Ковалева к.т.н., доцент, кафедра высшей математики и информационных технологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kovaleva.lena@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-8558-4724

Лилия С. Зацепилина студент, факультет среднего профессионального образования, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lilia.zatsepilina@ya.ru

Алиса Б. Сандберг студент, факультет безотрывного образования, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, sandberg.alisa@gmail.com

Марк Е. Сехниев студент, факультет экономики и управления, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, markys0987@mail.ru

Information about authors

Lyudmila E. Glagoleva Dr. Sci. (Engin.), professor, tourism and hotel business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, milaprofi@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3222-301X

Natalya P. Zatsepilina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, tourism and hotel business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nataha.zatsepilina@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-8554-9972

Elena N. Kovaleva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, higher mathematics and information technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kovaleva.lena@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-8558-4724

Lilia S. Zatsepilina student, faculty of secondary vocational education, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lilia.zatsepilina@ya.ru

Alisa B. Sandberg student, faculty of continuing education, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, sandberg.alisa@gmail.com

Mark E. Sekhniev student, faculty of economics and management, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, markys0987@mail.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 15/04/2022	**После редакции** 11/05/2022	**Принята в печать** 02/06/2022
Received 15/04/2022	**Accepted in revised** 11/05/2022	**Accepted** 02/06/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-305-314 Оригинальная статья/Research article
УДК 657.47 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Оценка результативности труда по критерию добавленной стоимости

Роман В. Нуждин [1] rv.voronezh@gmail.com 0000-0002-1494-5588
Александр А. Хорев [1] horev_a_i@mail.ru 0000-0002-8438-0607
Мирон А. Карпович [2] ma.karpovich@cds.vrn.ru 0000-0002-5690-8400
Оксана О. Лукина [1] oks.lukina@gmail.com 0000-0003-2658-1512
Владимир Н. Мельничук [3] sasham112@mail.ru

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 Воронежский государственный технический университет, пр-т Московский, 14, г. Воронеж, 394026, Россия
3 Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е.
4 Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, 394064, Россия

Аннотация. Процессно-стоимостной анализ результатов труда ориентирован, прежде всего, на оценку уровня, структуры и динамики добавленной стоимости, которая рассматривается как основной источник достижения интересов персонала, собственников и государства. При оценке пропорций распределения добавленной стоимости, обеспечивающих паритет интересов ключевых стейкхолдеров, как правило, недоучитывается масса сгенерированных при этом обязательных платежей в виде налога на добавленную стоимость. Основная цель данного исследования - адаптация существующих методических подходов к оценке результатов труда персонала телекоммуникационных компаний с целью повышения их аналитической пригодности на основе оценочных процедур, обеспечивающих реализацию преимуществ процессно-стоимостного бизнес-анализа. Разработанный методический подход базируется на распределенной оценке добавленной стоимости. В частности, последовательно (на пяти этапах) оцениваются: 1) доля добавленной стоимости в совокупных доходах, учитывающих поступления по прочим видам деятельности; 2) уровень доходов персонала, как основы повышения мотивации и качества труда; 3) доля доходов персонала в добавленной стоимости и сгенерированных при ее создании обязательных платежах; 4) уровень производительности труда; 5) соотношение темпов динамики производительности и оплаты труда. С целью повышения достоверности выводов, основанных на данных процессно-стоимостного анализа результатов труда, выделены три зоны интересов (по количеству ключевых стейкхолдеров), по каждой из которых предусмотрены корректирующие операции, обеспечивающие не только возможность проведения ретроспективного анализа, но и прогнозирования возможности паритета интересов. Апробация предложенных оценочных процедур проведена по материалам трех телекоммуникационных компаний Воронежской области за 2017-2019 гг. На основании полученных результатов сделан вывод о возможности создания услуг с высокой добавленной стоимостью, адекватном уровне оплаты труда персонала телекоммуникационных компаний на региональном уровне, определенных диспропорциях в распределении добавленной стоимости. Доказана целесообразность критериальной оценки динамического соотношения производительности труда и его оплаты при достижении необходимого уровня результатов на предыдущих этапах оценки.

Ключевые слова: процессно-стоимостной анализ, результаты труда, оценочные процедуры, добавленная стоимость, ключевые стейкхолдеры, добавленная стоимость, производительность труда, телекоммуникационные компании.

Evaluation of labor productivity by value added criterion

Roman V. Nuzhdin [1] rv.voronezh@gmail.com 0000-0002-1494-5588
Alexander I. Khorev [1] horev_a_i@mail.ru 0000-0002-8438-0607
Miron A. Karpovich [2] ma.karpovich@cds.vrn.ru 0000-0002-5690-8400
Oksana O. Lukina [1] oks.lukina@gmail.com 0000-0003-2658-1512
Vladimir N. Melnichuk [3] sasham112@mail.ru

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia
2 Voronezh State Technical University, Moskovskiy Av., 14, Voronezh, 394026, Russia
3 Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Starykh
4 Bol'shevikov St., 54a, Voronezh, 394064, Russia

Для цитирования
Нуждин Р.В., Хорев А.И., Карпович М.А., Лукина О.О., Мельничук В.Н. Оценка результативности труда по критерию добавленной стоимости // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 305–314. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-305-314

For citation
Nuzhdin R.V., Khorev A.I., Karpovich M.A., Lukina O.O., Melnichuk V.N. Evaluation of labor productivity by value added criterion. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 305–314. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-305-314

© 2022, Нуждин Р.В. и др. / Nuzhdin R.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Abstract. The process-value analysis of labor results is focused on the assessment of the level, structure and dynamics of added value, which is considered as the main source of achieving the interests of personnel, owners and the state. When assessing the proportions of value added distribution that ensure the parity of interests of key stakeholders, as a rule, the mass of mandatory payments generated in the form of value added tax is underestimated. The main goal of this study is to adapt existing methodological approaches to evaluating the results of the work of personnel of telecommunication companies in order to improve their analytical suitability based on evaluation procedures that ensure the realization of the benefits of process cost business analysis. The developed methodological approach is based on distributed value added assessment. In particular, the following are evaluated sequentially (in five stages): 1) the share of value added in total income, taking into account receipts from other types of activities; 2) the level of income of the staff, as the basis for increasing the motivation and quality of work; 3) the share of personnel income in value added and mandatory payments generated during its creation; 4) the level of labor productivity; 5) the ratio of the rate of dynamics of productivity and wages. In order to increase the reliability of the conclusions based on the data of the process-cost analysis of labor results, three zones of interest were identified (by the number of key stakeholders), for each of which corrective operations are provided that provide not only the possibility of conducting a retrospective analysis, but also predicting the possibility of parity of interests. Approbation of the proposed assessment procedures was carried out based on the materials of three telecommunications companies in the Voronezh region for 2017-2019. Based on the results obtained, a conclusion was made about the possibility of creating services with high added value, an adequate level of remuneration for the personnel of telecommunication companies at the regional level, and certain disproportions in the distribution of value added. The expediency of a criteria-based assessment of the dynamic ratio of labor productivity and its payment is proved when the required level of results is achieved at the previous stages of the assessment.

Keywords: process cost analysis, labor results, evaluation procedures, added value, key stakeholders, added value, labor productivity, telecommunications companies.

Введение

Развитие экономики в целом и телекоммуникационных компаний, в частности, сопряжено с необходимостью роста производительности труда. Данная позиция не вызывает сомнения и находит подтверждение во многих отечественных и зарубежных исследованиях, выполненных на макро- и микроуровнях с акцентом на различных сущностных характеристиках данного аспекта, в том числе факторах, определяющих ее уровень и динамику [1, 2, 10]. В то же время проведенный нами контент анализ позволил выявить определенные позиционные разногласия, которые обусловлены постулированием требования опережающего роста производительности труда по сравнению с оплатой труда [3]. Как правило, принципиальная поддержка указанного соотношения выражается при допущении, что размер оплаты труда находится на достаточном уровне, обеспечивающем необходимую мотивацию персонала на высокопроизводительный труд и развитие трудовой составляющей.

Использование показателей, характеризующих производительность труда в натуральном выражении, не вызывает методологических трудностей в реализации оценочных процедур, но в то же время, обладает ограниченным потенциалом применения при сравнении результатов различных компаний, что обусловлено, как правило, фрагментарно совпадающими перечнями выполняемых работ и оказываемых услуг.

Стоимостные показатели характеризуются более широкой аналитической целепригодностью, однако имеют ряд методологических допущений, которые должны быть учтены в процессе оценки как производительности, так и оплаты труда в пространстве и во времени [7]. В качестве стоимостных результатов труда, полученных одним работником или за единицу времени, при расчете производительности традиционно используются: выручка (доходы за вычетом НДС) [1], прибыль (валовая, от продажи, чистая) [2] или добавленная стоимость [5]. Аутентичным преимуществом реализации стоимостного подхода при оценке производительности телекоммуникационных компаний, в отличие от производственных предприятий, является отсутствие негативного влияние временного фактора, поскольку отчетный период и период оказания услуг совпадают. Таким образом, не требуется проведение дополнительных корректирующих процедур.

Использование выручки, несмотря на простоту расчетов и рекомендации отдельных авторов, является наиболее некорректным с экономической точки зрения. Во-первых, выручка структурно представляет собой результат труда персонала не только оцениваемой организации, но и организаций-поставщиков, выраженный в себестоимости материалов, работ и услуг. Во-вторых, выручка характеризует результат только основной (обычной) деятельности. Недоучет доходов по прочим видам деятельности при оценке производительности труда в масштабах всей компании может оказать существенное влияние на уровень полученных результатов и выработку на их основе управленческих решений.

Использование показателя прибыли при расчете производительности труда, по нашему мнению, также следует признать некорректным по многим причинам, в числе которых получение отрицательных финансовых результатов.

Материалы и методы

Наиболее обоснованным, на наш взгляд, является осуществление расчета производительности труда на основе показателя добавленной стоимости. Данный подход использован во многих научных практических работах [4, 5, 10]. В международной практике различают валовую добавленную стоимость (gross value added (GVA)) и чистую добавленную стоимость (net value added (NVA)). При расчете NVA совокупные доходы уменьшаются на сумму начисленной амортизации, при расчете GVA подобная корректировка не осуществляется.

Приказом Минэкономразвития России от 28.12.2018 № 748 утверждена Методика расчета показателей производительности труда предприятий, отрасли и субъекта РФ. В соответствии с данной методикой для организаций, не осуществляющих формирование консолидированной отчетности в соответствии с требованиями международных стандартов финансовой отчетности, добавленная стоимость определяется как «сумма прибыли, расходов на оплату труда, страховых выплат, налогов и сборов (за исключением налога на прибыль) и амортизации основных средств и нематериальных активов». Аналогичный подход к расчету добавленной стоимости (GVA) на уровне государства используется при определении ВВП. Однако его применение в масштабе хозяйствующего субъекта при определении производительности труда, по нашему мнению, является весьма спорным. Во-первых, амортизационные отчисления представляют собой часть первоначальной стоимости объектов, списанную в данном периоде на себестоимость продукции (т. е. являются платой организации за использование основных средств и нематериальных активов). Стоимость приобретенных объектов (в полном объеме) должна учитывается только организациями, которые их произвели, в противном случае происходит повторный учет ранее созданной добавленной стоимости. Даже если объекты были созданы компанией самостоятельно, то расходы на оплату труда, страховые выплаты, налоги и сборы были учтены в составе добавленной стоимости в тех периодах, в которых они были созданы. Во-вторых, если компания не покупает основное средство и, как следствие, не начисляет амортизацию (в сумме 100000 р.), а арендует объект (за 100000 рублей), то в соответствии с рекомендуемой методикой добавленная стоимость и производительность при прочих равных условиях в этом случае будут ниже. С точки зрения оценки производительности труда способ поступления внеоборотных активов в организацию не является принципиальным и не должен оказывать разновеликое влияние на результаты труда.

В данных условиях повышается значимость методологических аспектов, определяющих содержание и порядок реализации оценочных процедур, и необходимость их развития и адаптации к конкретным задачам менеджмента, прежде всего на уровне телекоммуникационной компании.

Поскольку соотношение роста производительности труда и его оплаты затрагивает интересы различных стейкхолдеров, то возникает потребность применения аналитических процедур, оценивающих добавленную стоимость, а также выполнения оценки возможностей позитивных изменений уровня ее структурных элементов и обеспечение положительного вектора их динамики (параметрический анализ). Решение этой управленческой задачи обеспечивает использование инструментов процессно-стоимостного бизнес-анализа. Методическое обеспечение бизнес-анализа развития экономической деятельности телекоммуникационных компаний включает в себя оценку показателей, индикаторов и параметров, учитывающих интересы государства, организаций и персонала. Иначе говоря, добавление стоимости бизнеса не только повышает его синергетическую эффективность [5], но и может увеличивать налоговое бремя, в том числе по НДС. Поэтому, принимая за основу процессно-стоимостного бизнес-анализа дедуктивный подход, целесообразно выявить причины и следствия формирования массы добавленной стоимости и её изменения в ходе развития экономической деятельности телекоммуникационной компании не только как хозяйствующего субъекта, осуществляющего рост стоимости бизнеса, но и как налогоплательщика, обременённого обязательствами перед государством, и работодателя, осуществляющего мотивацию персонала.

Стоимость продаж агрегировано может быть представлена как совокупность: стоимости приобретенных ресурсов, добавленной стоимости (в том числе прибыли), налога на добавленную стоимость (рисунок 1).

Приобретение ресурсов, работ и услуг, как правило, сопряжено с уплатой «входящего НДС», а «потребление» их – со списанием суммы «входящего НДС». Таким образом, стоимость приобретенных сырья и материалов, основных средств, работ и услуг не увеличивает массу добавленной стоимости, созданной организацией. В то же время наличие определенного вида ресурсов (даже если они не используются в бизнес-процессах) связано с обязанностью организации исчислить и уплатить: налог на имущество,

земельный, налог, транспортный налог, суммы, которых увеличивают расходы организаций и, как следствие, добавленную стоимость.

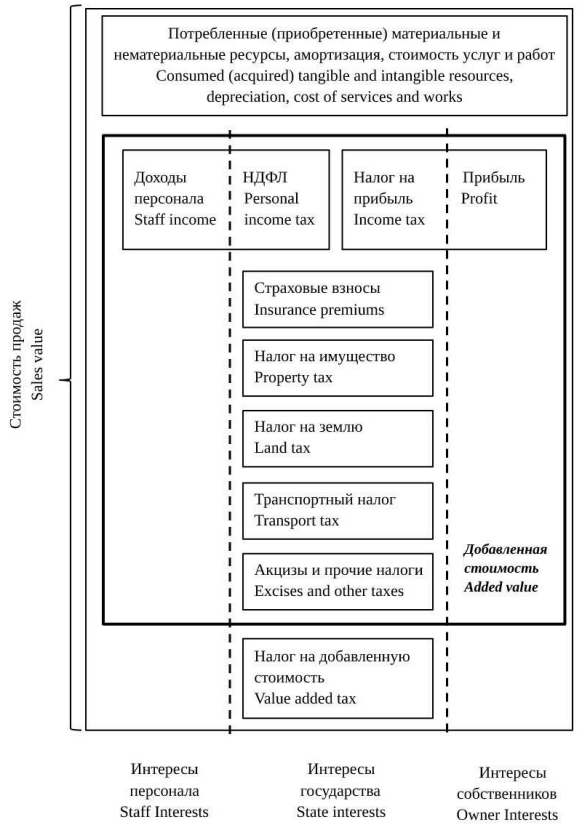


Рисунок 1. Структурная характеристика стоимости продаж

Figure 1. Structural characteristic of sales value

С учетом особенностей бизнес-деятельности телекоммуникационных компаний оценивать уровень и динамику производительности труда предлагается в соответствии со следующим алгоритмом:

определить совокупные доходы (за вычетом НДС) (сумма доходов по обычным видам деятельности и прочих доходов);

рассчитать добавленную стоимость как разницу между совокупными доходами и суммой затрат на приобретенные работы и услуги, амортизационных отчислений, прочих расходов;

оценить пропорции распределения добавленной стоимости и сгенерированных платежей между основными стейкхолдерами;

определить уровень производительности труда;

сравнить темпы динамики производительности и оплаты труда.

Результаты

Характерной особенностью бизнеса в области телекоммуникаций является создание услуг с высокой добавленной стоимостью (более 60 %), доля которой в совокупных доходах компаний зависит от масштаба бизнеса и соответствия ему технической и трудовой составляющих. Неэффективное использование указанных составляющих ресурсного потенциала является причиной низких результатов экономической деятельности.

Таблица 1.

Расчет добавленной стоимости телекоммуникационных компаний К1–К3 Воронежской области (2017–2019 годы)

Table 1.

Calculation of the value added of telecommunications companies K1–K3 of the Voronezh region (2017–2019)

Показатель | Indicator	Год | Year	Шифр компании | Company Code		
		К1	К2	К3
Совокупные доходы, тыс. р. Total income, thousand rubles	2017	142750	1243990	519454
	2018	158043	1156473	534772
	2019	157680	1471211	539682
Стоимость приобретенных работ и услуг, тыс. р. Cost of acquired works and services, thousand rubles	2017	44894	747182	267894
	2018	50738	769559	248251
	2019	42107	1090947	250304
Амортизация, тыс. р. Depreciation, thousand rubles	2017	2487	70988	17317
	2018	2369	74885	16055
	2019	2182	81312	17196
Прочие расходы, тыс. р. Other expenses, thousand rubles	2017	2707	38133	19238
	2018	2562	68764	18685
	2019	2773	82658	10017
Добавленная стоимость, тыс. р. Added value, thousand rubles	2017	92662	387687	215005
	2018	102374	243265	251781
	2019	110618	216294	262165
Доля добавленной стоимости в совокупных доходах, % Share of value added in total income, %	2017	64,91	31,16	41,39
	2018	64,78	21,04	47,08
	2019	70,15	14,70	48,58

Результаты оценки добавленной стоимости обследуемых организаций Воронежской области (таблица 1) свидетельствуют об определенных проблемах в бизнес-деятельности компаний К2 и К3, в структуре которых превалируют расходы на приобретенные ресурсы и услуги. В тоже время ежегодное увеличение массы добавленной стоимости в компаниях К1 и К3 обусловлен не ростом масштабов бизнеса, а активизацией внутренних резервов: во-первых, темпы прироста совокупных доходов меньше уровня инфляции; во-вторых, темпы прироста добавленной стоимости выше темпов роста совокупных доходов. В компании К2 наблюдается сокращение масштабов деятельности компании в результате включения ее в 2018 г. в санкционные списки Украины до 21.06.2021 (Приказы 126/2018, 176/2018). Снижение массы добавленной стоимости в компании К2 связано также с неоптимальной структурой используемых активов, в частности, сумма начисленной амортизации по объектам основных средств в 2018–2019 гг. превышала массу чистой прибыли (в 2019 г. почти в 6 раз).

Доля прочих доходов и расходов в совокупной их массе незначительна (не более 6 %), тем не менее, они были учтены нами в ходе апробации предложенных оценочных процедур с целью повышения точности результатов и обеспечения возможности их дальнейшего применения при оценке других субъектов хозяйствования.

Рассматривая систему взаимоотношений между государством, организацией и персоналом можно сделать обоснованное предположение, что работодатель заинтересован в качественных результатах труда, а персонал – в их адекватной оплате [3, 9]. Добавленная стоимость и генерируемые ею платежи в бюджет выступают в качестве основного источника удовлетворения интересов персонала, собственников и государства. В данном контексте приоритетное значение имеет установление паритетных пропорций распределения добавленной стоимости.

Для телекоммуникационных компаний чистая прибыль – основной источник пополнения собственного капитала и удовлетворения целевых финансовых интересов их собственников. Обследуемые компании не практикуют ежегодное начисление и выплату дивидендов. По данным бухгалтерской финансовой отчетности за 2017–2019 гг. дивиденды, несмотря на положительные финансовые результаты, были начислены и выплачены только в 2017 г. в компании К3 в размере 40 тыс. р. Таким образом, потенциально масса доходов государства может быть увеличена еще на 15 % от суммы выплаченных дивидендов.

Фактические данные свидетельствуют об отсутствии каких-либо пропорций в распределении добавленной стоимости обследуемых телекоммуникационных компаний (таблица 2). Наименьшая доля добавленной стоимости распределяется в виде чистой прибыли (83,33 % всех наблюдений). Уровень доходов государства в разрезе организаций меньше подвержен изменению, чем доходы остальных стейкхолдеров (не более 4 пунктов), что объясняется законодательным регулированием процессов исчисления и уплаты налогов и сборов. Тем не менее, полученные результаты свидетельствуют о наличии недоиспользованных возможностей в компаниях К2 и К3, в которых на долю государства приходится 43–44 % всей генерируемой стоимости.

Стоимостная оценка использования человеческих ресурсов характеризуется начисленными доходами персонала, суммой обязательных страховых взносов и взносов на страхование от несчастных случаев в производстве и профзаболеваний. Однако, с позиций персонала, как одного из основных стейкхолдеров, превалирующее значение имеет масса денежных средств, полученных за конкретный период. То есть при распределении добавленной стоимости и сгенерированных при ее создании платежей суммы НФДЛ необходимо учитывать в составе доходов государства, а не персонала (таблица 2), что позволяет судить о реальных возможностях удовлетворения потребностей персонала. Только после выполнения данного условия можно обоснованно проводить оценку динамических соотношений производительности и оплаты труда. Следует отметить, что средний уровень оплаты труда в обследуемых компаниях был выше среднерегиональных показателей (таблица 3). При этом масса доходов персонала в компаниях К1 и К3 после удержания НДФЛ варьировалась в диапазоне 50000–63000 рублей в месяц.

В соответствии с обоснованной выше позицией нами для целей проведения процессно-стоимостного бизнес-анализа масса добавленной стоимости для расчета производительности труда была увеличена на сумму НДС, подлежащей к уплате в бюджет (таблица 4). В разработанной методике нами предложено использовать именно расчетную величину добавленной стоимости, поскольку в практической деятельности период использования приобретенных внеоборотных активов, как правило, не совпадает с моментом вычета уплаченного налога на добавленную стоимость. В результате амортизация в текущем периоде ошибочно может быть включена в состав добавленной стоимости.

Таблица 2.

Распределение стоимости, сгенерированной телекоммуникационными компаниями Воронежской области по зонам интересов основных стейкхолдеров

Table 2.

Distribution of value generated by telecommunication companies of the Voronezh region by areas of interest of the main stakeholders

Шифр компании Company Code	Год | Year	Зона интересов персонала Staff interest zone		Зона интересов собственников Zone of interests of owners		Зона интересов государства Zone of state interests	
		Доходы персонала Staff income		Чистая прибыль Net profit		Доходы государства State revenue	
		тыс. р. thousand rubles	%	тыс. р. thousand rubles	%	тыс. р. thousand rubles	%
К1	2017	37800	34,57	28977	26,50	42564	38,93
	2018	29875	24,73	46524	38,51	44402	36,76
	2019	36845	28,23	44957	34,44	48727	37,33
К2	2017	143318	31,33	130354	28,49	183799	40,18
	2018	111490	38,84	48683	16,96	126880	44,20
	2019	129914	50,90	12808	5,02	112505	44,08
К3	2017	137390	53,25	8107	3,14	112509	43,61
	2018	131008	43,36	49968	16,54	121161	40,10
	2019	136931	43,53	41514	13,20	136153	43,28

Таблица 3.

Уровень начисленных доходов персонала телекоммуникационных компаний Воронежской области (в среднем за месяц)

Table 3.

The level of accrued income of personnel of telecommunications companies in the Voronezh region (on average per month)

Год | Year	В среднем по региону, тыс. р. Average for the region, thousand rubles	К1		К2		К3	
		тыс. р. thousand rubles	сравнительная оценка comparative value	тыс. р. thousand rubles	сравнительная оценка comparative value	тыс. р. thousand rubles	сравнительная оценка comparative value
1	2	3	4 = 3/2	5	6 = 5/2	7	8 = 7/2
2017	42470	64804	1,53	57568	1,36	58393	1,37
2018	44121	57613	1,31	45482	1,03	59513	1,35
2019	51298	72393	1,41	53688	1,05	60690	1,18

Таблица 4.

Оценка производительности труда в телекоммуникационных компаниях К1–К3 Воронежской области (2017–2019 годы)

Table 4.

Assessment of labor productivity in telecommunications companies К1–К3 of the Voronezh region (2017–2019)

Шифр компании Company Code	Год | Year	Добавленная стоимость (ДС), тыс. р. Value added (DS), thousand rubles	НДС к уплате в бюджет, тыс. р. VAT payable to the budget, thousand rubles	Сумма ДС и НДС, тыс. р. Amount of DS and VAT, thousand rubles	Среднегодовая численность персонала, чел. Average annual headcount, people	Производительность труда, тыс. р./чел. Labor productivity, thousand rubles/person
1	2	3	4	5 = 3 + 4	6	7 = 5/6
К1	2017	92662	16679	109341	56	1953
	2018	102374	18427	120801	50	2416
	2019	110618	19911	130529	49	2664
К2	2017	387687	69784	457471	240	1906
	2018	243265	43788	287053	237	1211
	2019	216294	38933	255227	233	1095
К3	2017	215005	43001	258006	227	1137
	2018	251781	50356	302137	213	1418
	2019	262165	52433	314598	213	1477

Таблица 5.

Динамические соотношения производительности и оплаты труда в телекоммуникационных компаниях К1 – К3 Воронежской области (2017–2019 годы)

Table 5.

Dynamic ratios of productivity and wages in telecommunications companies К1–К3 of the Voronezh region (2017–2019)

Шифр компании Company Code	Год | Year	Темпы динамики среднегодовой заработной платы одного работника, % The pace of dynamics average annual salary per employee, %	Темпы динамики производительности труда, % The pace of dynamics labor productivity, %	Коэффициент опережения, ед. Lead coefficient, units
1	2	3	4	5 = 4/3
К1	2018	0,885	1,237	1,398
	2019	1,258	1,103	0,876
К2	2018	0,788	0,635	0,807
	2019	1,185	0,904	0,763
К3	2018	1,016	1,248	1,228
	2019	1,045	1,041	0,996

Лучшие результаты по уровню производительности труда на протяжение всего исследуемого периода были отмечены в компании К1, ежегодно повышавшей результативность своей деятельности (по данному параметру). Худшие результаты были достигнуты в компании К2, которая, как уже отмечалось выше, в условиях санкций со стороны украинских властей не смогла обеспечить эффективное использование технической и трудовой составляющих в 2018–2019 годах. То есть имеющийся потенциал, в том числе численность персонала, в компании К2 не соответствует масштабу бизнес-деятельности.

Сделанный выше вывод подтверждают значения коэффициента опережения, характеризующего отношение темпов динамики производительности труда и темпов динамики оплаты труда. В компании К2 они были меньше единицы, что не соответствует критериальному значению (1,0 ед.), обеспечивающему развитие организации (таблица 5). Паритет темпов динамики не был обеспечен в 2019 году ни в одной из организаций, что связано с высокой конкуренцией на рыке и невозможностью интенсификации роста объема оказываемых услуг. Кроме того, в обследуемых организациях повышение производительности труда в основном происходило за счет роста качества и стоимости оказываемых услуг, что было бы невозможно без развития трудовых ресурсов. Ограниченный период исследования не позволил выявить характерные тенденции – цикличность роста производительности труда, обусловленную влиянием факторов внешней среды. Тем не менее, в сложившейся ситуации использование критериальных значений коэффициента опережения в качестве инструмента оценки возможностей и направлений развития телекоммуникационных компаний Воронежской области является целесообразным и экономически обоснованным.

Обсуждение

В отличие от производственных организаций, для которых характерен необоснованно низкий уровень оценки труда персонала, отмечаемый в работах Смирновой Е.А., Тарасовой Е.А., Постновой М.В., Кваши В.А., Бурыкина А.Д., Аранжина В.В. и других [1–5, 11–20], в телекоммуникационных компаниях в ходе исследования нами были отмечены значения, превышающие среднерегиональный уровень. В связи с этим мы разделяем позицию, авторов, которые считают необходимым повышение размера оплаты труда при росте производительности труда. Кроме того, интенсификация роста производительности труда в телекоммуникационных компаниях сопряжена, прежде всего, ростом качества оказываемых услуг. В остальных случаях рост оплаты труда является реакцией на инфляционные процессы или другие изменения внешней, а не внутренней среды. Проведенные ранее исследования свидетельствуют о том, что, несмотря на доходную экономическую деятельность телекоммуникационных компаний Воронежской области, маштабирование бизнеса ограничивается высоким уровнем конкуренции.

Основными параметрическими характеристиками, которым нужно уделять пристальное внимание, являются следующие показатели: доля добавленной стоимости в совокупных доходах и доля заработной платы в добавленной стоимости [5]. Как правило, экономическая деятельность телекоммуникационных компаний обеспечивает генерацию высокой добавленной стоимости. Однако, как показали полученные результаты, ее доля в доходах обследуемых организаций варьировалась в среднем по группе в диапазоне от 14,70 до 70,15%, при этом определяющим являлся уровень использования составляющих ресурсного потенциала.

Распределение добавленной стоимости между персоналом, собственниками, государством осуществляется в обследуемых организациях без соблюдения каких-либо пропорций, что способствует повышению диспаритета в удовлетворении интересов стейкхолдеров, в первую, очередь собственников и персонала. Проводя определенную аналогию между добавленной стоимостью хозяйствующего субъекта и ВВП в масштабах страны можно сделать предположение о необходимости обеспечения сопоставимого уровня расходов на оплату труда в структуре добавленной стоимости. В качестве целевого ориентира расходов на оплату труда на уровне организаций допустимо использовать уровень, рекомендуемый академиком Нигматулиным Р.И. для ВВП, не менее 50–55 %, что, по нашему мнению, существенно повысит мотивацию персонала, благосостояние населения и конкурентоспособность отечественной экономики.

Положительное соотношение динамики производительности труда и расходов на оплату труда в обследуемых организациях обусловлено повышением качества и результатов труда, а также влиянием инфляционных процессов. Существенная зависимость результатов экономической деятельности телекоммуникационных компаний от уровня использования составляющих ресурсного потенциала и воздействий внешней среды является ограничивающим фактором развития материально-технической базы. Таким образом, высокая результативность принимаемых управленческих решений, направленных на достижение стратегических целей и повышение конкурентоспособности организаций возможна лишь в условиях паритетного роста доли рынка, качества оказываемых услуг и развития персонала.

Заключение

Рассмотрение результатов труда в контексте процессно-стоимостного бизнес-анализа позволило обосновать необходимость анализа уровня, динамики и пропорций распределения добавленной стоимости между персоналом, собственниками и государством. Определенную научную ценность и практическую значимость имеют выдвинутые и апробированные рекомендации по расчету массы добавленной стоимости для целей оценки производительности труда:

1) учитывать при расчете массу доходов и расходов по прочим видам деятельности;

2) отказаться от использования в оценочных процедурах валовой добавленной стоимости. Использовать чистую добавленную стоимость, скорректированную на сумму начисленной амортизации, которую следует воспринимать как результат деятельности организаций-партнеров;

3) при оценке паритета распределения добавленной стоимости между стейкхолдерами осуществлять перенос сумм удержанного НДФЛ из зоны интересов персонала в зону интересов государства;

4) учитывать в составе доходов государства суммы НДС, начисленные по действующим ставкам.

В ходе исследования был сделан вывод о необходимости использования комплексного подхода к оценке результатов труда, обеспечивающего оценку доли добавленной стоимости в совокупных доходах, уровня оплаты труда работников, долю доходов персонала в добавленной стоимости и сгенерированных платежах, соотношения динамики производительности и оплаты труда. Сделаны предположения о возможности применения определенных структурных соотношений, аналогичных содержательным элементам ВВП. Приоритетным с позиций обеспечения паритета интересов основных стейкхолдеров является, прежде всего, повышение доли расходов на оплату труда персонала и реализация имеющихся возможностей повышения доли добавленной стоимости в совокупных доходах организации.

Предложенный методический подход является действенным инструментом, использование которого в процессе бизнес-анализа и прогнозирования позволяет определить не только возможный уровень добавленной стоимости и ее отдельных элементов, но и уровень производительности труда и достижения интересов основных стейкхолдеров.

Литература

1 Смирнова Е.А., Тарасова Е.А., Постнова М.В. Методологические аспекты измерения производительности // Экономика труда. 2018. Т. 5. №. 4. С. 1263–1276.

2 Кваша В.А., Бурыкин А.Д. Производительность труда на предприятии и основные его ресурсы // Экономика и управление: проблемы, решения. 2019. Т. 4. №. 2. С. 63–72.

3 Аранжин В.В. Взаимосвязь заработной платы и производительности труда: тенденции в условиях цифровизации экономики // Экономика труда. 2019. Т. 6. №. 1. С. 523–534.

4 Нагаева О.С., Поподько Г.И. Сравнительный анализ производительности труда в ресурсных и нересурсных регионах России // Экономика труда. 2019. Т. 6. №. 4. С. 1299–1316.

5 Нуждин Р.В. Процессно-стоимостной анализ результатов бизнес-деятельности организаций сахарного производства: практическая реализация. Сахар. 2017. № 1. С. 37–43.

6 Нуждин Р.В., Стукало О.Г., Кондрашова Н.В., Струков Г.Н., Леонова Н.В. Бизнес-аналитические процедуры монетарной оценки трудовой составляющей перерабатывающих предприятий АПК. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 4 (63), С. 156–166. doi: 0.17238/issn2071–2243.2019.4.156.

7 Лутченко В.Г., Хорев А.И., Хорев И.А., Григорьева В.В. Анализ факторов, влияющих на производительность труда // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 3. С. 368–374. doi: 10.20914/2310–1202–2019–3–368–374

8 Серебрякова Н.А., Агафонов С.М. Политика регулирования рынка труда в регионе: сущность и содержание // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 424–430. doi: 10.20914/2310–1202–2018–2–424–430

9 Чекан А.А., Жураховская И.М. Оптимизация бизнес-процессов системы управления персоналом на основе процессно-ориентированного подхода // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 1. С. 360–366. doi: 10.20914/2310–1202–2017–1–360–366

10 Danlami I.A., Hidthiir M.H., Hassan S. Determinants of productivity: a conceptual review of economic and social factors //Journal of Business Management and Accounting. 2020. V. 8. №. 1. P. 63–71.

11 Chernopyatov A. Labor Productivity in the Economy of the Russian Federation: Analysis //Opción: Revista de Ciencias Humanas y Sociales. 2018. №. 85. P. 679–703.

12 Iazzolino G., Laise D. Value added intellectual coefficient (VAIC): A methodological and critical review // Journal of Intellectual Capital. 2013.

13 Sass T.R., Semykina A., Harris D.N. Value-added models and the measurement of teacher productivity // Economics of Education Review. 2014. V. 38. P. 9-23. doi: 10.1016/j.econedurev.2013.10.003

14 Croce A., Martí J., Murtinu S. The impact of venture capital on the productivity growth of European entrepreneurial firms:‘Screening’or ‘value added’effect? // Journal of Business Venturing. 2013. V. 28. №. 4. P. 489-510. doi 10.1016/j.jbusvent.2012.06.001

15 Arashpour M., Kamat V., Bai Y., Wakefield R. et al. Optimization modeling of multi-skilled resources in prefabrication: Theorizing cost analysis of process integration in off-site construction // Automation in Construction. 2018. V. 95. P. 1-9. doi: 10.1016/j.autcon.2018.07.027

16 Carra I., Ortega-Gómez E., Santos-Juanes L., López J.L.C. et al. Cost analysis of different hydrogen peroxide supply strategies in the solar photo-Fenton process // Chemical engineering journal. 2013. V. 224. P. 75-81. doi: 10.1016/j.cej.2012.09.067

17 Sandström A., Edman L. Towards High-Throughput Coating and Printing of Light-Emitting Electrochemical Cells: A Review and Cost Analysis of Current and Future Methods // Energy Technology. 2015. V. 3. №. 4. P. 329-339.

18 Babashamsi P., Yusoff N.I.M., Ceylan H., Nor N.G.M. et al. Evaluation of pavement life cycle cost analysis: Review and analysis // International Journal of Pavement Research and Technology. 2016. V. 9. №. 4. P. 241-254. doi: 10.1016/j.ijprt.2016.08.004

19 Tasić M.B., Stamenković O.S., Veljković V.B. Cost analysis of simulated base-catalyzed biodiesel production processes // Energy Conversion and Management. 2014. V. 84. P. 405-413. doi: 10.1016/j.enconman.2014.04.044

20 Effat H.A., Hassan O.A. Designing and evaluation of three alternatives highway routes using the Analytical Hierarchy Process and the least-cost path analysis, application in Sinai Peninsula, Egypt // The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 2013. V. 16. №. 2. P. 141-151. doi: 10.1016/j.ejrs.2013.08.001

References

1 Smirnova E.A., Tarasova E.A., Postnova M.V. Methodological aspects of productivity measurement. Labor Economics. 2018. vol. 5. no. 4. pp. 1263–1276. (in Russian).

2 Kvasha V.A., Burykin A.D. Labor productivity at the enterprise and its main resources. Economics and management: problems, solutions. 2019. vol. 4. no. 2. pp. 63–72. (in Russian).

3 Aranzhin V.V. The relationship between wages and labor productivity: trends in the digitalization of the economy. Labor Economics. 2019. vol. 6. no. 1. pp. 523–534. (in Russian).

4 Nagaeva O.S., Popodko G.I. Comparative analysis of labor productivity in resource and non-resource regions of Russia. Labor Economics. 2019. vol. 6. no. 4. pp. 1299–1316. (in Russian).

5 Nuzhdin R.V. Process-cost analysis of the results of business activities of sugar production organizations: practical implementation. Sugar. 2017. no. 1. pp. 37–43. (in Russian).

6 Nuzhdin R.V., Stukalo O.G., Kondrashova N.V., Strukov G.N., Leonova N.V. Business-analytical procedures for the monetary assessment of the labor component of the processing enterprises of the agro-industrial complex. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2019. vol. 12. no. 4 (63). pp. 156–166. doi: 0.17238/issn2071–2243.2019.4.156 (in Russian).

7 Lutchenko V.G., Khorev A.I., Khorev I.A., Grigoryeva V.V. Analysis of factors affecting labor productivity. Proceedings of VSUET. 2019. vol. 81. no. 3. pp. 368–374. doi: 10.20914/2310–1202–2019–3–368–374 (in Russian).

8 Serebryakova N.A., Agafonov S.M. Labor market regulation policy in the region: nature and content. Proceedings of VSUET. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 424–430. doi: 10.20914/2310–1202–2018–2–424–430 (in Russian).

9 Chekan A.A., Zhurakhovskaya I.M. Business process optimization of a personnel management system based on the process oriented approach. Proceedings of VSUET. 2017. vol. 79. no. 1. pp. 360–366. doi: 10.20914/2310–1202–2017–1–360–366 (in Russian).

10 Danlami I.A., Hidthiir M.H., Hassan S. Determinants of productivity: a conceptual review of economic and social factors. Journal of Business Management and Accounting. 2020. vol. 8. no. 1. pp. 63–71.

11 Chernopyatov A. Labor Productivity in the Economy of the Russian Federation: Analysis. Opción: Revista de Ciencias Humanas y Sociales. 2018. no. 85. pp. 679–703.

12 Iazzolino G., Laise D. Value added intellectual coefficient (VAIC): A methodological and critical review. Journal of Intellectual Capital. 2013.

13 Sass T.R., Semykina A., Harris D.N. Value-added models and the measurement of teacher productivity. Economics of Education Review. 2014. vol. 38. pp. 9-23. doi: 10.1016/j.econedurev.2013.10.003

14 Croce A., Martí J., Murtinu S. The impact of venture capital on the productivity growth of European entrepreneurial firms:'Screening'or 'value added'effect? Journal of Business Venturing. 2013. vol. 28. no. 4. pp. 489-510. doi: 10.1016/j.jbusvent.2012.06.001

15 Arashpour M., Kamat V., Bai Y., Wakefield R. et al. Optimization modeling of multi-skilled resources in prefabrication: Theorizing cost analysis of process integration in off-site construction. Automation in Construction. 2018. vol. 95. pp. 1-9. doi: 10.1016/j.autcon.2018.07.027

16 Carra I., Ortega-Gómez E., Santos-Juanes L., López J.L.C. et al. Cost analysis of different hydrogen peroxide supply strategies in the solar photo-Fenton process. Chemical engineering journal. 2013. vol. 224. pp. 75-81. doi: 10.1016/j.cej.2012.09.067

17 Sandström A., Edman L. Towards High-Throughput Coating and Printing of Light-Emitting Electrochemical Cells: A Review and Cost Analysis of Current and Future Methods. Energy Technology. 2015. vol. 3. no. 4. pp. 329-339.

18 Babashamsi P., Yusoff N.I.M., Ceylan H., Nor N.G.M. et al. Evaluation of pavement life cycle cost analysis: Review and analysis. International Journal of Pavement Research and Technology. 2016. vol. 9. no. 4. pp. 241-254. doi: 10.1016/j.ijprt.2016.08.004

19 Tasić M.B., Stamenković O.S., Veljković V.B. Cost analysis of simulated base-catalyzed biodiesel production processes. Energy Conversion and Management. 2014. vol. 84. pp. 405-413. doi: 10.1016/j.enconman.2014.04.044

20 Effat H.A., Hassan O.A. Designing and evaluation of three alternatives highway routes using the Analytical Hierarchy Process and the least-cost path analysis, application in Sinai Peninsula, Egypt. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 2013. vol. 16. no. 2. pp. 141-151. doi: 10.1016/j.ejrs.2013.08.001

Сведения об авторах

Роман В. Нуждин к.э.н., доцент, кафедра теории экономики и учетной политики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, rv.voronezh@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-1494-5588

Александр А. Хорев д.э.н., профессор, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, horev_a_i@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8438-0607

Мирон А. Карпович д.э.н., профессор, кафедра цифровой и отраслевой экономики, Воронежский государственный технический университет, пр-т Московский, 14, г. Воронеж, 394026, Россия, ma.karpovich@cds.vrn.ru
https://orcid.org/0000-0002-5690-8400

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

Владимир Н. Мельничук преподаватель, кафедра эксплуатации и ремонта средств аэродромно-технического обеспечения полетов, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, 394064, Россия, sasham112@mail.ru

Information about authors

Roman V. Nuzhdin Cand. Sci. (Econ.), associate professor, theory of economics and accounting policy department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, rv.voronezh@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-1494-5588

Alexander I. Khorev Dr. Sci. (Econ.), professor, economic security and financial monitoring department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, horev_a_i@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8438-0607

Miron A. Karpovich Dr. Sci. (Econ.), professor, digital and industrial economics department, Voronezh State Technical University, Moskovskiy Av., 14, Voronezh, 394026, Russia, ma.karpovich@cds.vrn.ru
https://orcid.org/0000-0002-5690-8400

Oksana O. Lukina Cand. Sci. (Econ.), associate professor, theory of economics and accounting policy department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, oks.lukina@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-2658-1512

Vladimir N. Melnichuk teacher, operation and repair of means of aerodrome technical support of flights department, Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Starykh Bol'shevikov St., 54a, Voronezh, 394064, Russia, sasham112@mail.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 11/04/2022	**После редакции** 28/04/2022	**Принята в печать** 25/05/2022

Received 11/04/2022	**Accepted in revised** 28/04/2022	**Accepted** 25/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-315-323 Оригинальная статья/Research article
УДК 678.562 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Оптимизация производственного процесса путем внедрения методов бережливого производства

Яна В. Денисова [1] yana-denisova@inbox.ru 0000-0003-1242-6909
Анастасия С. Петрова [1] petrova20132013@gmail.com 0000-0003-1439-9772
Владимир Ф. Сопин [1] vlad-sopin24@rambler.ru 0000-0002-9112-2550

1 Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, Казань, Респ. Татарстан, 420015, Россия

Аннотация. В условиях жесткого политического давления на российскую экономику, санкций и нестабильности предприятия многих отраслей находятся на грани выживания. Именно поэтому сейчас особенно актуальными становятся вопросы оптимизации всех процессов и сокращения потерь. Более высокий уровень эффективности производства может быть обеспечен внедрением на предприятиях инструментов и методов бережливого производства. Авторы статьи рассматривают практику применения концепции бережливого производства в зарубежных и российских компаниях, проводят сравнительный анализ основных показателей, полученных по результатам внедрения в них сберегающих технологий, выявляют причины отставания отечественных предприятий по данным показателям. В статье отмечается, что для большинства российских предприятий, к сожалению, до сих пор остается характерным значительное количество бракованной продукции, наличие излишних запасов и чрезмерная длительность производственного цикла. Базой исследования в статье является предприятие «ФКП «НПО «Казанский завод точного машиностроения», которое находится на начальных этапах внедрения данной концепции. На примере корпуса взрывателя детально рассматривается проведение оптимизации производственного процесса по его изготовлению. Изложен общий порядок проведения данных работ, который состоит в систематизации производственных потерь, выявлении основных проблем их обусловливающих, определении ранга проблем и разработке комплекса мер по их устранению с применением методов бережливого производства. Далее для каждой выявленной проблемы предложены способы решения и определено их влияние на выработку. Отмечается, что суммарный экономический эффект от внедрения указанных мероприятий составит ориентировочно 47%, что доказывает необходимость продолжения данной работы и на других участках производства.

Ключевые слова: бережливое производство, менеджмент качества, качество продукции, производительность труда, оптимизация.

Optimization of the production process through the introduction of lean production methods

Yana V. Denisova [1] yana-denisova@inbox.ru 0000-0003-1242-6909
Anastasia S.Petrova [1] petrova20132013@gmail.com 0000-0003-1439-9772
Vladimir F.Sopin [1] vlad-sopin24@rambler.ru 0000-0002-9112-2550

1 Kazan National Research Technological University, st. Karl Marx, 68, Kazan, Republic of Tatarstan, 420015, Russia

Abstract. In conditions of severe political pressure on the Russian economy, sanctions and instability, enterprises in many industries are on the verge of survival. That is why the issues of optimizing all processes and reducing losses are becoming especially relevant now. A higher level of production efficiency can be ensured by the introduction of lean production tools and methods at enterprises. The authors of the article consider the practice of applying the concept of lean production in foreign and Russian companies, conduct a comparative analysis of the main indicators obtained from the implementation of saving technologies in them, identify the reasons for the lag of domestic enterprises according to these indicators. The article notes that, unfortunately, a significant number of defective products, the presence of excessive stocks and excessive duration of the production cycle still remain characteristic of most Russian enterprises. The basis of the research in the article is the enterprise "FKP "NPO "Kazan Precision Engineering Plant", which is at the initial stages of the implementation of this concept. On the example of the fuse housing, the optimization of the production process for its manufacture is considered in detail. The general procedure for carrying out these works is outlined, which consists in systematizing production losses, identifying the main problems that cause them, determining the rank of problems and developing a set of measures to eliminate them using lean production methods. Further, for each identified problem, solutions are proposed and their impact on production is determined. It is noted that the total economic effect of the implementation of these measures will be approximately 47%, which proves the need to continue this work in other areas of production.

Keywords: lean manufacturing, quality management, product quality, labor productivity, optimization.

Введение

Ситуация в российской экономике, сложившаяся в настоящее время под влиянием геополитических, социальных и производственных факторов, предъявляет предприятиям жесткие требования и требует от них постоянного и непрерывного улучшения своих производственных процессов. Одним из путей оптимизации и совершенствования деятельности является использование на предприятиях принципов Бережливого производства. Бережливое производство – это методология, которая позволяет модернизировать бизнес-процессы, минимизировать потери и внедрять новейшие инструменты, позволяющие улучшать взаимоотношения с поставщиками и клиентами. Базовым постулатом концепции бережливого производства является

Для цитирования
Денисова Я.В., Петрова А.С., Сопин В.Ф. Оптимизация производственного процесса путем внедрения методов бережливого производства // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 315–323. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-315-323

For citation
Denisova Ya.V., Petrova A.S., Sopin V.F. Optimization of the production process through the introduction of lean production methods. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 315–323. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-315-323

© 2022, 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

не сокращение затрат предприятия, которое может неблагоприятно сказаться на качестве продукции, а проведение профилактических мероприятий, позволяющих избежать потерь и брака [1].

К основным из них относятся: избавление от перепроизводства, ненужных этапов обработки и транспортировки, устранение лишних запасов, перемещений и дефектов [2]. Благодаря таким мероприятиям в сфере бережливого производства можно достичь значительной экономической эффективности. Расчет эффективности мероприятий по бережливому производству может быть произведен только при наличии информации, полученной на основании анализа работы цехов и их подразделений. С этой целью в местах возникновения потерь (цех, участок, рабочее место, склад и т. д.) необходимо организовывать пункты сбора информации, функциями которых будет являться как предварительная обработка входящей информации, так и регистрация данных с конкретными результатами производственной деятельности [3].

Материалы и методы

К основным из них относятся: избавление от перепроизводства, ненужных этапов обработки и транспортировки, устранение лишних запасов, перемещений и дефектов [2]. Благодаря таким мероприятиям в сфере бережливого производства можно достичь значительной экономической эффективности. Расчет эффективности мероприятий по бережливому производству может быть произведен только при наличии информации, полученной на основании анализа работы цехов и их подразделений. С этой целью в местах возникновения потерь (цех, участок, рабочее место, склад и т. д.) необходимо организовывать пункты сбора информации, функциями которых будет являться как предварительная обработка входящей информации, так и регистрация данных с конкретными результатами производственной деятельности [3].

Как показывает практика, в каждой стране развитие бережливого производства сопряжено с культурно-национальными особенностями страны, стилем руководства компаний и происходит по своему сценарию.

Концепция бережливого производства (Lean-технологий) берет свое начало в Японии, а именно в компании Тойота. Послевоенные 50-ые годы 20-го века стали для Японии сложным периодом, характеризующимся спадом производства, снижением доходов компаний и низкой покупательной способностью населения. В этих условиях владелец компании Тойота – Тайити Оно после проведения тщательного анализа пришел к выводу, что действовавшие ранее принципы массового производства более неактуальны и необходимо срочно перестраивать работу компании. В то время на японских предприятиях широко применялись так называемые «линии Генри Форда» – непрерывные сборочные линии производства, которые имели существенный недостаток в виде перепроизводства и увеличении складских запасов. Для решения данной проблемы Тайити Оно было принято решение о производстве продукции не крупными, а мелкими партиями, в связи с чем следует провести переналадку станков. Еще один важный̆ элемент (подход «вытягивание») был им заимствован из практики американских супермаркетов, суть которого состоит в том, что все детали для производства следующей партии поставляются на конвейер «точно в срок», а запасы пополняются только по мере их уменьшения [4].

Большим плюсом в работе компании было постоянное обсуждение всех проблем и изменений, происходящих на предприятии. Благодаря этому все неотложные и наиострейшие проблемы решались в срочном порядке, идентифицировались хронические недостатки, разрабатывались различные способы решения проблем, находились оптимальные пути их решения. Всё это способствовало значительному повышению качества продукции. Такая работа заложила основу одного из основных принципов бережливого производства – кайдзен [5]. Кайдзен – это японское слово, означающего «постоянные изменения» (дословно: изменения – Kai в лучшую сторону – Zen). В широком смысле философия кайдзен направлена на наведение порядка в жизни, улучшение всех сторон жизни человека, в более узком – на постоянное совершенствование бизнеса и всех производственных процессов. В отношении последнего концепция сфокусирована на поиске путей для снижения "muda" (отходов) в целях повышения безопасности продукции, улучшения ее качества, снижения стоимости, увеличения скорости и гибкости технологических операций, совершенствования логистической деятельности, улучшения взаимодействия с клиентом со своевременным реагированием на изменения его внутренних и внешних потребностей [6].

Главным отличием фирм, работающих по принципам концепции кайдзен, является организация неразрывной работы отдела продаж и производственного направления, способствующая выпуску продукции по предварительным заказам, строго в соответствии с запросами рынка и непосредственных клиентов. Такие фирмы производят только ту продукцию, которая нужна на рынке и в объеме, адекватном спросу [7].

Безусловно, основной причиной внедрения принципов бережливого производства является стремление к коммерческому успеху компаний, выражающемся в повышении прибыли, рентабельности, производительности и конкурентоспособности. При этом цель таких компаний – получение максимальных результатов при минимальном использовании ресурсов [8]. Поэтому активное внедрение принципов бережливого производства получило распространение в разных странах и на разных континентах. Нельзя не упомянуть опыт, полученный в данной сфере компанией Airbus. В начале 2000-х годов с целью сокращения расходов компании, упрощения ее структуры и сохранения конкурентоспособности наблюдательным советом данного объединения было принято решение реструктурировать консорциум с последующим созданием на его основе интегрированной компании. Параллельно процесс реорганизации сопровождался активным внедрением инструментов и технологий бережливого производства, которые и по сей день составляют важную часть культуры компании [9].

Данная работа позволила достичь компании Airbus за короткие сроки замечательных результатов:

а) сократить в 3 раза производственные площади;

б) ускорить процесс изготовления изделий в 1,5 раза, уменьшив время сборки на 60 %;

в) сократить запасы ресурсов на 60 %;

г) повысить производительность труда на 30 %;

д) резко сократить расходы до 1 миллиарда долларов в год [10].

На рисунке 1 представлены результаты показателей, полученные различными зарубежными компаниями, с помощью применения принципов бережливого производства. Как следует из диаграммы, данным компаниям удалось добиться существенного увеличения производительности труда, повысить эффективность СМК, сократить длительность производственного процесса, уменьшить излишние запасы и довести до минимальных значений количество бракованной продукции. В целом достижение экономического эффекта составило несколько миллиардов долларов [11].

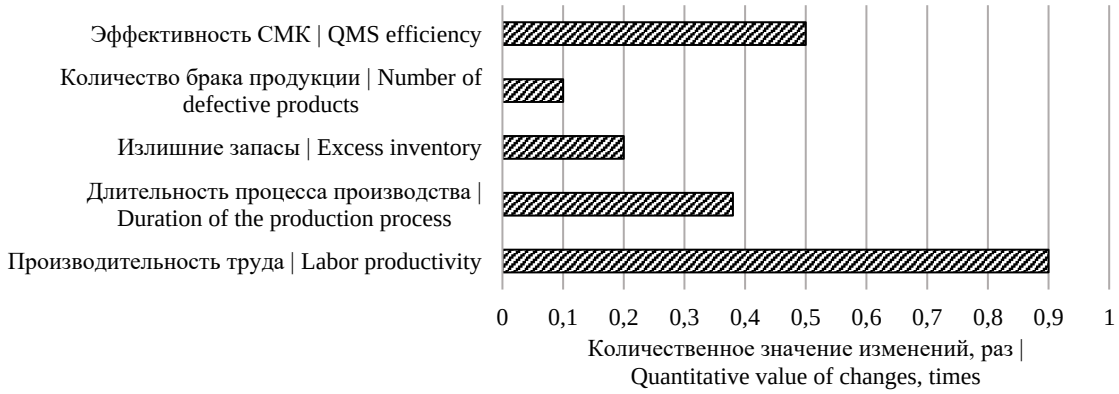


Рисунок 1. Результаты внедрения принципов бережливого производства в зарубежных компаниях

Figure 1. Results of implementation of lean manufacturing principles in foreign companies

Lean-технология является эффективным инструментом концепции бережливого производства. В Японии в среднем 90 % компаний применяют их основные принципы, а в США около 60 % компаний. На рисунке 2 представлено сравнение между компаниями из разных стран, которые внедрили и не внедрили Lean-технологии. Данная сравнительная оценка показывает, что внедрение принципов инструментов бережливого производства дает возможность в большой степени усовершенствовать экономический результат [12].

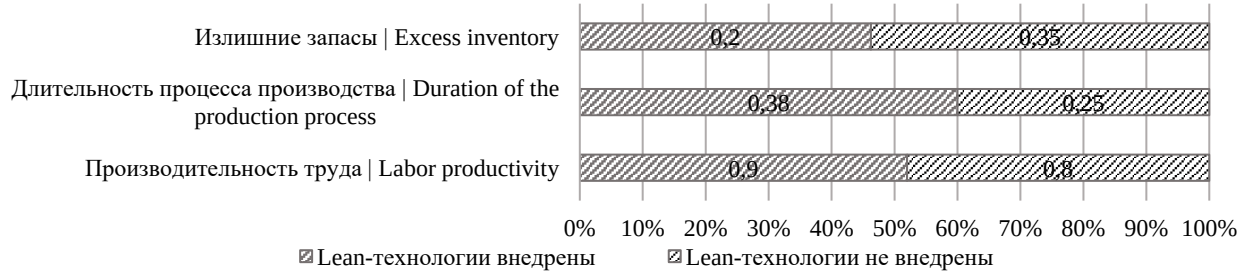


Рисунок 2. Сравнительная оценка эффективности от внедрения принципов Lean-технологий

Figure 2. Comparative evaluation of the effectiveness of the implementation of Lean technology principles

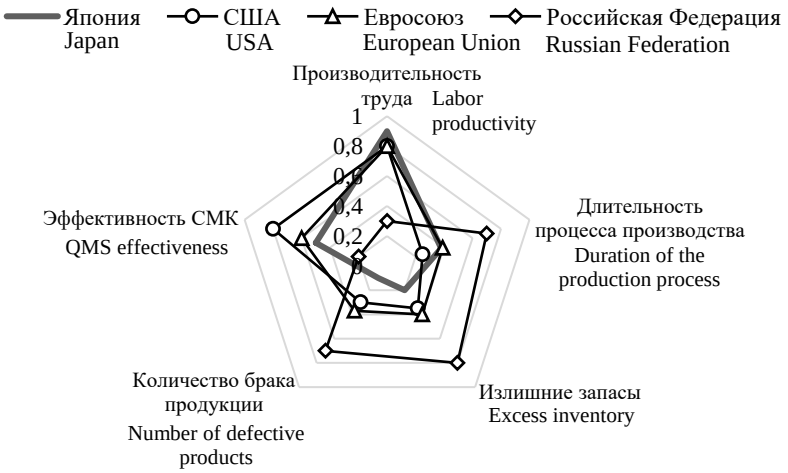


Рисунок 3. Сравнительная оценка эффективности основных показателей отечественных и зарубежных компаний
Figure 3. Comparative evaluation of the effectiveness of the main indicators of domestic and foreign companies

Далее проведём сравнительный анализ от результатов внедрения Lean – технологий между показателями зарубежных компаний и аналогичными показателями отечественных промышленных предприятий. Данный анализ представлен в виде лепестковой диаграммы на рисунке 3 [13].

Из диаграммы, приведённой на рисунке 3, следует, что наибольший эффект от внедрения Lean-технологий, выражающийся в росте производительности труда и увеличении эффективности СМК, удалось получить японским производителям и предприятиям США. К большому сожалению, Россия пока значительно отстает по этим показателям от многих стран, а для большинства российских предприятий остается характерным значительное количество бракованной продукции, наличие излишних запасов и чрезмерная длительность производственного цикла. Это обусловлено тем, что в Российской Федерации организации только встают на путь освоения данных технологий (лишь около 5 % компаний в России начали осваивать концепцию и методы бережливого производства), но уже есть первые положительные результаты [14].

Разберемся, чем же вызван незначительный охват предприятий в нашей стране, вовлеченных в процесс внедрения принципов бережливого производства. Это связано с несколькими причинами.

Во-первых, в связи со сложной экономической ситуацией, сложившейся в нашей стране в конце 20 века, и перестройкой политической системой страны, процесс активного внедрения инновационных технологий на отечественных предприятиях начался значительно позже, чем в большинстве зарубежных компаний.

Во-вторых, основным препятствием на пути внедрения принципов бережливого производства в российских компаниях стал психологический фактор, выражающийся в сложности адаптации работников к новым производственным условиям и правилам, скептицизме, а также их нежелании что-то менять в своей повседневной трудовой деятельности. Это связано отчасти с неумелым и неправильным управленческим подходом, задачей которого является разъяснить работникам важность проводимых нововведений, убедить в необходимости их проведения и продемонстрировать возможность получения будущих выгод [15].

В-третьих, руководители многих предприятий не вникают в тонкости производственных процессов и становятся на путь экстенсивного развития за счет использования природных, сырьевых и трудовых ресурсов, стоимость которых значительно ниже, чем в большинстве других стран. Это позволяет им принимать управленческие решения, идущие в разрез с оптимизацией процессов и не способствующие внедрению принципов бережливого производства [16].

Одними из крупных компаний, которые внедрили технологии бережливого производства, стали КамАЗ, Группа ГАЗ, Русал, Сбербанк. В целом данным компаниям удалось достичь хороших результатов:

– рост выпуска продукции на 30 %;

– повышение производительности труда на 20 %;

– уменьшение количества брака на 40 %;

– увеличение скорости выпуска продукции на 35 %.

Так что у отечественных предприятий ест все ресурсы для улучшения производства.

Главное правильное использование внутренних резервов и внедрение технологий бережливого производства могут значительно улучшить операционные показатели: выработка, оборачиваемость запасов, уровень дефектности [17].

Исходя из всего этого значительный опыт компаний, и зарубежных, и отечественных, которые уже внедрили методы бережливого производства, дает возможность сделать выводы о том, что благодаря повышению эффективности системы производства можно уменьшить расходы, увеличить производительность труда, усовершенствовать производственные процессы, повысить конкурентоспособность предприятия и добиться многих других качественных и количественных изменений [18].

Результаты и обсуждения

В настоящее время на предприятии «ФКП «НПО «Казанский завод точного машиностроения» активно внедряются инструменты и методы бережливого производства. На основе систематизации производственных потерь и выявления основных проблем их обусловливающих, определяется ранг проблем с дальнейшей разработкой мероприятий по их устранению. Рассмотрим оптимизацию производственного процесса на примере изготовления корпуса взрывателя (рисунок 4).

Карточка проекта: | Project card	Оптимизация производственного процесса изготовления корпуса взрывателя 301| Optimization of the manufacturing process of the fuse body 301
1. Вовлеченные лица и рамки проекта | The persons involved and the scope of the project	
Клиенты процесса | Process Clients:	Министерства обороны, Рос. Обороон. Экспорт, иные заказчики Ministry of Defense, Ros. Defenses. Export, other customers
Периметр процесса: | Perimeter of the process:	Склад металла, инструментальный отдел, автоматно-механический цех, гальваническое производство, отдел снабжения, отдел технического контроля, ОГМ, ОГЭ, ОГТ; Metal warehouse, tool department, automatic machine shop, electroplating production, supply department, technical control department, OGM, OGE, OGT;
Граница процесса: | Process boundary:	ОТ склада металла до гальванического производства FROM metal warehouse to electroplating production
Владелец процесса: | Process Owner:	Генеральный директор | General manager
Руководитель проекта: | Project Manager:	Заместитель начальника производства | Deputy Head of Production
2. Обоснование выбора | Justification of the choice	
Ключевой риск:| | Key risk:	Потеря репутация | Loss of reputation
Потеря репутации: (срыв плана производства); Из-за низкого качества; Из-за отсутствия инструмента; Из-за длительного производственного цикла; Из-за отсутствия квалифицированных кадров; Из-за поломки оборудования; Из-за отсутствия производственных мощностей; 2 Штрафные санкции	

3. Цели и плановый эффект | Goals and planned effect			
Наименование цели | Name of the goal	Текущий показатель	Целевой показатель	Показатель идеального состояния
Сокращение ВПП (без складов), час Runway reduction (without warehouses), hour	443	221,5	51
Сокращение НЗП, шт.| Reduction of NZP, pcs.	35170	17585	4112
Повышение производительности, шт./н.ч. | Productivity increase, pcs/n.h.	4,08	5,3	7,03
Повышения эффективности использования оборудования, % Improving the efficiency of equipment use, %	45	75	85
Сдача продукции (ОТК) с первого предъявления, % Delivery of products (OTC) from the first presentation, %	0	90	98

4. Ключевые события проекта | Key events of the project	
Старт проекта | Project start	13.10.2020
Диагностика и целевое состояние | Diagnosis and target status	20.10.2020–28.01.2021
Разработка текущей карты процесса | Development of the current process map	11.11.2020
Производственный анализ | Production analysis	20.10.2020–28.01.2021
Разработка целевой карты процесса | Development of a target process map	02.12.2020
Внедрение улучшений | Implementation of improvements	28.01.2021–19.04.2021
Закрепление результатов и закрытие проекта | Securing the results and closing the project	26.04.2021

Рисунок 4. Карточка проекта «Оптимизация производственного процесса изготовления корпуса взрывателя 301»

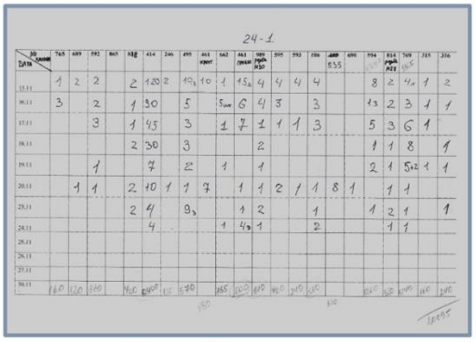
Figure 4. Project card "Optimization of the manufacturing process of the fuse body 301"

В карточке проекта прописаны вовлеченные лица и рамки проекта, обоснование выбора с указанием ключевых рисков, а также цели, плановый эффект и ключевые события проекта.

Оптимизация производственного процесса изготовления корпуса взрывателя начинается с создания информационного стенда проекта, в котором отображаются:

- Список рабочей группы проекта (контакты);
- Утвержденная карточка проекта;
- Карта процесса текущего состояния;
- Производственный анализ;
- Карта процесса целевого состояния;
- Спагетти текущего и целевого состояния
- Перечень проблем с коренными причинами;
- План мероприятий [19].

После этого приступают к реализации мероприятий, которые начинаются с производственного анализа в бюро технического контроля (БТК), а именно – с составления «Листа дефектов» и проведения статистики дефектов (рисунок 5).



«Лист дефектов»

«Статистика дефектов»

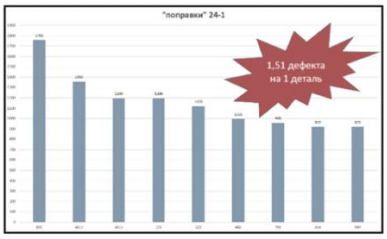


Рисунок 5. «Лист дефектов» и «Статистика дефектов»
Figure 5. "Defect Sheet" and "Defect Statistics"

Следующим этапом становится разработка карты потока создания ценности, которая наглядно показывает на каких стадиях и участках существуют проблемы на начало проекта.

В ходе создания карты потока были выявлены следующие проблемы:

- Дефекты при предъявлении;
- Большое количество доработок;
- Неравномерная загрузка оборудования;
- Недостаток тары для хранения деталей (сборок);
- Недостаточное количество инструмента;
- Большое количество перемещений;
- 0 % сдачи с первого предъявления ОТК (за 5 лет) [20].

Комплексное решение выявленных проблем было предложено осуществить путем внедрения методов бережливого производства.

Первым этапом стала перебалансировка загрузки оборудования, которая привела к уменьшению количества оборудования, участвовавшего в изготовлении корпуса, на 11 единиц – с 29 шт. до 18 шт.

Вторым этапом – внедрение производственного анализа и доски решения проблем, благодаря чему доступность оборудования повысилась на 12 %, а средняя производительность станка в смену увеличилась с 75 до 84 шт./см.

Третьим этапом является обеспечение участка необходимыми инструментами и заготовками, благодаря чему средняя производительность станка в смену дополнительно повысилась с 84 до 91 шт./см.

Четвертым этапом становится внедрение стандартизированной работы на всех этапах производственного процесса. Анализ показал, что данное решение приводит к увеличению средней производительности станка еще на 3 единицы и достигает значения 94 шт./см.

Пятым этапом – внедрение единой технологии обработки ЧПУ и стандартизация инструмента. Путем реализации данного мероприятия удалось увеличить общую производительность оборудования на 7,2 %.

Кроме того, необходимым элементом оптимизации производственного процесса является внедрение «новой технологии» изготовления, которая заключается в смещении акцента с контроля готовой продукции на контроль изготовления корпуса, перестановке доделочного оборудования и расстановке поправочного оборудования. В дополнение к перечисленному необходимо провести перебалансировку рабочих мест и перейти к системе работы по времени такта, что будет способствовать снижению уровня незавершенного производства. Также важно устранить любые лишние перемещения и организовать работу инспекции отдела технического контроля (ОТК) с одновременной приемкой и заказчиков, и инспекции ОТК.

В таблице 1 приведены проблемы, оказывающие наиболее существенное влияние на снижение эффективности производственного процесса, пути решения и их влияние на выработку.

Как видно из таблицы 1, проблемами, оказывающими наиболее негативное воздействие на процесс, являются: низкая эффективность лимитирующего оборудования, большое количество незавершенного производства, а также ряд проблем, присущих участку БТК (бюро технического контроля): значительная потеря рабочего времени на ожидания, большая вариабельность операции, колебания времени при выполнении работы, потери времени на перемещение изделий на операции.

Для решения указанных проблем предлагается на участке ЧПУ Накамура провести перебалансировку производственных мощностей, ввести производственный анализ, привести процесс к единой технологии изготовления, организовать статистический контроль, провести обучение операторов правилам пользования калибрами.

Таблица 1.

Таблица 1. Проблемы и решения по оптимизации производственного процесса изготовления корпуса взрывателя 301

Table 1.

Table 1. Problems and solutions for optimizing the production process of manufacturing the fuse body 301

Проблема | Problem	Решение | Decision	Показатель, кд. изм Indicator, cd.change	Изменение Changing		Влияние на выработку, % Impact on production, %
			Было | Before	Стало | After	
Участок ЧПУ НАКАМУРА Низкая эффективность лимитирующего оборудования (ОЭО = 45 %) NAKAMURA CNC section Low efficiency of limiting equipment (DEO = 45%)	Перебалансировка производственных мощностей Организация и ведение производственного анализа / доски решения проблем Приведение к единой технологии изготовления Организация обеспечения инструментом / заготовками Организация статистического контроля Обучение операторов правилам пользования калибрами Rebalancing of production facilities Organization and maintenance of production analysis / problem solving board Reconciliation of manufacturing technology Organize tooling / workpiece supply Organise statistical controls Operator training on how to use gauges	Выработка, шт./час ОЭО, %	25 45	34 80	+15 %
Большое количество НЗП Large amount of EOI	– Разработано/реализовано перепланировка участка – Определено max количество и организован магазин заготовок - Developed/implemented site redevelopment - Determined max quantity and organized billet store	НЗП, шт.	35170	19000	+2 %
Участок БТК: – Потери рабочего времени на ожидания выполнения предыдущей операции – Большая вариабельность операции – Отсутствие прослеживаемости выполнения операции контроля – Колебания времени на выполнение операций из-за недостаточной квалификации – Потери времени на перемещение изделий на операции Site BTC: - Loss of working time waiting for the previous operation - High variability of the operation - Lack of traceability of control operation - Fluctuations in time to perform operations due to insufficient skill - Loss of time to move items on the operation	– Разраотана/реализована перепланировка участка – Организован поток едииничных изделий – Перебалансировка рабочих мест на участке БТК – Обучение персонала Исключили перенос изделий (организован реверс) - Site redesign developed/implemented - Organized single piece flow - Re-balancing of workplaces on the BTC site - Staff training Excluded the transfer of products (organized reverse)	Выработка, шт./ч	4,3	7,5	+30 %
+47 %					

С целью уменьшения количества незавершенного производства необходимо разработать перепланировку участка и создать магазин заготовок.

На участке БТК следует организовать поток единичных изделий, провести перебалансировку рабочих мест, обучить персонал, исключить перенос изделий.

Апробация указанных мероприятий показала, что суммарный экономический эффект от их внедрения составит ориентировочно 47 %.

Эти показатели наглядно доказывают эффективность от внедрения концепций бережливого производства в деятельность предприятия «ФКП «НПО «Казанский завод точного машиностроения». В дальнейшем планируется внедрение методов Lean-технологий в другие цеха с целью улучшения производительности.

Заключение

На сегодняшний день внедрение на российских предприятиях принципов и методов бережливого производства является одной из самых востребованных тем производственного менеджмента. И это не случайно, ведь правильное использование инструментов данной концепции позволит предприятиям в любой сфере деятельности снизить производственные издержки, повысить эффективность производства и выйти на новый качественный уровень развития.

Литература

1 Джордж М. Бережливое производство плюс шесть сигм в сфере услуг. Как скорость бережливого производства и качество шести сигм помогают улучшить бизнес. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2011. 464 с.

2 Вумек Д., Джонс Д. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. М.: Альпина Паблишер, 2013. 480 с.

3 Стриженок О.А. Бережливое производство в России // Актуальные вопросы экономических наук. 2012. № 26. С. 324–327.

4 Лайкер Д. Тао Toyota: 14 принципов управления ведущей мировой компанией. М.: Альпина Бизнес Букс, 2016. 402 с.

5 Tiwari P., Sadeghi J.K., Eseonu C. A sustainable lean production framework with a case implementation: Practice-based view theory // Journal of Cleaner Production. 2020. V. 277. P. 123078.

6 Маркетинговое агентство РБК. Исследование. URL: http://research.rbc.ru/

7 Липина С.А. Инновационная экономика 21 века: мировой опыт и практика // Успехи современной науки и образования. 2016. № 1. С. 11–14.

8 Балтачева Н.Р. Бережливое производство как метод повышения эффективности производства // Время науки. 2015. № 8 (20). С. 26–29.

9 Фазылова Н.Н., Ергин С.М. Сравнение систем контроля качества проектирования в российских и зарубежных экономических системах // Актуальные проблемы социально-экономических исследований: сборник материалов 11-й Международной научно-практической конференции (Махачкала, 24 января 2016 г.). Махачкала: Издательский дом «Апробация», 2016. С. 16–18.

10 Hardcopf R., (Jason) Liub G., Shahc R. Lean production and operational performance: The influence of organizational culture // International Journal Production Economics. 2021. № 235. doi:10.1016/j.ijpe.2021.108060

11 Адлер Ю. Бережливая логистика // Логистика.2017. № 4 (125). С. 24–26.

12 Ведмидь П. Бережливое производство в эпоху цифрового производства. М., 2017. URL: http://www.up-pro.ru/

13 Mathiyazhagan K., Gnanavelbabu A., Agarwal V. A framework for implementing sustainable lean manufacturing in the electrical and electronics component manufacturing industry: An emerging economies country perspective // Journal of Cleaner Production. 2022. V. 334. P. 130169. doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130169

14 Deshmukh M., Gangele A., Gope D.K., Dewangan S. Study and implementation of lean manufacturing strategies: A literature review // Materials Today: Proceedings. 2022. V. 62. № 3. P. 1489-1495. doi: 10.1016/j.matpr.2022.02.155

15 Singh C., Singh D., Khamba J.S. Understanding the key performance parameters of green lean performance in manufacturing industries // Materials Today: Proceedings. 2021. V. 46. P. 111-115. doi: 10.1016/j.matpr.2020.06.328

16 Yadav G., Luthra S., Huisingh D., Mangla S.K. et al. Development of a lean manufacturing framework to enhance its adoption within manufacturing companies in developing economies // Journal of Cleaner Production. 2020. V. 245. P. 118726. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118726

17 Singh C., Singh D., Khamba J.S. Exploring an alignment of lean practices on the health and safety of workers in manufacturing industries // Materials Today: Proceedings. 2021. V. 47. P. 6696-6700. doi: 10.1016/j.matpr.2021.05.116

18 Möldner A.K., Garza-Reyes J.A., Kumar V. Exploring lean manufacturing practices' influence on process innovation performance // Journal of Business Research. 2020. V. 106. P. 233-249. doi: 10.1016/j.jbusres.2018.09.002

19 Hao Z., Liu C., Goh M. Determining the effects of lean production and servitization of manufacturing on sustainable performance // Sustainable Production and Consumption. 2021. V. 25. P. 374-389. doi: 10.1016/j.spc.2020.11.018

20 Palange A., Dhatrak P. Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing // Materials Today: Proceedings. 2021. V. 46. P. 729-736. doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.193

References

1 George M. Lean Six Sigma in the Service Industry. How Lean Speed and Six Sigma Quality Can Improve Your Business. Moscow, Mann, Ivanov i Ferber, 2011. 464 p. (in Russian).

2 Womek D., Jones D. Lean production. How to get rid of losses and achieve prosperity for your company. Moscow, Alpina Publisher, 2013. 480 p. (in Russian).

3 Strizhenok O.A. Lean production in Russia. Topical issues of economic sciences. 2012. no. 26. pp. 324–327. (in Russian).

4 Liker D. Tao Toyota: 14 principles for managing a leading global company. Moscow, Alpina Business Books, 2016. 402 p. (in Russian).
5 Tiwari P., Sadeghi J.K., Eseonu C. A sustainable lean production framework with a case implementation: Practice-based view theory. Journal of Cleaner Production. 2020. vol. 277. pp. 123078.
6 RBC Marketing Agency. Study. Available at: http://research.rbc.ru/ (in Russian).
7 Lipina S.A. Innovative economy of the 21st century: world experience and practice. Successes of modern science and education. 2016. no. 1. pp. 11–14. (in Russian).
8 Baltacheva N.R. Lean production as a method of increasing production efficiency. Vremya nauki. 2015. no. 8 (20). pp. 26–29. (in Russian).
9 Fazylova N.N., Ergin S.M. Comparison of design quality control systems in Russian and foreign economic systems. Actual problems of socio-economic research: collection of materials of the 11th International Scientific and Practical Conference (Makhachkala, January 24, 2016). Makhachkala, Approbation Publishing House, 2016, pp. 16–18. (in Russian).
10 Hardcopf R., (Jason) Liub G., Shahc R. Lean production and operational performance: The influence of organizational culture. International Journal Production Economics. 2021. no. 235. doi:10.1016/j.ijpe.2021.108060
11 Adler Yu. Lean logistics. Logistics.2017. no. 4 (125). pp. 24–26. (in Russian).
12 Vedmid P. Lean manufacturing in the era of digital manufacturing. M., 2017. Available at: http://www.up-pro.ru/ (in Russian).
13 Mathiyazhagan K., Gnanavelbabu A., Agarwal V. A framework for implementing sustainable lean manufacturing in the electrical and electronics component manufacturing industry: An emerging economies country perspective. Journal of Cleaner Production. 2022. vol. 334. pp. 130169. doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130169
14 Deshmukh M., Gangele A., Gope D.K., Dewangan S. Study and implementation of lean manufacturing strategies: A literature review. Materials Today: Proceedings. 2022. vol. 62. no. 3. pp. 1489-1495. doi: 10.1016/j.matpr.2022.02.155
15 Singh C., Singh D., Khamba J.S. Understanding the key performance parameters of green lean performance in manufacturing industries. Materials Today: Proceedings. 2021. vol. 46. pp. 111-115. doi: 10.1016/j.matpr.2020.06.328
16 Yadav G., Luthra S., Huisingh D., Mangla S.K. et al. Development of a lean manufacturing framework to enhance its adoption within manufacturing companies in developing economies. Journal of Cleaner Production. 2020. vol. 245. pp. 118726. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118726
17 Singh C., Singh D., Khamba J.S. Exploring an alignment of lean practices on the health and safety of workers in manufacturing industries. Materials Today: Proceedings. 2021. vol. 47. pp. 6696-6700. doi: 10.1016/j.matpr.2021.05.116
18 Möldner A.K., Garza-Reyes J.A., Kumar V. Exploring lean manufacturing practices' influence on process innovation performance. Journal of Business Research. 2020. vol. 106. pp. 233-249. doi: 10.1016/j.jbusres.2018.09.002
19 Hao Z., Liu C., Goh M. Determining the effects of lean production and servitization of manufacturing on sustainable performance. Sustainable Production and Consumption. 2021. vol. 25. pp. 374-389. doi: 10.1016/j.spc.2020.11.018
20 Palange A., Dhatrak P. Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. Materials Today: Proceedings. 2021. vol. 46. pp. 729-736. doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.193

Сведения об авторах

Яна В. Денисова к.э.н., 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
Анастасия С. Петрова магистр, факультет нефти и нефтехимии, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Республика Татарстан, Российская Федерация, petrova20132013@gmail.com
https://orcid.org/ 0000-0003-1439-9772
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

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
Anastasia S.Petrova master student, petroleum and petrochemical faculty, Kazan National Research Technological University, 68 Karl Marx street, Kazan, 420015, Republic of Tatarstan, Russian Federation, petrova20132013@gmail.com
https://orcid.org/ 0000-0003-1439-9772

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

Вклад авторов

Яна В. Денисова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, выполнила расчёты
Анастасия С. Петрова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат
Владимир Ф. Сопин консультация в ходе исследования

Contribution

Yana V. Denisova review of the literature on an investigated problem, performed computations
Anastasia S.Petrova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Vladimir F.Sopin consultation during the study

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 09/03/2022	**После редакции** 01/04/2022	**Принята в печать** 22/04/2022

Received 09/03/2022	**Accepted in revised** 01/04/2022	**Accepted** 22/04/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-324-328 Краткое сообщение/Short message
УДК 658.01 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Анализ наращивания военной мощи государства

Надежда В. Орехова [1] orehovanadia@yandex.ru
Наталья Н. Кудрявцева [2] konnat@mail.ru
Юлия В. Пахомова [3] yulia198007@mail.ru 0000-0001-6595-3118
Юлия Н. Дуванова [4] dyvanova@mail.ru 0000-0001-6595-3118

1 Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковскгго и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, Россия
2 Воронежский государственный технический университет, ул. Московский проспект, 14, г. Воронеж, Россия
3 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, 394036, г. Воронеж, Россия

Аннотация. В работе отмечена актуальность выбранной темы в настоящее время, связанную с постоянно возрастающими мировыми военными бюджетами. Подчеркнута значимость индекса военной мощи, проведен анализ его значений в динамике за последние 3 года в разрезе стран, находящихся вверху рейтинга. Предложена методика расчета параметров, связанных с военной мощью государства – одним из самых сильных средств достижения политических целей. На основе анализа военной мощи государства представлен механизм функционирования и развития военного потенциала во взаимодействии со структурными компонентами в рамках совокупного потенциала. Военная мощь государства представляет собой, наряду с рассмотренными структурными компонентами, совокупность отдельных элементов и организаций, функционирующих и выполняющих свои специфические задачи. На создание и обеспечение эффективного функционирования этой совокупности организаций используется то количество сил и средств, которое образует военную мощь государства. Изучена взаимосвязь уровня военного потенциала, состояния Вооруженных сил и сторон общественной жизни государства. Выявлены причины высокого рейтинга военной мощи в США, России, Китае, Индии и Японии в современных условиях. Проанализирована общая тенденция значений индекса военной мощи в анализируемых странах за 2019-2021гг. Отмечены экономические проблемы наращивания военной мощи и указаны возможные направления их решения

Ключевые слова: экономика, военная мощь, анализ, государство, актуальность

Analysis of the build-up of the military power of the state

Nadezhda V. Orekhova [1] orehovanadia@yandex.ru
Natalya N. Kudryavtseva [2] konnat@mail.ru
Yuliya V. Pakhomova [3] yulia198007@mail.ru 0000-0001-6595-3118
Yuliya N. Duvanova [4] dyvanova@mail.ru 0000-0001-6595-3118

1 Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovskiy and Y. A. Gagarin, Starich Bolshevikov str., 54a, Voronezh
2 Voronezh state technical university, Moskovsky av., 14, Voronezh, Russia
3 Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The work noted the relevance of the chosen topic at present, related to the ever-increasing world military budgets. The importance of the index of military power was emphasized, an analysis of its values in dynamics over the past 3 years was carried out in the context of the countries at the top of the rating. A methodology for calculating parameters related to the military power of the state is proposed - one of the strongest means of achieving political goals. Based on the analysis of the military power of the state, a mechanism for the functioning and development of military potential in cooperation with structural components within the framework of the total potential is presented. The military power of the state is, along with the structural components considered, a set of individual elements and organizations that function and perform their specific tasks. To create and ensure the effective functioning of this set of organizations, the amount of forces and means that forms the military power of the state is used. The relationship between the level of military potential, the state of the Armed Forces and the parties to the public life of the state was studied. The reasons for the high rating of military power in the USA, Russia, China, India and Japan in modern conditions have been identified. The general trend of the military power index values in the analyzed countries for 2019-2021 has been analyzed. Economic problems of increasing military power were noted and possible directions of their solution were indicated

Keywords: economics, military power, analysis, state, relevance

Введение

Как и несколько тысячелетий назад, вооруженные силы и сегодня являются основной гарантией безопасности, независимости и процветания любого государства. Современная история по-прежнему доказывает, что при серьезных конфликтах между странами, дипломатические переговоры, к сожалению, становятся неэффективны и разрешение таких жизненно важных разногласий без военной силы становится невозможным. Это иллюстрируют конфликты последних лет на Украине, в Иране, Ливии и Сирии. Вот почему размер, сила и боеспособность армии государства является актуальным в настоящее время, а сравнительная оценка его военной мощи представляет интерес и способствует дальнейшему совершенствованию военно-промышленного комплекса страны.

С этой целью в мире проводится всесторонний и многофакторный анализ, использующий десятки различных параметров для расчета индекса военной мощи государства, результатом которого являются самые различные авторитетные

Для цитирования
Орехова Н.В., Кудрявцева Н.Н., Пахомова Ю.В., Дуванова Ю.Н. Анализ наращивания военной мощи государства // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 82. № 2. С. 324–328. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-324-328

For citation
Orekhova N.V., Kudryavtseva N.N., Pakhomova Yu.V., Duvanova Yu.N. Analysis of the build-up of the military power of the state. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 82. no. 2. pp. 324–328. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-324-328

© 2022, Орехова Н.В. и др. / Orekhova N.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

рейтинги. Например, аналитическая компания GlobalFirepower учитывает 55 параметров при расчете своего индекса военной мощи: количество вооруженных сил, регулярных войск и военных формирований, их разнообразие, наличие стратегических и природных ресурсов, включая их запасы, географическое положение государства и его климат, логистика, степень развития промышленности и инфраструктуры, процент модернизации вооружений и общий военный бюджет страны. При этом нельзя не обращать внимание на такие факторы, как военные объединения и союзники, которые также оказывают непосредственное влияние на суммарную военную мощь. И хотя все эти факторы можно рассматривать как теоретические, а определить силу армии возможно только на поле боя, следует отметить, что примерное состояние армий мира рейтинги военной мощи все-таки оценивают.

Анализ индекса силы Российской Федерации

Рейтинг аналитической компании Global Firepower является одним из наиболее достоверных среди подобных рейтингов и дает современную оценку около 160 армиям, функционирующим на текущий момент. На основе используемых параметров компания GlobalFirepower формирует собственный индекс силы, который отражает мощь армии государства. Расшифровывается такой индекс следующим образом: чем он ближе к 0.0000, тем мощнее армия.

Проанализируем динамику вышеописанного индекса военной мощи (GlobalFirepower) за 2019–2021 гг. для стран, имеющих значения наиболее близкие к 0 (рисунок 1).

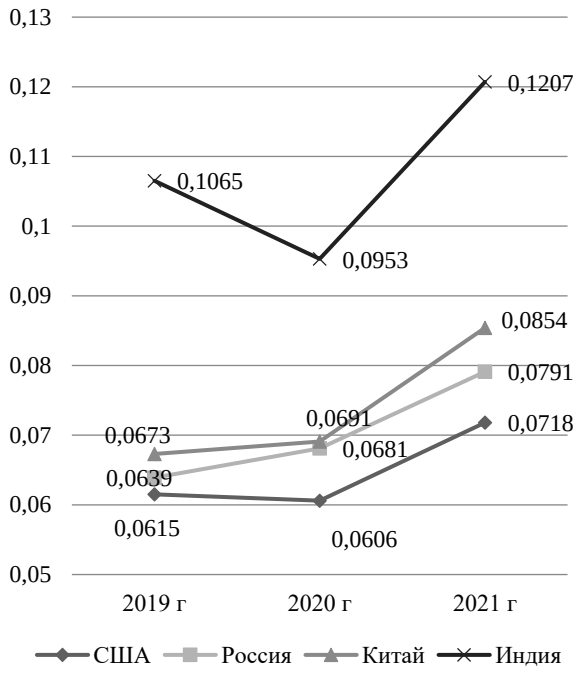


Рисунок 1. Индекс GlobalFirepower за 2019–2021 гг.

Figure 1. GlobalFirepower index for 2019–2021

Каждая из перечисленных стран имеет свои преимущества, которые отражены в значениях основных показателей, определяющих военную мощь стран (таблица 1, рисунок 2).

Графики индекса силы наглядно показывают, что приоритеты армий по военной мощи за исследуемый период не изменились. США, Россия, Китай, Индия находятся в первых строчках рейтинга в течение всех трех лет, причем и порядок возрастания их индексов силы оставался неизменным.

Таблица 1.

Основные частные показатели, определяющие военную мощь стран в 2021 году

Table 1.

Main private indicators that determine the military strength of countries in 2021

Страна Country	Кол-во танков, шт. Number of tanks, pcs	Кол-во самолетов в ВВС, тыс. шт. Number of aircraft in the Air Force, thousand units	Кол-во ядер. боеголовок, шт. The number of aircraft in the Air Force, thousand units	Кол-во авианосцев, шт. Number of aircraft carriers, pcs.	Кол-во подвод. лодок, шт. Submarines, pcs.
США | USA	8325	13683	7506	10	72
Россия | Russia	15500	3082	8484	1	63
Китай | China	9150	27888	250	1	69
Индия | India	3569	1785	100	2	17
Великобритания | Great Britain	407	908	225	1	11
Франция | France	423	1208	300	1	10
Германия | Germany	408	710	0	0	4
Турция | Turkey	3657	989	0	0	14
Южная Корея | South Korea	2346	1393	0	0	14
Япония | Japan	767	1595	0	1	16
Израиль | Israel	3870	680	200	0	14
Италия | Italy	600	795	0	2	6
Египет | Egypt	4767	1100	0	0	4
Бразилия | Brazil	489	748	0	1	5
Пакистан | Pakistan	3124	847	110	0	8
Канада | Canada	201	404	0	0	4

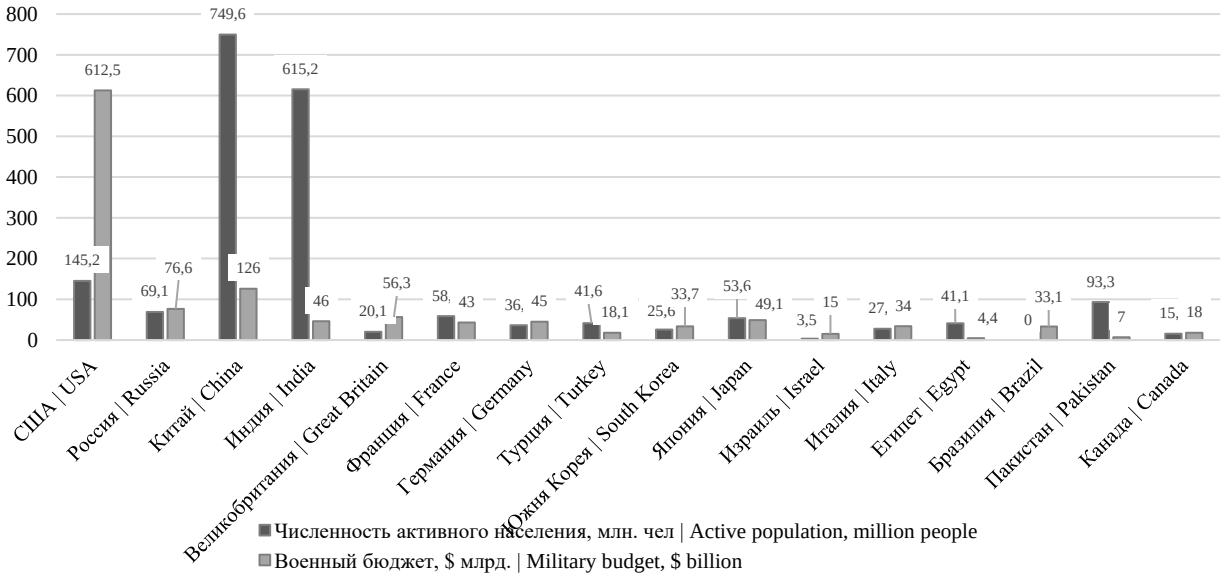


Рисунок 2. Численность активного населения и военный бюджет по государствам в 2021 г.

Figure 2. Number of active population and military budget by states in 2021

Лидерство США по военному бюджету, по количеству военных самолетов и по военно-морским силам, современным военным технологиям и роботизации военных сил позволило занимать первую строчку рейтинга Global Firepower (индекс силы 0,0718).

Устойчивое второе место России связано с приоритетом по развитию сухопутных сил среди всех армий мира, авиации и модернизацией военно-морского флота (индекс силы 0,0791). Этого результат получен за счет успешной реализации государственной программы вооружений 2011–2020 гг., которая привела к тому, что доля современных вооружений в июле 2021 года составила 71 %, и, главное, уровень оснащенности такими вооружениями в ядерной триаде нашей страны достиг 83 %.

Китай уверенно занимает третью строчку в данном рейтинге (индекс силы 0,0854), что объясняется его лидерством по количеству постоянных вооруженных сил (более 2 млн чел.), скоростью создания новых и модернизации уже имеющихся вооружений. Помимо этого, Китай имеет солидное количество танков и самолетов и второй по размеру военный бюджет в мире, что не может не отразиться не рейтинге военной мощи страны.

Индия же своим четвертым местом (индекс силы 0,1207) обязана причастностью, как впрочем и первая тройка стран лидеров, к ядерному клубу.

Японию, занимающую пятое место в рейтинге (индекс силы 0,1599), выделяют один из лучших военно-морских флотов мира, имеющий авианосца, и высокоразвитые военно-воздушные силы.

Вызывает определенный интерес и общая тенденция значений индекса военной мощи в пяти анализируемых странах. Эти значения растут, и растут приблизительно одинаковыми темпами, что позволяет сделать вывод о снижении уровня военной мощи в мире. У данной закономерности, несомненно, есть причины.

В большинстве экономически развитых стран в настоящий момент непрерывно совершенствуются военно-промышленные комплексы за счет разработки новых технологий. При этом важно понимать, что конструирование военно-технических средств отстает от динамичного развития научно-технологической основы. Однако, учитывая масштабы потенциально возможной третьей мировой войны, нельзя пренебрегать тем, что большая часть ВВСТ будет уничтожена за короткий промежуток времени, а другая часть – не востребована. В связи с осознанием такой неизбежности дальнейшее бесконечная традиционная «гонка вооружений» нерациональна, как с экономической, так и политической точек зрения.

В связи с этим вышеуказанными странами с определенного времени осуществляется работа по созданию нетрадиционных средств ведения вооруженной борьбы. Такие новые средства могут обеспечить наибольший эффект за счет воздействия на жизненно важные органы человека, агрегаты вооружения, боевой техники и физические поля, сопутствующие их функционированию, используя лучевую энергию, агрессивные химические средства, различные биологические методы, а также микроволновое и электоромагнитное излучения. Несмотря на то, что в современных условиях они только дополняют традиционные виды вооружения, в дальнейшем существует вполне реальная перспектива предпочтения их любым имеющимся сегодня видам оружия. Это подтверждается и возросшими расходами на

оборонные нужды многих высокоразвитых стран, предположительно, в следствие увеличения затрат, связанных с новыми средствами вооружения.

Но, поскольку помимо размеров военного бюджета действующий индекс военной мощи не учитывает нетрадиционные средства ведения вооруженной борьбы, динамика его значений в странах имеет тенденцию снижения.

Еще одна экономическая проблема заключается в следующем.

Как показывает исторический опыт и практика ведения боевых действий группировками войск в войнах и вооруженных конфликтах, практически невозможно вести боевые действия за счет вооружения и военной техники, выпущенной промышленностью в предшествующее данному моменту мирное время. Следовательно, подготовка к наращиванию выпуска военной продукции должна осуществляться заблаговременно, что выполнимо при использовании диверсификации соответствующего производства. Причем важно, чтобы диверсификация была основана на выпуске продукции двойного назначения и (или) такой продукции гражданского назначения, которая могла бы производиться на оборудовании, способном в короткие сроки перестраиваться на производство товаров для удовлетворения военных нужд.

Заключение

Мировые экономические проблемы наращивания военной мощи в настоящее время связаны с нецелесообразностью дальнейшего значительного финансирования долгосрочных программ традиционных видов оружия наравне с необходимостью внедрения научно-технологических военных новинок этого профиля.

Выход из этой ситуации видится в гибком ситуационном подходе к разработке и внедрению новейших видов ВВСТ и одновременно с этим развитием нетрадиционных видов вооружения.

Литература

1 Кудрявцева Н.Н., Орехова Н.В., Титов А.В. Актуальные проблемы анализа военного бюджета России в современных условиях // Актуальные проблемы вооруженной борьбы в воздушно космической сфере: сб. науч. тр. по материалам VII всероссийской военно-науч. конф. Воронеж: ВУНЦ ВВС ВВА, 2021. С. 24–26.

2 Кудрявцева Н.Н., Орехова Н.В., Мещеряков В.И., Назарова В.И. Военно-экономическое обеспечение вооруженных сил Российской Федерации: современное состояние и перспективы развития // Актуальные проблемы вооруженной борьбы в воздушно-космической сфере: сб. науч. тр. по материалам VII всероссийской военно-науч. конф. Воронеж: ВУНЦ ВВС ВВА, 2021. С. 74–76.

3 Кудрявцева Н.Н., Орехова Н.В., Пахомова Ю.В. Военный бюджет Российской Федерации: динамика изменения государственных расходов раздела «национальная оборона» и анализ структуры подраздела «вооруженные силы Российской Федерации» // Вопросы экономики, организации и управления в хозяйствующих субъектах: межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. С. 83–89.

4 Дубиновский М.З., Балдов Д.В. Административно-территориальное управление продовольственной безопасностью // Вестник НГИЭИ. 2017. № 8 (75). С. 48–55.

5 Kihn M. House of lies: how management consultants steal your watch and then tell you the time. 2012. Senor Dan Start-up Nation. 2016. 198 p.

6 Senor Dan Start-up Nation. 2016. 198 p.

7 Turner R., Ledwith A. Project management in small to Medium Sized enterprises: Fitting the practices to the needs of the firm to deliver benefit // Journal of Small Business Management. 2018. V. 56. № 3. P. 475–493.

8 Dey P.K., Petridis N.E., Petridis K., Malesios C. et al. Environmental management and corporate social responsibility practices of small and medium-sized enterprises // Journal of cleaner production. 2018. V. 195. P. 687–702.

9 Collings D.G., Mellahi K., Cascio W.F. Global talent management and performance in multinational enterprises: A multilevel perspective // Journal of Management. 2019. V. 45. № 2. P. 540–566.

10 Hilorme T., Chorna M., Karpenko L., Milyavskiy M. et al. Innovative model of enterprises personnel incentives evaluation // Academy of Strategic Management Journal. 2018. V. 17. № 3. P. 1–6.

11 Craig A., Valeriano B. Conceptualising cyber arms races // 2016 8th international conference on cyber conflict (CyCon). IEEE, 2016. P. 141-158. doi: 10.1109/CYCON.2016.7529432

12 Bitzinger R.A. Asian arms industries and impact on military capabilities // Defence Industries in the 21st Century. Routledge, 2021. P. 115-131.

13 Czulda R. Defence Dilemmas of the GCC States–Threats and Military Build-Up. 2018.

14 Gindarsah I. Strategic hedging in Indonesia's defense diplomacy // Defense & Security Analysis. 2016. V. 32. №. 4. P. 336-353. doi: 10.1080/14751798.2016.1233695

15 Davis C.M. The Ukraine conflict, economic–military power balances and economic sanctions // Post-Communist Economies. 2016. V. 28. №. 2. P. 167-198. doi: 10.1080/14631377.2016.1139301

16 Liff A.P., Erickson A.S. Demystifying China's Defence Spending: Less Mysterious in the Aggregate // The China Quarterly. 2013. V. 216. P. 805-830. doi: 10.1017/S0305741013000295

17 Chase M.S. China's Transition to a More Credible Nuclear Deterrent: Implications and Challenges for the United States // Asia Policy. 2013. №. 16. P. 69-102.

18 Powell J.M. Trading coups for civil war: The strategic logic of tolerating rebellion // African Security Review. 2014. V. 23. №. 4. P. 329-338. doi: 10.1080/10246029.2014.944196

19 Hughes C.W. Japan's 'resentful realism'and balancing China's rise // The Chinese Journal of International Politics. 2016. V. 9. №. 2. P. 109-150. doi: 10.1093/cjip/pow004

20 Booth K. Strategy and ethnocentrism. Routledge, 2014.

References

1 Kudryavtseva N.N., Orekhova N.V., Titov A.V. Topical problems of analysis of the military budget of Russia in modern conditions. Topical problems of armed struggle in the aerospace sphere: combat scientific. tr. according to the materials of the VII All-Russian military-scientific. conf. Voronezh, VUNC Air Force VVA, 2021. pp. 24–26. (in Russian).

2 Kudryavtseva N.N., Orekhova N.V., Meshcheryakov V.I., Nazarova V.I. Military-economic support of the armed forces of the Russian Federation: the current state and prospects for development. Current problems of armed struggle in the aerospace sphere: scientific. tr. according to the materials of the VII All-Russian military-scientific. conf. Voronezh, VUNC Air Force VVA, 2021. pp. 74–76. (in Russian).

3 Kudryavtseva N.N., Orekhova N.V., Pakhomova Yu.V. The military budget of the Russian Federation: the dynamics of changes in public spending in the section "national defense" and the analysis of the structure of the subsection "armed forces of the Russian Federation". Questions of economics, organization and management in business entities: interuniversity. Sat. scientific tr. Voronezh, VGTU Publishing House, 2021. pp. 83–89. (in Russian).

4 Dubinovskij M.Z., Baldov D.V. Administrative and territorial management of food security. Bulletin NGIEI. 2017. no. 8 (75). pp. 48–55. (in Russian).

5 Kihn M. House of lies: how management consultants steal your watch and then tell you the time. 2012.

6 Senor Dan Start-up Nation. 2016. 198 p.

7 Turner R., Ledwith A. Project management in small to Medium Sized enterprises: Fitting the practices to the needs of the firm to deliver benefit. Journal of Small Business Management. 2018. vol. 56. no. 3. pp. 475–493.

8 Dey P.K., Petridis N.E., Petridis K., Malesios C. et al. Environmental management and corporate social responsibility practices of small and medium-sized enterprises. Journal of cleaner production. 2018. vol. 195. pp. 687–702.

9 Collings D.G., Mellahi K., Cascio W.F. Global talent management and performance in multinational enterprises: A multilevel perspective. Journal of Management. 2019. vol. 45. no. 2. pp. 540–566.

10 Hilorme T., Chorna M., Karpenko L., Milyavskiy M. et al. Innovative model of enterprises personnel incentives evaluation. Academy of Strategic Management Journal. 2018. vol. 17. no. 3. pp. 1–6.

11 Craig A., Valeriano B. Conceptualising cyber arms races. 2016 8th international conference on cyber conflict (CyCon). IEEE, 2016. pp. 141-158. doi: 10.1109/CYCON.2016.7529432

12 Bitzinger R.A. Asian arms industries and impact on military capabilities. Defence Industries in the 21st Century. Routledge, 2021. pp. 115-131.

13 Czulda R. Defence Dilemmas of the GCC States–Threats and Military Build-Up. 2018.

14 Gindarsah I. Strategic hedging in Indonesia's defense diplomacy. Defense & Security Analysis. 2016. vol. 32. no. 4. pp. 336-353. doi: 10.1080/14751798.2016.1233695

15 Davis C.M. The Ukraine conflict, economic–military power balances and economic sanctions. Post-Communist Economies. 2016. vol. 28. no. 2. pp. 167-198. doi: 10.1080/14631377.2016.1139301

16 Liff A.P., Erickson A.S. Demystifying China's Defence Spending: Less Mysterious in the Aggregate. The China Quarterly. 2013. vol. 216. pp. 805-830. doi: 10.1017/S0305741013000295

17 Chase M.S. China's Transition to a More Credible Nuclear Deterrent: Implications and Challenges for the United States. Asia Policy. 2013. no. 16. pp. 69-102.

18 Powell J.M. Trading coups for civil war: The strategic logic of tolerating rebellion. African Security Review. 2014. vol. 23. no. 4. pp. 329-338. doi: 10.1080/10246029.2014.944196

19 Hughes C.W. Japan's 'resentful realism'and balancing China's rise. The Chinese Journal of International Politics. 2016. vol. 9. no. 2. pp. 109-150. doi: 10.1093/cjip/pow004

20 Booth K. Strategy and ethnocentrism. Routledge, 2014.

Сведения об авторах

Надежда В. Орехова к.э.н., доцент, кафедра управления материально-техническим обеспечением ВВС, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковскрго и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, Россия, orehovanadia@yandex.ru

Наталья Н. Кудрявцева к.э.н., доцент, кафедра управления материально-техническим обеспечением ВВС, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковскрго и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, Россия, konnat@mail.ru

Юлия В. Пахомова к.э.н., доцент, кафедра экономической безопасности, Воронежский государственный технический университет, Московский пр-т, 14, г. Воронеж, Россия, yulia198007@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6595-3118

Юлия Н. Дуванова к.э.н., доцент, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, Россия, dyvanova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6595-3118

Information about authors

Nadezhda V. Orekhova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, logistics management department, Air Force Academy named after Professor N. Zhukovskiy and Yu. Gagarin, Old Bolsheviks str., 54a, Voronezh, Russia, orehovanadia@yandex.ru

Natalya N. Kudryavtseva Cand. Sci. (Econ.), associate professor, logistics management department, Air Force Academy named after Professor N. Zhukovskiy and Yu. Gagarin, Old Bolsheviks str., 54a, Voronezh, Russia, konnat@mail.ru

Yuliya V. Pakhomova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, economic security department, Voronezh State Technical University, Moskovsky av., 14, Voronezh, Russia, yulia198007@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6595-3118

Yuliya N. Duvanova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, economic security and the financial monitoring department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, dyvanova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6595-3118

Вклад авторов

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

Contribution

All authors were equally involved in writing 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 08/03/2022	**После редакции** 01/04/2022	**Принята в печать** 22/04/2022
Received 08/03/2022	**Accepted in revised** 01/04/2022	**Accepted** 22/04/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-329-333 Оригинальная статья/Research article
УДК 360 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Анализ преимущественных эффектов применения асинхронных электродвигателей в промышленном секторе

Галина С. Армашова-Тельник [1] atgs@ya.ru 0000-0001-9370-5875
Татьяна А. Бобович [1] www.bt@bk.ru 0000-0001-6803-415X

1 Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Большая Морская 67, Санкт-Петербург, 190000, Россия.

Аннотация. Актуальность статьи обусловлена спецификой проектирования асинхронных электродвигателей, связанной с высокой потребностью, на производстве, в электрических машинах. На сегодняшний день развитие государства активно стремятся сократить использование двигателей внутреннего сгорания. Для обеспечения данного перехода в странах создаются новые станции зарядки электромобилей. Доля продаж электродвигателей с каждым годом непрерывно растет. По данным Росстата за 2019 год показатель покупки электромобилей составляет 2,5 %, в 2020 – 4,6 %, а в 2021 – 6,4 %. В настоящее время рынок готовых электродвигателей не в состоянии удовлетворить производственный спрос. Кроме того, знание особенностей проектирования асинхронных электродвигателей, умение ориентироваться в определённых конъюнктурных тенденциях, позволит принимать обоснованные управленческие решения при производстве и продвижении продукции. Так же, применение асинхронных электродвигателей в производственной деятельности субъектов хозяйствования позволяет не только повысить конкурентоспособность предприятия, посредством ресурсной минимизации, но и отвечать на современные потребности в соблюдении требований экологической безопасности. В статье рассмотрены преимущества и особенности применения различных видов электродвигателей в производстве. Выделены специфические условия их эффективного использования, при различных мощностях, объемах производства и т.д. Статистический анализ использования асинхронных электродвигателей в российской промышленности демонстрирует данные, формирующие перспективы развития данного вида производств, что будет способствовать росту экономических показателей на российском рынке производства экологически чистых технологических решений.

Ключевые слова: технологические решения, электрический двигатель, промышленное производство, экономический сектор, анализ преимуществ.

Analysis of the preferential effects of the use of asynchronous electric motors in the industrial sector

Galina S. Armashova-Telnik [1] atgs@ya.ru 0000-0001-9370-5875
Tatyana A. Bobovich [1] www.bt@bk.ru 0000-0001-6803-415X

1 Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Bolshaya Morskaya 67, Saint Petersburg, 190000, Russia.

Abstract. The relevance of the article is due to the specifics of the design of asynchronous electric motors associated with high demand, in production, in electric machines. To date, the development of the state is actively seeking to reduce the use of internal combustion engines. To ensure this transition, countries are creating new charging stations for electric vehicles. The share of sales of electric motors is continuously growing every year. According to Rosstat for 2019, the purchase rate of electric vehicles is 2.5%, in 2020 - 4.6%, and in 2021 - 6.4%. Currently, the market of ready-made electric motors is not able to meet the production demand. In addition, knowledge of the design features of asynchronous electric motors, the ability to navigate certain market trends, will allow you to make informed management decisions in the production and promotion of products. Also, the use of asynchronous electric motors in the production activities of business entities allows not only to increase the competitiveness of the enterprise, through resource minimization, but also to respond to modern needs in compliance with environmental safety requirements. The article discusses the advantages and features of the use of various types of electric motors in production. The specific conditions of their effective use are highlighted, with different capacities, production volumes, etc. Statistical analysis of the use of asynchronous electric motors in the Russian industry demonstrates data that form the prospects for the development of this type of production, which will contribute to the growth of economic indicators in the Russian market for the production of environmentally friendly technological solutions.

Keywords: technological solutions, electric motor, industrial production, economic sector, benefit analysis.

Введение

Скоротечность технического прогресса требует актуальной и глобальной автоматизации и унификации производственных процессов. Стандартизация и типизация изготовления асинхронных электрических двигателей минимизирует трудоемкость производства, тем самым делая его экономически привлекательным для потребителей. Следовательно, интерес к асинхронным машинам, работающим на переменном токе, для регулируемых электрических приводов очень высок. Это обусловлено тем, что в недалёком прошлом, практически во всём мире начал проводиться обширный комплекс работ по разработке электрических машин разнообразных конфигураций. Сейчас электрические машины эксплуатируются в разнообразных регулируемых

Для цитирования
Армашова-Тельник Г.С., Бобович Т.А. Анализ преимущественных эффектов применения асинхронных электродвигателей в промышленном секторе // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 329–333. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-329-333

For citation
Armashova-Telnik G.S., Bobovich T.A. Analysis of the preferential effects of the use of asynchronous electric motors in the industrial sector. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 329–333. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-329-333

© 2022, Армашова-Тельник Г.С. и др. / Armashova-Telnik G.S. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

приводах, которые используются в сельском хозяйстве, транспорте, промышленных насосах, буровых установках, на строительной технике и т. д.

Большое распространение асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором получили в результате существенных преимуществ по сравнению с двигателями постоянного тока или асинхронными двигателями с фазным ротором. К достоинствам данного электродвигателя относится: простота конструкции, хорошая надежность, низкие требования к уходу, долгий срок службы и отсутствие искрящих частей, что упрощает их эксплуатацию в горной промышленности. При повышении качества производимого эклектического двигателя производитель может регулировать стоимость готовой продукции с целью повышения уровня конкурентоспособности.

Обсуждение

На сегодняшний день в продаже существует огромное множество разнообразных электродвигателей, обладающих своими отличительными свойствами, обуславливающими область их применения. Конструирование электрического двигателя, это сложный и кропотливый процесс, который представляет собой проектирование основных размеров электрической машины, всех её частей и деталей, механических характеристик и оценку различных показателей. Рынок асинхронных двигателей в России на данный момент представляет собой широкий спектр разнообразных моделей. Для выбора производимой серии необходимо учитывать разнообразные факторы: имеющиеся оборудование на предприятии, квалификацию сотрудников, производственные мощности, открытость к инновационной деятельности, гибкость руководства и экономический потенциал.

Одним из главных требований при конструировании электродвигателя является минимальная материалоёмкость. Следовательно, при проектировании электрической машины, важнейшей задачей является создание электродвигателя, удовлетворяющего требованиям заказчика при максимальной экономии электротехнической стали, меди, алюминия и конструкционных материалов. Также необходимо учитывать экологические стандарты региона как при производстве двигателя, так и при его непосредственном использовании.

Чаще всего электродвигатели большой мощности исполняют с закрытым корпусом со встроенным воздушным или водяным охлаждением. Так же существует возможность спроектировать электродвигатель в продуваемом корпусе без внутреннего охлаждения. Данный способ защиты имеет обозначение IP23. Характерными особенностями электродвигателя, исполненного данным способом защиты, является дешевизна и более компактные габариты при идентичных параметрах двигателя.

Асинхронный двигатель по праву считается основополагающей нынешних электромеханических систем. Данное положение ему обеспечивают несколько отличительных особенностей: простота конструкции, надежность, долговечность, лёгкость обслуживания, отсутствие скользящих контактов, низкая стоимость и простота изготовления.

На сегодняшний день развитие государства активно стремятся сократить использование двигателей внутреннего сгорания (ДВС). В Норвегии с 2025 года запрещена продажа автомобилей с ДВС, а с 2040 года в европейских странах и США вступает в силу запрет на продажу грузового транспорта с использованием традиционных силовых установок. Китай, Япония также идут по пути отказа от ДВС в пользу более экологических и экономически выгодных аналогов. Для обеспечения данного перехода в странах создаются новые станции зарядки электромобилей. Доля продаж электродвигателей с каждым годом непрерывно растет. По данным Росстата за 2019 год показатель покупки электромобилей составляет 2,5 %, в 2020 – 4,6 %, а в 2021 – 6,4 %.

Электрическая машина обеспечивает высокую надежность, длительный срок эксплуатации без капитальных ремонтов, который значительно превосходит срок эксплуатации других типов электрических машин. Благодаря неоспоримому набору положительных характеристик, использование асинхронного электродвигателя на предприятии значительно сказывается на модернизации экономии во всех этапах производства в лучшую сторону.

Но даже асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором недостаточно просто купить. Также необходимо учитывать климатические условия при эксплуатации данного электродвигателя. К примеру, для северного климата с экстремально низкими температурами необходим электродвигатель с повышенной степенью защиты, который имеет температурную защиту, что несет в себе дополнительные финансовые затраты. В жарком климате наоборот, уместнее использовать двигатель с пониженной степенью защиты с прорезями в корпусе для лучшей циркуляции воздуха внутри корпуса, для охлаждения сильно греющихся частей электрической машины.

Асинхронные электрические машины нашли свое применение практически во всех производственных сферах деятельности. Однофазные электродвигатели (220В) применяются в системах малой мощности, в которых не требуется существенная регулировка скорости

вращения вала: в различных холодильниках, в бетономешалках, вентиляторах, электробритвах, газонокосилках, стиральных машинах.

Трёхфазные асинхронные электродвигатели в основном применяются в сложных механизмах промышленных предприятиях, таких как: промышленные насосные станции, краны, лебёдки, вентиляторы крупных вентиляционные шахты, компрессоры, буровые установки в горнодобывающей и нефтехимической промышленности, деревообрабатывающие станки.

Электродвигатели, подключающиеся к трехфазной сети переменного тока, бывают совершенно различными по особенностям их конструкции и их назначению. Трёхфазные электродвигатели подразделяются на 3 группы:

общепромышленные (могут подразделятся на большое количество всевозможных исполнений изначальной модели);

крановые (подразделяются по типу ротора: с фазными короткозамкнутым);

взрывозащищенные (делится на 2 главных подразделения: нефтехимические и рудничные).

Для предупреждения поломок электродвигателей, необходимо проводить своевременные технические обслуживания согласно регламенту, определённым производителем. Это обусловлено тем, что своевременно проводить мероприятия по техническому обслуживанию электродвигателей значительно выгодно и дешево, чем покупать дорогостоящие детали.

Перед покупкой электродвигателя необходимо учитывать условия, в которых он будет работать. К примеру, в строительстве и горнодобывающей промышленности достаточно агрессивные условия и высокие нагрузки, которые мешают нормальной работе электродвигателя, поэтому в этих промышленных секторах необходимо использовать электрические машины с повышенной степенью защиты, хоть они и значительно дороже. А в машиностроении и химической промышленности, электродвигатели в основном работают в закрытых помещениях, где минимизировано количество пыли и влаги, следовательно, в этих промышленных секторах можно использовать двигатели с пониженной степенью защиты, которые стоят дешевле. Таким образом, корректный выбор электрической машины позволит уменьшить процент поломок и расход средств на ремонт и покупку оборудования.

В некоторых случаях при высокой мощности электродвигателя, его обороты и присоединительные размеры электродвигателей IP23 АМН могут совпадать с электромоторами АИР. В таком случае существует возможность замены общепромышленного двигателя АИР на двигатель АМН для повышения экономической эффективности.

Очевидно, что при одинаковой мощности агрегатов, электродвигатель IP23 выигрывает за счет своих меньших размеров, из-за более низкой степени защиты и, как соответствие своей более низкой цены. К примеру, электродвигатель серии АИР 355 S2 IM1001 на 3000 оборотов, мощностью 250кВт со степенью защиты IP54 стоит от 1025170 р. А схожий с идентичными характеристиками АМН 315 М2 со степенью защиты IP23 стоит 697882 р. Сфера эксплуатации асинхронных электрических машин в наши дни очень широка. Их используют в транспорте, промышленных станках, вентиляторах, насосах и в другом различном оборудовании, где нагрузка относительно стабильна или снижение количества оборотов не сильно влияет на рабочий процесс.

Одним из основных достоинств асинхронных электродвигателей является возможность частых пусков, что весьма желательно в условиях работы энергетических систем, где эксплуатируются мощные промышленные насосы. Возможность повторных пусков определяется повышенными требованиями к обмотке статора, нагревание которой определяет длительность перерыва между запусками и общим количеством запусков за определённый период времени.

Такой электродвигатель отлично подходит для подключения к промышленным насосам водоканалов, так как он обладает большой мощностью. Также данный электродвигатель выделяется своей компактностью конструкции. Он обладает достаточно простым соединением с насосом, легкой автоматизацией управления и относительно низкими эксплуатационными затратами. Использование асинхронных двигателей заметно повысит экономическую выгоду предприятия благодаря относительно низкой стоимости данного вида электродвигателя.

Производство электродвигателей в России непрерывно росло с 2016 по 2019 благодаря импорту готовой продукции, однако в 2020 году из-за мировой пандемии коронавирусной инфекции покупательская способность зарубежных партнеров снизилась. Из-за осложнения внешнеторговых операций производство асинхронных электродвигателей впервые с 2016 года упало на 2 %. На данный момент производство сократилось на 1,3 % по сравнению в 2021 годом, однако эксперты прогнозируют умеренный рост спроса в 2023–2025 гг. на 1,9 % или 44,16 млн штук в год.

Заключение

Производство асинхронных электродвигателей способствует повышению экономической и экологической ситуации в стране, повышает уровень конкурентоспособности российской промышленности в мире, поддерживает развитие научно-технического прогресса, содействует внедрению инновационных технологий.

Литература

1 Kalandarovich B.M., Mansurovich F.M., Aktamovich M.R., Elmurodovich B.O. et al. Applying the non-contact devices for starting a single-phase asynchronous electric motor // Вестник науки и образования. 2021. №. 11-2 (114). С. 31-35.

2 Армашова-Тельник Г.С. Особенности управления приобретением электроэнергии // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 1 (75). С. 283–287.

3 Армашова-Тельник Г.С. Конкурентно-рыночное пространство в контексте потребности роста конкурентоспособности российской системы хозяйствования // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 2. С. 259–264. doi: 10.20914/2310-1202-2021-2-259-264

4 Благодаров Д.А., Дульнев Н.Н., Федорцов Н.Н., Сафонов Ю.М. Оптимальное использование асинхронных электродвигателей в электроприводе // Технический оппонент. 2021. № 1 (7). С. 41–44.

5 Гуденов В.П., Мятников И.С., Айдар-бек уулу М. Существующие виды обслуживания асинхронных электродвигателей // Вестник науки. 2020. Т. 2. № 8 (29). С. 150–153.

6 Гельруд Я.Д., Цуй Цзянань Экономическая безопасность инновационно-инвестиционных проектов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2022. Т. 16. № 1. С. 107–115.

7 Межов С.И., Межов И.С. Прогнозирование операционно-инновационных процессов крупной промышленной корпорации // Проблемы прогнозирования. 2020. № 4 (181). С. 41–54.

8 Бирюков А.Н., Гранкина Е.В. Тенденции технологического развития экономики России: проблемы и пути преодоления //Дневник науки. 2020. № 9 (45). С. 18.

9 Подставкова М.И. Европейская автомобильная промышленность в эпоху трансформации отрасли // Российский внешнеэкономический вестник. 2021. № 5. С. 116–123.

10 Разинков М.И., Жукова А.А., Борисенок Н.К., Долгих Е.А. Статистический анализ основных тенденций развития рынка электромобилей в России // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 80–6. С. 153–158.

11 Шулимова А.А., Яквашева Д.Ю., Тюпка Д.А. Институционализация организационных и технологических инноваций как фактор экономического развития России // Естественно-гуманитарные исследования. 2020. № 27 (1). С. 243–251.

12 Рукинов М.В. Векторы технологических трансформаций и перспективы безопасного развития экономики России в условиях нового технологического уклада // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2020. № 1 (121). С. 7–15.

13 Migal V., Lebedev A., Shuliak M., Kalinin E. et al. Reducing the vibration of bearing units of electric vehicle asynchronous traction motors // Journal of Vibration and Control. 2021. V. 27. №. 9-10. P. 1123-1131. doi: 10.1177/1077546320937634

14 Gundabattini E., Mystkowski A., Idzkowski A., Solomon D.G. Thermal mapping of a high-speed electric motor used for traction applications and analysis of various cooling methods—A review // Energies. 2021. V. 14. №. 5. P. 1472. doi: 10.3390/en14051472

15 Zarma T.A., Galadima A.A., Aminu M.A. Review of motors for electric vehicles // Journal of Scientific Research and Reports. 2019. V. 24. №. 6. P. 1-6.

16 Giri F. AC electric motors control: advanced design techniques and applications. John Wiley & Sons, 2013.

17 Uzhegov N., Barta J., Kurfürst J., Ondrusek C. et al. Comparison of high-speed electrical motors for a turbo circulator application // IEEE Transactions on Industry Applications. 2017. V. 53. №. 5. P. 4308-4317. doi: 10.1109/TIA.2017.2700793

18 Migal V., Arhun S., Hnatov A., Dvadnenko V. et al. Substantiating the criteria for assessing the quality of asynchronous traction electric motors in electric vehicles and hybrid cars // Journal of the Korean Society for Precision Engineering. 2019. V. 36. №. 10. P. 989-999.

19 Zhukovskiy Y., Korolev N., Koteleva N. About increasing informativity of diagnostic system of asynchronous electric motor by extracting additional information from values of consumed current parameter // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2018. V. 1015. №. 3. P. 032158.

20 Yilmaz M. Limitations/capabilities of electric machine technologies and modeling approaches for electric motor design and analysis in plug-in electric vehicle applications // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. V. 52. P. 80-99. doi: 10.1016/j.rser.2015.07.033

References

1 Kalandarovich B.M., Mansurovich F.M., Aktamovich M.R., Elmurodovich B.O. et al. Applying the non-contact devices for starting a single-phase asynchronous electric motor. Bulletin of Science and Education. 2021. no. 11-2 (114). pp. 31-35.

2 Armashova-Telnik G.S. Features of managing the purchase of electricity. Proceedings of VSUET. 2018. vol. 80. no. 1 (75). pp. 283–287. (in Russian).

3 Armashova-Telnik G.S. Competitive market space in the context of the need to increase the competitiveness of the Russian economic system. Proceedings of VSUET. 2021. vol. 83. no. 2. pp. 259–264. doi: 10.20914/2310-1202-2021-2-259-264 (in Russian).

4 Blagodrov D.A., Dulnev N.N., Fedortsov N.N., Safonov Yu.M. Optimal use of asynchronous electric motors in an electric drive. Technical opponent. 2021. no. 1 (7). pp. 41–44. (in Russian).

5 Gudenov V.P., Myatnikov I.S., Aidar-bek uulu M. Existing types of maintenance of asynchronous electric motors. Bulletin of Science. 2020. vol. 2. no. 8 (29). pp. 150–153. (in Russian).

6 Gelrud Ya.D., Cui Jiangan Economic security of innovation and investment projects. Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management. 2022. vol. 16. no. 1. pp. 107–115. (in Russian).

7 Mezhov S.I., Mezhov I.S. Forecasting of operational and innovative processes of a large industrial corporation. Problems of Forecasting. 2020. no. 4 (181). pp. 41–54. (in Russian).

8 Biryukov A.N., Grankina E.V. Trends in the technological development of the Russian economy: problems and ways to overcome. Diary of Science. 2020. no. 9 (45). pp. 18. (in Russian).

9 Podstavkova M.I. European automotive industry in the era of industry transformation. Russian Foreign Economic Bulletin. 2021. no. 5. pp. 116–123. (in Russian).

10 Razinkov M.I., Zhukova A.A., Borisenok N.K., Dolgikh E.A. Statistical analysis of the main trends in the development of the electric vehicle market in Russia. Trends in the development of science and education. 2021. no. 80–6. pp. 153–158. (in Russian).

11 Shulimova A.A., Yakvasheva D.Yu., Tyupka D.A. Institutionalization of organizational and technological innovations as a factor in the economic development of Russia. Natural Humanitarian Studies. 2020. no. 27 (1). pp. 243–251. (in Russian).

12 Rukinov M.V. Vectors of technological transformations and prospects for the safe development of the Russian economy in the context of a new technological order. Bulletin of the St. Petersburg State University of Economics. 2020. no. 1 (121). pp. 7–15. (in Russian).

13 Migal V., Lebedev A., Shuliak M., Kalinin E. et al. Reducing the vibration of bearing units of electric vehicle asynchronous traction motors. Journal of Vibration and Control. 2021. vol. 27. no. 9-10. pp. 1123-1131. doi: 10.1177/1077546320937634

14 Gundabattini E., Mystkowski A., Idzkowski A., Solomon D.G. Thermal mapping of a high-speed electric motor used for traction applications and analysis of various cooling methods—A review. Energies. 2021. vol. 14. no. 5. pp. 1472. doi: 10.3390/en14051472

15 Zarma T.A., Galadima A.A., Aminu M.A. Review of motors for electric vehicles. Journal of Scientific Research and Reports. 2019. vol. 24. no. 6. pp. 1-6.

16 Giri F. AC electric motors control: advanced design techniques and applications. John Wiley & Sons, 2013.

17 Uzhegov N., Barta J., Kurfürst J., Ondrusek C. et al. Comparison of high-speed electrical motors for a turbo circulator application. IEEE Transactions on Industry Applications. 2017. vol. 53. no. 5. pp. 4308-4317. doi: 10.1109/TIA.2017.2700793

18 Migal V., Arhun S., Hnatov A., Dvadnenko V. et al. Substantiating the criteria for assessing the quality of asynchronous traction electric motors in electric vehicles and hybrid cars. Journal of the Korean Society for Precision Engineering. 2019. vol. 36. no. 10. pp. 989-999.

19 Zhukovskiy Y., Korolev N., Koteleva N. About increasing informativity of diagnostic system of asynchronous electric motor by extracting additional information from values of consumed current parameter. Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2018. vol. 1015. no. 3. pp. 032158.

20 Yilmaz M. Limitations/capabilities of electric machine technologies and modeling approaches for electric motor design and analysis in plug-in electric vehicle applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. vol. 52. pp. 80-99. doi: 10.1016/j.rser.2015.07.033

Сведения об авторах

Галина С. Армашова-Тельник к.э.н., доцент, кафедра программно-целевого управления в приборостроении, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Большая Морская 67, Санкт-Петербург, 190000, Россия, atgs@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-9370-5875

Татьяна А. Бобович ассистент, кафедра программно-целевого управления в приборостроения, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Большая Морская 67, Санкт-Петербург, 190000, Россия, www.bt@bk.ru
https://orcid.org/0000-0001-6803-415X

Information about authors

Galina S. Armashova-Telnik Cand. Sci. (Econ.), associate professor, program-target management in instrumentation department, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Bolshaya Morskaya 67, St. Petersburg, 190000, Russia, atgs@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-9370-5875

Tatyana A. Bobovich assistant, program-target management in instrumentation department, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Bolshaya Morskaya 67, St. Petersburg, 190000, Russia, www.bt@bk.ru
https://orcid.org/0000-0001-6803-415X

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 21/04/2022 **После редакции** 13/05/2022 **Принята в печать** 02/06/2022

Received 21/04/2022 **Accepted in revised** 13/05/2022 **Accepted** 02/06/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-334-344 Обзорная статья/Review article
УДК 338.001.36 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Цифровая экономика России: анализ пандемийного периода национальной и региональной экономики

Елена В. Сибирская [1] sibirskaya.ev@rea.ru 0000-0001-5496-1446
Людмила В. Овешникова [1] oveshnikova.lv@rea.ru 0000-0002-9411-9859
Ольга М. Пасынкова [2] pasol-30@mail.ru 0000-0002-9631-4789

1 Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, г. Москва, 115054, Россия
2 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Пандемия затронула практически все сферы жизнедеятельности современной цивилизации. Одной из технологических форм преодоления этой глобальной проблемы выступает цифровизация, которая является окном возможностей выйти из кризиса. Обществу пришлось быстро перестраиваться в условиях сжатия традиционных рынков, замены ряда профессий автоматизированными системами, роста масштабов киберпреступности. При ответе на эти вызовы на первый план выходят вопросы анализа цифровой экономики, представленные в данном исследовании. Для исследования развития цифровой экономики были выбраны следующие количественные показатели: удельный вес организаций, использовавших цифровые технологии, количество персональных компьютеров в обследованных организациях, в том числе имеющих доступ к глобальным информационным сетям, удельный вес организаций, использовавших Интернет, данные об использовании информационных и коммуникационных технологий в организациях по видам экономической деятельности, удельный вес организаций, использовавших специальные программные средства, а также данные об использовании информационных и коммуникационных технологий в организациях по собирательным классификационным группировкам видов экономической деятельности. В результате выявлено, что Россия отстает от стран-лидеров по уровню развития информационного общества и цифровой экономики. Наиболее востребованными цифровыми технологиями оказались облачные сервисы, которые избавляют компании от необходимости создавать собственную цифровую инфраструктуру для хранения данных. Выявлена тенденция сокращения персональных компьютеров организациями и доли предприятий, использующих программное обеспечение, что свидетельствует о преимущественно удаленном характере работы в период пандемии. Отмечается важность инвестирования установки специализированного программного обеспечения и обучения персонала для работы с программным обеспечением и цифровой грамотности. Пандемия коронавируса в целом помогла российским компаниям начать перестройку организации бизнеса в сторону цифровизации. Институты, обеспечивающие развитие российской цифровой экономики поощряются практически во всех государственных программах и мероприятиях, направленных на совершенствование информационно-коммуникационных технологий и создания условий для применения цифровых сервисов в бизнесе.

Ключевые слова: цифровая экономика, пандемия, цифровые инструменты, цифровые сервисы, статистические показатели.

Russia's digital economy: an analysis of the pandemic period of the national and regional economy

Elena V. Sibirskaya [1] sibirskaya.ev@rea.ru 0000-0001-5496-1446
Lyudmila V. Oveshnikova [1] oveshnikova.lv@rea.ru 0000-0002-9411-9859
Olga M. Pasynkova [2] pasol-30@mail.ru 0000-0002-9631-4789

1 Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny Lane, 36, Moscow, 115054, Russia
2 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The pandemic has affected almost all spheres of life of modern civilization. One of the technological forms of overcoming this global problem is digitalization, which is a window of opportunity to get out of the crisis. Society had to quickly rebuild itself in the conditions of the compression of traditional markets, the replacement of a number of professions with automated systems, and the growth of cybercrime. In responding to these challenges, the issues of digital economy analysis presented in this study come to the fore. o study the development of the digital economy, the following quantitative indicators were selected: the proportion of organizations using digital technologies, the number of personal computers in the surveyed organizations, including those with access to global information networks, the proportion of organizations using the Internet, data on the use of information and communication technologies in organizations by type of economic activity, the proportion of organizations using special software, as well as data on the use of information and communication technologies in organizations by collective classification groupings of economic activities. As a result, it was revealed that Russia lags behind the leading countries in terms of the level of development of the information society and the digital economy. The most popular digital technologies turned out to be cloud services, which relieve companies from the need to create their own digital infrastructure for data storage. The tendency of reduction of personal computers by organizations and the share of enterprises using software has been revealed, which indicates the predominantly remote nature of work during the pandemic. The importance of investing in the installation of specialized software and training personnel to work with software and digital literacy is noted. The coronavirus pandemic as a whole has helped Russian companies to begin restructuring their business organization towards digitalization. Institutions that ensure the development of the Russian digital economy are encouraged in almost all government programs and activities aimed at improving information and communication technologies and creating conditions for the use of digital services in business.

Keywords: digital economy, pandemic, digital tools, digital services, statistical indicators.

Для цитирования
Сибирская Е.В., Овешникова Л.В., Пасынкова О.М. Цифровая экономика России: анализ пандемийного периода национальной и региональной экономики // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 334–344. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-334-344

For citation
Sibirskaya E.V., Oveshnikova L.V., Pasynkova O.M. Russia's digital economy: an analysis of the pandemic period of the national and regional economy. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 334–344. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-334-344

© 2022, Сибирская Е.В. и др. / Sibirskaya E.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Широкомасштабное применение цифровых инструментов и сервисов к формированию глобального информационного общества и цифровой экономики. В основе этого фундаментального процесса лежит глубокая цифровая трансформация экономики и социальной сферы. Цифровой трансформации экономики принадлежит важная роль в ускорении темпов мирового экономического развития, повышении производительности труда в ныне существующих отраслях, формировании новых рынков и отраслей. В этот период 83% российских организаций использовали широкополосный Интернет, 63% – освоили технологии электронного обмена данными.

Спустя почти год после начала пандемии коронавирусной инфекции COVID-19 спровоцированный этим событием экономический спад всё ещё оказывает значительное воздействие на экономику и социальную сферу. Ни одна страна не смогла избежать негативных последствий, однако, как отмечается в новом выпуске Доклада о глобальной конкурентоспособности, подготовленного Всемирным экономическим форумом, страны с развитой цифровой экономикой и цифровыми навыками жителей, мощной системой социальной защиты и предшествующим опытом борьбы с эпидемиями лучше справляются с последствиями пандемии для своей экономики и граждан [4].

Эти оценки стоит рассматривать как стартовые позиции на пути преобразований и восстановления экономики. Российской экономике предстоит не просто пережить пандемию и снижение экономической активности, но и адаптироваться к новым вызовам, с которыми сегодня сталкиваются страны, включая ускорение цифровой трансформации и конкуренцию за рынки будущего. Важно учесть обсуждаемые факторы посткризисного восстановления и последующего ускорения экономического роста для реализации направлений экономического и социального развития [12].

Материалы и методы

Методологическую основу исследования составляют научные и статистические методы: метод научных обобщений, метод группировки, метод рейтингования. Материалами для исследования явились официальные статистические данные, предоставленные Федеральной службой государственной статистики (Росстат, 2019–2020), Министерством экономического развития Российской Федерации, а также рассчитанные показатели по этим данным и полученная информация из периодических изданий и ресурсов глобальной сети Internet.

Для исследования развития цифровой экономики были выбраны следующие количественные показатели: удельный вес организаций, использовавших цифровые технологии, количество персональных компьютеров в обследованных организациях, в том числе имеющих доступ к глобальным информационным сетям, удельный вес организаций, использовавших Интернет, данные об использовании информационных и коммуникационных технологий в организациях по видам экономической деятельности, удельный вес организаций, использовавших специальные программные средства, а также данные об использовании информационных и коммуникационных технологий в организациях по собирательным классификационным группировкам видов экономической деятельности.

Результаты и обсуждение

Пандемия затронула экономику почти всех стран. Уже имеется серьезный опыт международного государственного реагирования на данную проблему [1]. В странах с развитой и развивающейся экономикой повсеместно пришло осознание того, что одним из адекватных ответов на глобальный вызов выступает технологическое перевооружение фондов в ракурсе их цифровизации. Очевидным стало то, что использование «сквозных» цифровых технологий позволяет обеспечить достижение двух стратегических результатов: во-первых, дистанцировать субъектов хозяйствования без критического нарушения протекания производственных отношений; во-вторых, сделать вклад в будущий экономический рост и конкурентоспособность национальной экономики. Страны, наилучшим образом подготовленные к экономическим и информационным преобразованиям, приводятся в таблице 1 ниже – для исследования были взяты 37 стран [4].

Общий вывод состоит в том, что в подавляющем большинстве случаев Россия отстает от стран-лидеров, что не соответствует поставленной политической цели быть одним из чемпионов развития информационного общества и цифровой экономики. Чтобы понять причины отставания и выработать меры по его преодолению, необходим более детальный, комплексный анализ использованию цифровых технологий в различных секторах экономики.

Таблица 1.

Страны, наилучшим образом подготовленные к экономическим и информационным преобразованиям

Table 1.

Countries best prepared for economic and information transformations

Направление Direction	Страны-лидеры (топ-3) Leading countries (top 3)	Позиции России Russia's positions
Обеспечить повышение эффективности управления государственными учреждениями, применение долгосрочного видения и укрепление общественного доверия за счёт добросовестного предоставления услуг для граждан To ensure an increase in the efficiency of the management of public institutions, the application of a long-term vision and the strengthening of public trust through the good-faith provision of services for citizens	Финляндия Новая Зеландия Швейцария Finland New Zealand Switzerland	**37**/37
Модернизировать инфраструктуру в целях ускоренной трансформации в энергетике, расширения доступа к электроэнергии и цифровым технологиям Modernize infrastructure in order to accelerate transformation in the energy sector, expand access to electricity and digital technologies	Эстония Нидерланды Дания Estonia Netherlands Denmark	**37**/37
Перейти к более прогрессивному налогообложению, пересмотреть подходы к налогообложению корпораций, материально обеспеченных и рабочего класса на национальном уровне и в рамках скоординированного международного сотрудничества Move to more progressive taxation, revise approaches to taxation of corporations, the financially secure and the working class at the national level and within the framework of coordinated international cooperation	ЮАР Япония Республика Корея South AFRICA Japan Republic of Korea	**20**/37
Обновить содержание образовательных программ и увеличить инвестиции в развитие навыков, которые являются ключевыми для будущих рабочих мест и рынков “завтрашнего дня" Update the content of educational programs and increase investments in the development of skills that are key to future jobs and markets of “tomorrow"	Финляндия Нидерланды Дания Finland Netherlands Denmark	**28**/37
Пересмотреть регулирование рынка труда и организацию системы социального обеспечения с учётом новых задач развития экономики и новых потребностей работников Review the regulation of the labor market and the organization of the social security system, taking into account the new challenges of economic development and the new needs of workers	Дания Великобритания Швейцария Denmark Great Britain Switzerland	**12**/37
Расширить инфраструктуру ухода за пожилыми людьми, ухода за детьми и здравоохранения, обеспечить доступ и развитие инноваций на благо людей и экономики Expand the infrastructure of elderly care, child care and healthcare, provide access and develop innovations for the benefit of people and the economy	Швеция Дания Канада Sweden Denmark Canada	нет оценки
Стимулировать увеличение финансовых вложений в долгосрочные инвестиции, в достижение и укрепление устойчивости и инклюзивности To stimulate an increase in financial investments in long-term investments, in achieving and strengthening sustainability and inclusiveness	Финляндия Новая Зеландия Швеция Finland New Zealand Sweden	**29**/37
Актуализировать принципы защиты конкуренции и антимонопольное регули-рование, с учётом требований Четвертой промышленной революции, обеспечив доступ к рынкам как на национальном, так и на международном уровне To update the principles of competition protection and antimonopoly regulation, taking into account the requirements of the Fourth Industrial Revolution, providing access to markets both at the national and international level	США Канада Китай USA Canada China	**37**/37
Способствовать созданию «рынков завтрашнего дня», особенно в тех сферах, где требуется партнёрство государственного и частного сектора To promote the creation of "markets of tomorrow", especially in those areas where public and private sector partnership is required	Финляндия США Япония Finland USA Japan	нет оценки
Стимулировать и расширять долгосрочные инвестиции в исследования, инновации и изобретения, которые могут создать новые «рынки завтрашнего дня» Stimulate and expand long-term investments in research, innovation and inventions that can create new "markets of tomorrow"	США Япония Финляндия и Республика Корея USA Japan Finland and the Republic of Korea	**28**/37
Стимулировать компании учитывать принципы многообразия, справедливости и инклюзивности в целях повышения творческого потенциала Encourage companies to take into account the principles of diversity, equity and inclusivity in order to increase creative potential	Китай Швеция Новая Зеландия China Sweden New Zealand	**20**-**21**/37

Рассмотрим базовый перечень показателей, собираемый и публикуемый в открытом доступе Росстатом за 2019–2020 гг. по данным формы федерального статистического наблюдения № 3-информ «Сведения об использовании цифровых технологий и производстве связанных с ними товаров и услуг» [5].

На рисунке 1 представлен удельный вес организаций, использовавших цифровые технологии по Российской Федерации за 2019–2020 гг., в процентах от общего числа обследованных организаций.

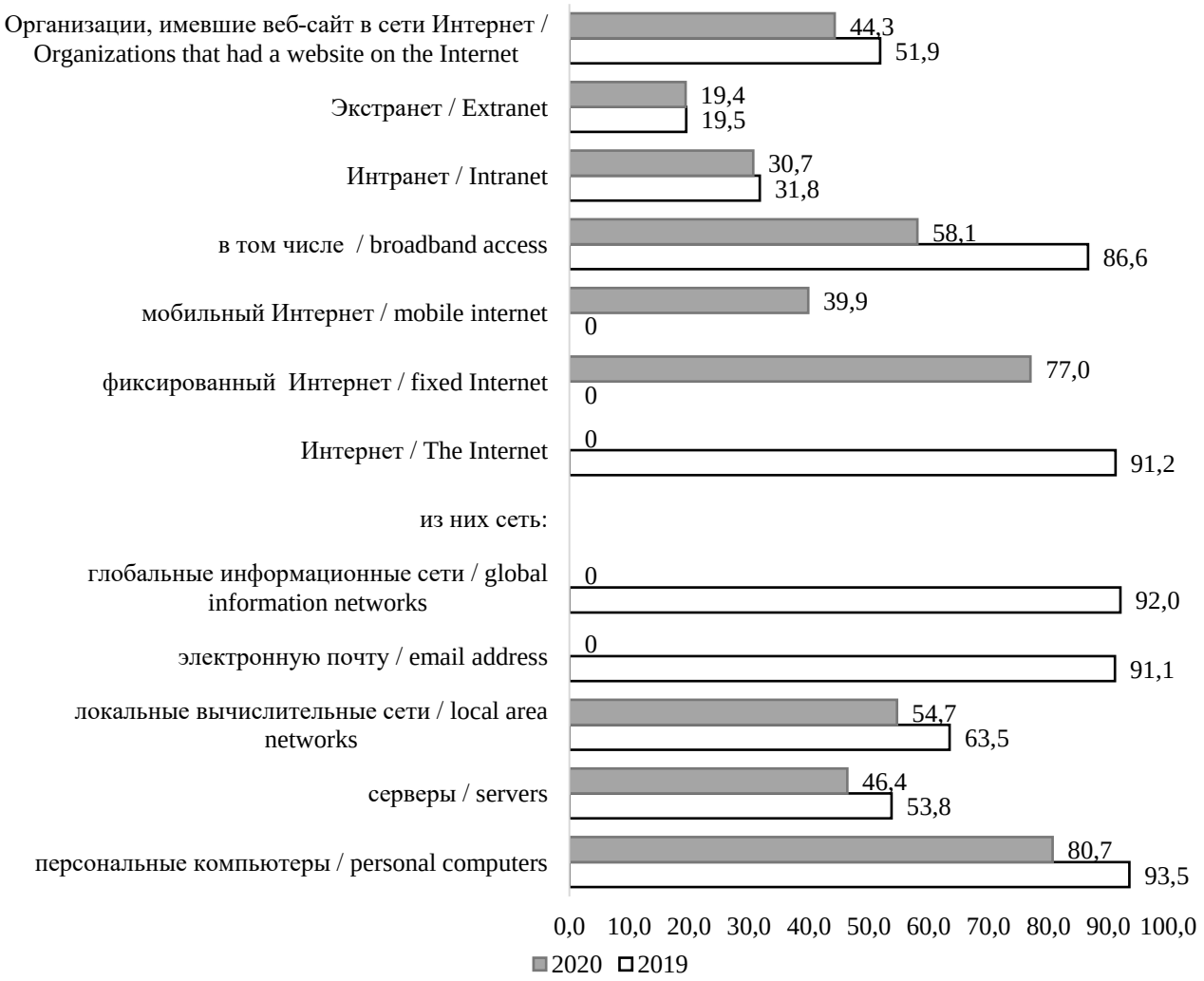


Рисунок 1. Удельный вес организаций, использовавших цифровые технологии по Российской Федерации, в процентах от общего числа обследованных организаций *«0» – Явление отсутствует.*

Figure 1. The share of organizations using digital technologies in the Russian Federation, as a percentage of the total number of surveyed organizations "0" – There is no phenomenon

В результате установлено, что наблюдается снижение удельного веса организаций, использовавших цифровые технологии по экстранету, интранету, организациям, имеющим веб-сайт в сети интернет и др. Однако также отмечается существенный удельный вес организаций, использовавших мобильный и фиксированный интернет.

Официальная информация о количестве имеющихся персональных компьютеров и о количестве поступивших персональных компьютеров в обследованных организациях (в тыс. шт.) демонстрирует при этом положительную тенденцию существенного увеличения их числа (рисунки 2–3).

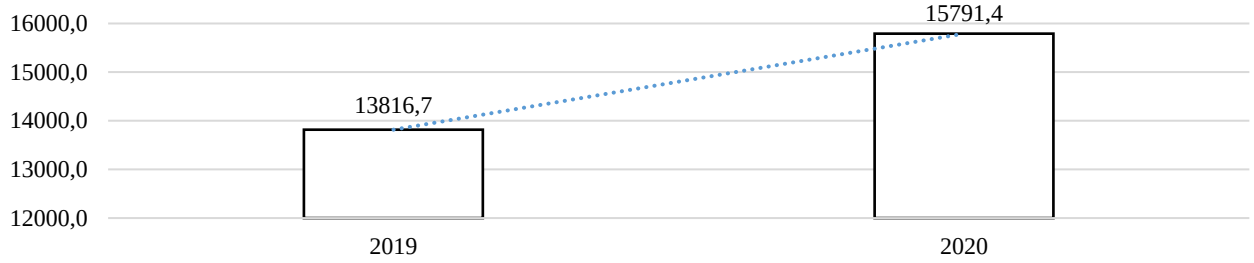


Рисунок 2. Информация о количестве персональных компьютеров в обследованных организациях по Российской Федерации за 2019–2020 гг., в тысячах штук

Figure 2. Information on the number of personal computers in the surveyed organizations in the Russian Federation for 2019–2020, in thousands of units

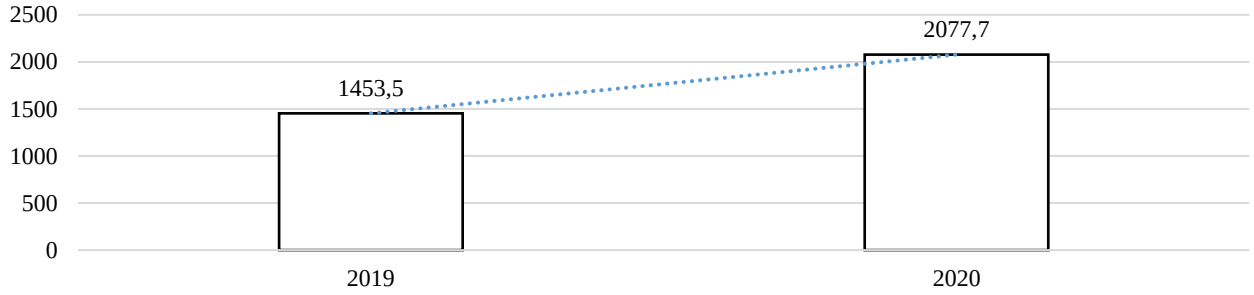


Рисунок 3. Информация о количестве поступивших (приобретенных) персональных компьютеров в обследованных организациях по Российской Федерации за 2019–2020 гг., в тысячах штук

Figure 3. Information on the number of personal computers received (purchased) in the surveyed organizations in the Russian Federation for 2019–2020, in thousands of units

На рисунке 4 представлены данные, демонстрирующие рост количества персональных компьютеров, имеющих доступ к глобальным информационным сетям в 2020 г.

Однако доля подключенных к интернету компьютеров составляет всего около двух третей всех компьютеров в расчете на 100 работников, а само количество компьютеров в расчете на 100 работников составляет примерно половину.

Оценивая результаты статистического исследования об использовании предприятиями персональных компьютеров, можно отметить, что их доля имеет тенденцию снижения (рисунок 5).

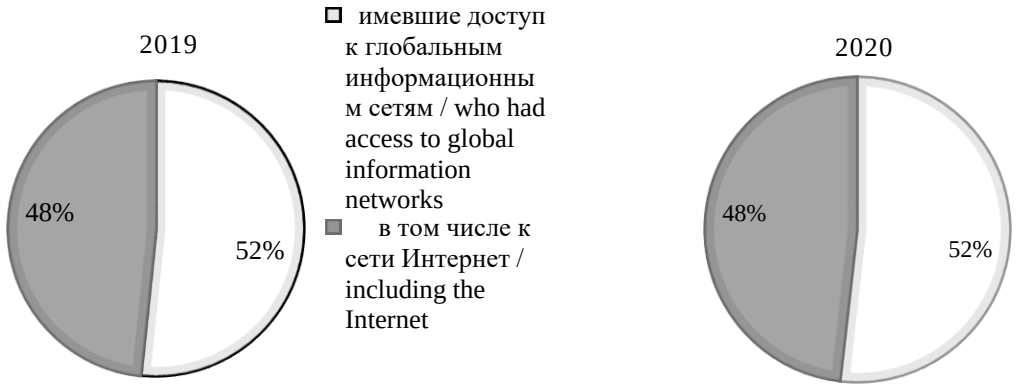


Рисунок 4. Информация о количестве персональных компьютеров, имеющих доступ к глобальным информационным сетям, в том числе к Интернет в обследованных организациях по РФ, штук

Figure 4. Information on the number of personal computers with access to global information networks, including the Internet in the surveyed organizations in the Russian Federation, pieces

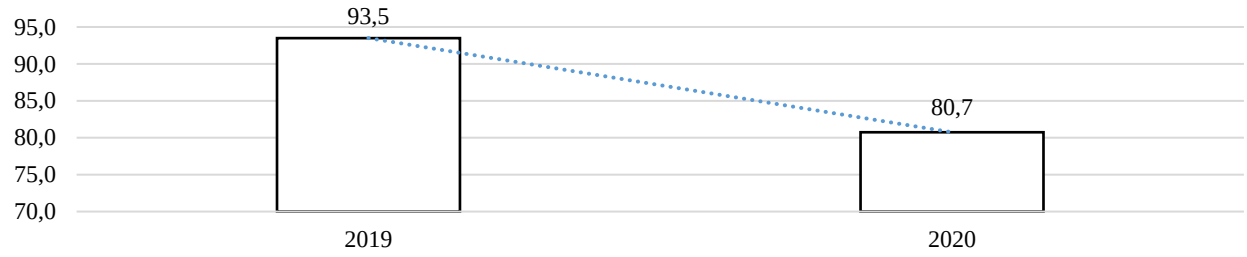


Рисунок 5. Информация об удельном весе организаций, использовавших персональные компьютеры по Российской Федерации за 2019–2020 гг., %

Figure 5. Information on the share of organizations using personal computers in the Russian Federation for 2019–2020, %

Такая тенденция сокращения персональных компьютеров организациями свидетельствует о преимущественно удаленном характере работы в период пандемии. При этом для успешной организации дистанционной работы предприятиям особенно стали необходимы информационные технологии, облачные инструменты (активное применение коммуникации Zoom, VR-технологий).

На рисунке 6 представлена информация об удельном весе организаций, использовавших персональные компьютеры по федеральным округам Российской Федерации за 2019–2020 гг., в%

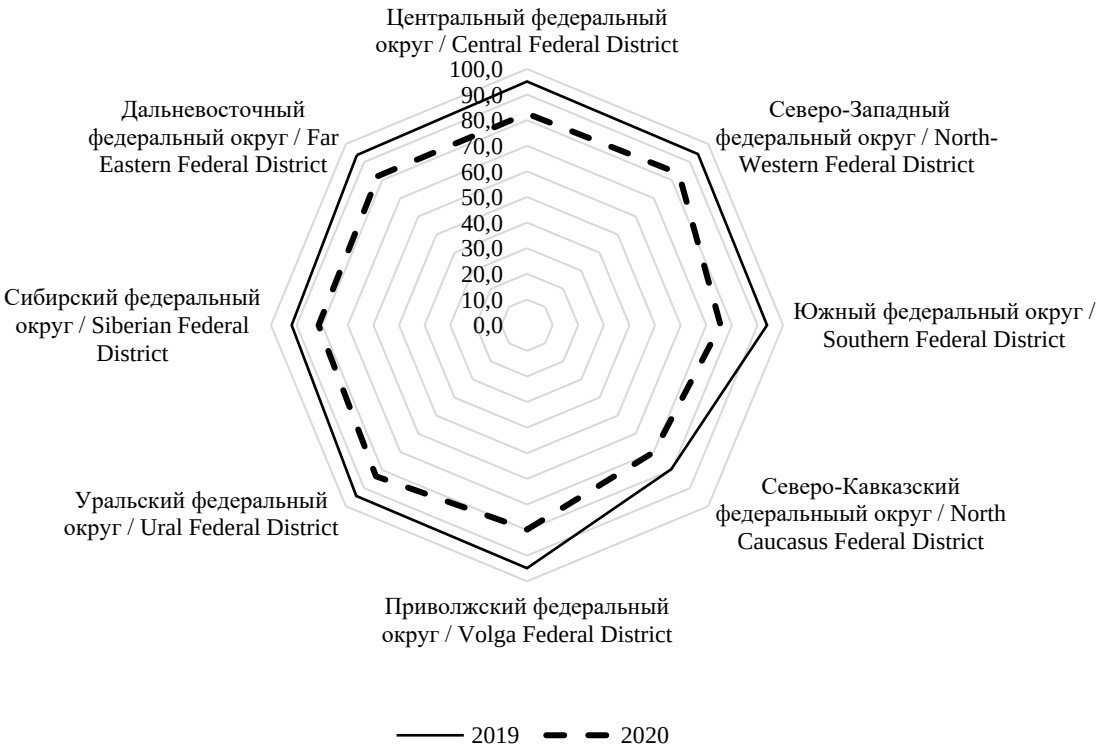


Рисунок 6. Информация об удельном весе организаций, использовавших персональные компьютеры по федеральным округам Российской Федерации за 2019–2020 гг., %

Figure 6. Information on the share of organizations using personal computers in the federal districts of the Russian Federation for 2019–2020, %

Исследование показало, что удельный вес организаций, использовавших персональные компьютеры по федеральным округам использования персональных компьютеров, в 2020 г. снижаются. Сравнительная динамика по Российской Федерации и федеральным округам практически идентична.

Информация об удельном весе организаций, использовавших Интернет, по субъектам Российской Федерации, в% от общего числа обследованных организаций соответствующего субъекта Российской Федерации демонстрирует его снижение в 2020 г. по сравнению с 2019 г. (таблица 2).

Таблица 2.

Удельный вес организаций, использовавших Интернет, по субъектам Российской Федерации (в процентах от общего числа обследованных организаций соответствующего субъекта Российской Федерации)

Table 2.

The proportion of organizations using the Internet by the subjects of the Russian Federation (as a percentage of the total number of surveyed organizations of the corresponding subject of the Russian Federation)

Субъект Российской Федерации	2019	2020	
		Фиксированный (проводной и беспроводной) Интернет Fixed (wired and wireless) Internet	Мобильный Интернет Mobile Internet
Российская Федерация | Russian Federation	91,2	77,0	39,9
Центральный федеральный округ | Central Federal District	93,1	78,9	43,0
Северо-Западный федеральный округ | North-Western Federal District	92,1	79,2	45,3
Южный федеральный округ | Southern Federal District	91,8	72,4	33,9
Северо-Кавказский федеральный округ | North Caucasus Federal District	77,7	66,3	32,4
Приволжский федеральный округ | Volga Federal District	92,8	76,6	39,2
Уральский федеральный округ | Ural Federal District	91,7	79,4	41,1
Сибирский федеральный округ | Siberian Federal District	89,4	77,0	37,6
Дальневосточный федеральный округ | Far Eastern Federal District	91,1	78,1	39,1

Таблица 3.

Информация об использовании информационных и коммуникационных технологий в организациях по собирательным классификационным группировкам видов экономической деятельности Российской Федерации за 2019–2020 гг., в процентах от общего числа обследованных организаций соответствующего вида деятельности

Table 3.

Information on the use of information and communication technologies in organizations by collective classification groupings of economic activities of the Russian Federation for 2019–2020, as a percentage of the total number of surveyed organizations of the corresponding type of activity

Собирательная классификационная группировка видов экономической деятельности Collective classification grouping of economic activities	ПК PC		Серверы Servers		Локальные вычислительные сети Local area networks		Глобальные информационные сети Global information networks		Фиксированный Интернет Fixed Internet	Мобильный Интернет Mobile Internet	Организации, имевшие веб-сайт Organizations that had a website	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2020	2020	2019	2020
"Сектор инжиниринговых услуг и промышленного дизайна" "Engineering Services and Industrial Design Sector"	92,6	↓ 75,5	61,5	↓ 45,6	69,6	↓ 54,0	91,5	-	72,1	41,2	49,2	↓ 36,6
"Сектор информационно-коммуникационных технологий" "Information and Communication Technologies Sector"	95,8	↓ 85,6	72,8	↓ 62,2	79,9	↓ 70,9	95,0	-	79,4	52,0	61,8	↓ 55,7
"Сектор контента и средств массовой информации" "Content and Media Sector"	96,4	↓ 83,9	46,5	↓ 40,6	54,9	↓ 46,0	95,5	-	80,6	36,9	61,9	↓ 53,3
"Отрасль информационных технологий" "Information Technology industry"	97,4	86,2	76,4	↓ 64,2	80,7	↓ 70,0	97,0	-	83,1	47,6	62,4	↓ 53,3



Рисунок 7. Удельный вес организаций, использовавших специальные программные средства, по РФ в 2019–2020 гг., в% от общего числа обследованных организаций

Figure 7. The share of organizations using special software tools in the Russian Federation in 2019–2020, in% of the total number of surveyed organizations

Однако согласно статистическим исследованием интернет используется населением значительно активно (87,3% населения пользовались интернетом когда-либо, тогда как 68,8% используют интернет практически каждый день). Но население России использует его для участия в социальных сетях (78%) и осуществления телефонных звонков или видео разговоров (53%). Отправкой или получением электронной почты через интернет пользуются лишь 42% респондентов. Тогда как в других развитых странах процентное соотношение использования интернета для коммуникации выглядит другим отличным образом, например, Великобритания: участие в социальных сетях – 74%, телефонные или видео разговоры – 51%, отправка и получение почты – 92%, аналогичная ситуация прослеживается в США, где: 76%, 48% и 91% соответственно.

Во Франции и Германии показатель участия в социальных сетях значительно ниже и соответствует 48% и 57%, тогда как пользование электронной почтой – 88% и 92%. В Швеции и Финляндии показатель использования электронной почты вообще достигает максимального значения и составляет 94%. Следовательно, в России использование интернета в рабочих целях значительно отстает от уровня западных стран [17–20].

В таблице 3 представлена информация об использовании информационных и коммуникационных технологий в организациях по собирательным классификационным группировкам видов экономической деятельности.

Наиболее востребованными цифровыми технологиями оказались облачные сервисы, которые избавляют компании от необходимости создавать собственную ИТ-инфраструктуру для хранения данных. В 2020 году их внедрили в своей деятельности треть организаций собирательных классификационных группировок. В среднем по экономике облачные решения применяют чуть более четверти организаций. Вторые по популярности – технологии сбора, обработки и анализа больших данных.

В основном используются данные учетных систем (ERP, CRM, SCM, HRIS); сведения, считываемые с цифровых датчиков или радиочастотных меток; информация операторов сотовой связи, корпоративных сайтов и соцсетей; данные геолокации с портативных устройств. Цифровые платформы замыкают тройку наиболее востребованных технологий.

На рисунках 7–8 представлена информация об организациях, использовавших специальные программные средства и о распределении затрат организаций на внедрение и использование цифровых технологий.



Рисунок 8. Распределение затрат организаций на внедрение и использование цифровых технологий по видам в 2019–2020 г., (в % к итогу)

Figure 8. Distribution of costs of organizations for the introduction and use of digital technologies by type in 2019–2020, (in % of the total)

Оценивая результаты статистического исследования об использовании предприятиями специального программного обеспечения, можно выделить, что доля предприятий, использующих программное обеспечение для предоставления доступа к базам данных через глобальные сети, составляет в 2019 г. 65,4%, что меньше, чем в 2019 г. на 20%. Аналогичная ситуация по низкому применению программного обеспечения обстоит и с использованием автоматизированных систем и средств проектирования, использованием программного обеспечения для научных исследований.

Для того чтобы оставаться успешными и конкурентоспособными, предприятиям потребуется инвестирование как в установку специализированного программного обеспечения, так и в обучение персонала работе с программным обеспечением и цифровой грамотности. Рассматривая вопрос о создании новой организации взаимодействия, следует отметить, что востребованность специалистов по информационно-коммуникационным технологиям будет увеличиваться. Так как в России процесс цифровизации начался сравнительно позже, чем в других зарубежных странах, интересно отметить тенденцию, что доля количества специалистов по информационно-коммуникационным технологиям в возрасте до 35 лет в нашей стране составляет 53% (для сравнения: в странах Европы эта доля находятся на уровне приблизительно 35% (например, Франция – 37%, Великобритания, Германия – 36%, Финляндия – 28%, Италия – 24%). Россия ещё только начинает наращивать кадровое преимущество в данной области.

По результатам исследований отметим, что меньше всего изменений распределению затрат организаций на внедрение и использование цифровых технологий наблюдалось в промышленных компаниях, которые по объективным причинам не могут перенести все бизнес-процессы в онлайн-пространство. С другой стороны, более динамичными выглядели компании, занятые в розничных продажах, фармацевтике, а также в производстве товаров народного потребления.

Заключение

Пандемия коронавируса в целом помогла российским компаниям начать перестройку организации бизнеса в сторону цифровизации. Кроме того, кризис подтолкнул руководство компаний к принятию сложных решений по оптимизации существующих бизнес-моделей, поиску путей сокращения издержек, а также развитию новых направлений бизнеса. В Российской Федерации лидерство и институты, обеспечивающие развитие экономики в целом и цифровой экономики в частности, всячески поощряются. Практически во всех государственных программах реализуются мероприятия, направленные на развитие ИКТ и создание условий для применения ИКТ в бизнесе.

Литература

1 Бархатов В.И., Дьяченко О.В. Развитие цифровой экономики России в условиях пандемии // Вестник Челябинского государственного университета. 2020. № 10 (444). С. 177–182.

2 Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Информационное общество (2011–2020 годы): постановление Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 № 313 (в редакции от 21.02.2015 № 157, от 17.06.2015 № 602, от 21.10.2016 № 1083, от 17.02.2017 № 203, от 03.03.2017 № 256, от 31.03.2017 № 380) URL: http://government.ru/programs/218/events/

3 Государственная программа «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013–2025 годы». URL: http://innovation.gov.ru/ru/node/11067

4 Доклад о глобальной конкурентоспособности 2020. URL: https://www.iksmedia.ru/news/5707448-Lish-izbrannye-ekonomiki-demonstrir.html

5 Информационное общество. Официальная статистика. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/science_and_innovations/it_technology/

6 Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р. URL: http://www.government.ru/info/6217/

7 Послание Президента Федеральному Собранию. 1 декабря 2016 г. URL: http://www.kremlin.ru/events/president/news/53379

8 Приоритетные проекты Правительство Российской Федерации. URL: http://www.government.ru/department/361/about/ 11

9 «Дорожные карты». Планы мероприятий в рамках Национальной предпринимательской инициативы по улучшению инвестиционного климата и их исполнение. URL: http://government.ru/roadmaps/

10 Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632. URL: http://government.ru/docs/28653/

11 Об утверждении Стратегии развития отрасли информационных технологий в Российской Федерации на 2014–2020 годы и на перспективу до 2025 года: распоряжение от 1 ноября 2013 года № 2036-р. URL: http://www.government.ru/docs/8024/

12 Об утверждении Концепции региональной информатизации: распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 декабря 2014 года № 2769-р. URL: http://www.government.ru/docs/16473/

13 Рейтинг России снизился на фоне роста конкурентоспособности других стран БРИКС. URL: https://www.dp.ru/a/2011/09/12/Aleksej_Prazdnichnih_rejt

14 Стратегия социально-экономического развития страны до 2020 года. URL: http:// 2020strategy.ru/

15 О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы: указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 г. № 203. URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919

16 О стратегическом планировании в Российской Федерации: Федеральный закон от 28.06.2014 № 172-ФЗ. URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/38630

17 Шарипова О.М. Цифровизация и цифровые компетенции: новая реальность // Вопросы инновационной экономики. 2020. Т. 10. № 3. С. 1789–1802. doi: 10.18334/vinec.10.3.110525

18 Bukht R., Heeks R. Defining, conceptualising and measuring the digital economy // Development Informatics working paper. 2017. №. 68.

19 Brynjolfsson E., Collis A. How should we measure the digital economy // Harvard business review. 2019. V. 97. №. 6. P. 140-148.

20 Jiang X. Digital economy in the post-pandemic era // Journal of Chinese Economic and Business Studies. 2020. V. 18. №. 4. P. 333-339. doi: 10.1080/14765284.2020.1855066

References

1 Barkhatov V.I., Dyachenko O.V. Development of the digital economy of Russia in a pandemic. Bulletin of the Chelyabinsk State University. 2020. no. 10 (444). pp. 177–182. (in Russian).

2 On Approval of the State Program of the Russian Federation “Information Society (2011–2020): Decree of the Government of the Russian Federation No. 313 dated April 15, 2014 (as amended on February 21, 2015 No. 157, June 17, 2015 No. 602, October 21, 2016 No. 1083, dated February 17, 2017 No. 203, dated March 3, 2017 No. 256, dated March 31, 2017 No. 380) Available at: http://government.ru/programs/218/events/ (in Russian).

3 State program "Development of electronic and radio-electronic industry for 2013-2025". Available at: http://innovation.gov.ru/ru/node/11067 (in Russian).

4 Global Competitiveness Report 2020. Available at: https://www.iksmedia.ru/news/5707448 Lish-izbrannye-ekonomiki-demonstrir.html (in Russian).

5 Information society. official statistics. Available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/science_and_innovations/it_technology/ (in Russian).

6 The concept of long-term socio-economic development of the Russian Federation until 2020: Decree of the Government of the Russian Federation dated November 17, 2008 No. 1662 r. Available at: http://www.government.ru/info/6217/ (in Russian).

7 Address of the President to the Federal Assembly. December 1, 2016. Available at: http://www.kremlin.ru/events/president/news/53379 (in Russian).

8 Priority projects Government of the Russian Federation. Available at: http://www.government.ru/department/361/about/ 11 (in Russian).

9 "Road maps". Action plans within the framework of the National Entrepreneurship Initiative to improve the investment climate and their implementation. Available at: http://government.ru/roadmaps/ (in Russian).

10 Program “Digital Economy of the Russian Federation”. Approved by Decree of the Government of the Russian Federation of July 28, 2017 No. 1632. Available at: http://government.ru/docs/28653/ (in Russian).

11 On approval of the Strategy for the development of the information technology industry in the Russian Federation for 2014-2020 and for the future until 2025: Decree of November 1, 2013 No. 2036 r. Available at: http://www.government.ru/docs/8024/ (in Russian).

12 On approval of the Concept of regional informatization: Decree of the Government of the Russian Federation dated December 29, 2014 No. 2769 r. Available at: http://www.government.ru/docs/16473/ (in Russian).

13 Russia's rating went down amid growing competitiveness of other BRICS countries. Available at: https://www.dp.ru/a/2011/09/12/Aleksej_Prazdnichnih_rejt (in Russian).

14 Strategy for the socio-economic development of the country until 2020. Available at: http://2020strategy.ru/ (in Russian).

15 On the Strategy for the Development of the Information Society in the Russian Federation for 2017–2030: Decree of the President of the Russian Federation No. 203 of May 9, 2017. Available at: http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919 (in Russian).

16 On strategic planning in the Russian Federation: Federal Law No. 172 FZ dated June 28, 2014. Available at: http://www.kremlin.ru/acts/bank/38630 (in Russian).

17 Sharipova O.M. Digitalization and digital competencies: a new reality. Questions of innovation economy. 2020. vol. 10. no. 3. pp. 1789–1802. doi:10.18334/vinec.10.3.110525 (in Russian).

18 Bukht R., Heeks R. Defining, conceptualising and measuring the digital economy. Development Informatics working paper. 2017. no. 68.

19 Brynjolfsson E., Collis A. How should we measure the digital economy. Harvard business review. 2019. vol. 97. no. 6. pp. 140-148.

20 Jiang X. Digital economy in the post-pandemic era. Journal of Chinese Economic and Business Studies. 2020. vol. 18. no. 4. pp. 333-339. doi: 10.1080/14765284.2020.1855066

Сведения об авторах

Елена В. Сибирская д.э.н., профессор, главный научный сотрудник, научная лаборатория «Региональная политика и региональные инвестиционные процессы», Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, г. Москва, 115054, Россия, sibirskaya.ev@rea.ru
https://orcid.org/0000-0001-5496-1446

Людмила В. Овешникова д.э.н., профессор, главный научный сотрудник, научная лаборатория «Региональная политика и региональные инвестиционные процессы», Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, г. Москва, 115054, Россия, oveshnikova.lv@rea.ru
https://orcid.org/0000-0002-9411-9859

Ольга М. Пасынкова к.э.н., доцент, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, pasol-30@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9631-4789

Information about authors

Elena V. Sibirskaya Dr. Sci. (Econ.), professor, chief researcher, scientific laboratory "Regional Policy and Regional Investment Processes", Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny Lane, 36, Moscow, 115054, Russia, sibirskaya.ev@rea.ru
https://orcid.org/0000-0001-5496-1446

Lyudmila V. Oveshnikova Dr. Sci. (Econ.), professor, chief researcher, scientific laboratory "Regional Policy and Regional Investment Processes", Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny Lane, 36, Moscow, 115054, Russia, oveshnikova.lv@rea.ru
https://orcid.org/0000-0002-9411-9859

Olga M. Pasynkova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, economic security and financial monitoring department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, pasol-30@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9631-4789

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 20/04/2022	**После редакции** 12/05/2022	**Принята в печать** 02/06/2022

Received 20/04/2022	**Accepted in revised** 12/05/2022	**Accepted** 02/06/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-345-356 Оригинальная статья/Research article
УДК 360 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Формирование конкурентных преимуществ экономики России и регионов в промышленности

Ольга А. Лукинова [1] lu_5555@mail.ru
Светлана В. Попова [1] psvbravo@mail.ru
Владлена М. Моисеева [1] vmmoise@mail.ru
Наталья В. Плужникова [2] sllonn2013@ya.ru
Оксана А. Апалихина [2] oxana2031@m.ru 0000-0001-7773-7789

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

Аннотация. В статье проанализированы возможности и результаты исследования формирования конкурентных преимуществ экономики России и регионов в промышленности за счет новой индустриализации, которые опираются на экономическую базу страны, что подтвердил проведённый анализ основных экономических показателей работы промышленности России за 2017–2021 гг. Проведено исследование перспектив и результатов развития индустриализации в Воронежской области статистическими, экспертными и маркетинговыми методами с учетом перспективных прогнозов развития региона. Показано, что новая индустриализация предусматривает активное расширение рынков сбыта отечественной продукции и диверсификацию высокотехнологичных предприятий; создание инвестпроектов по строительству и перевооружению промышленных производств; расширение инфраструктуры и поддержку развития индустриального парка, особой экономической зоны, территории опережающего социально-экономического развития; увеличение инвестиций в основной капитал и решение вопросов импортозамещения, что приведет к повышению качества жизни населения региона путем ликвидации безработицы. Большой вклад в достижение показателей области удалось достичь благодаря комплексу мер, реализуемых при внедрении стратегического проекта «Новая индустриализация». Промышленное производство в 2021 г. увеличилось на 15,2% к 2019 г., в том числе в обрабатывающих отраслях – на 14,6%. Положительную динамику промышленности Воронежской области в 2020–2021 гг. обеспечили также меры господдержки, такие как снятие жестких ограничений во время режима самоизоляции. Важную роль в росте промышленности региона сыграли предприятия непрерывного цикла – «Минудобрения», завод полупроводниковых приборов «Микрон» и «Воронежсинтезкаучук», пред-приятие холдинга «Сибур».

Ключевые слова: промышленность, производство, экономика, новая индустриализация, стратегия, регион, проект, показатели, модернизация, перевооружение

Formation of competitive advantages of the Russian and regions economy in industry

Olga A. Lukinova [1] lu_5555@mail.ru
Svetlana V. Popova [1] psvbravo@mail.ru
Vladlena M. Moiseeva [1] vmmoise@mail.ru
Natalia V. Pluzhnikova [2] sllonn2013@ya.ru
Oksana A. Apalihina [2] oxana2031@m.ru 0000-0001-7773-7789

1 Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, 54 A Starye Bolshevikov, Voronezh, 394064, Russia
2 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The article analyzes the possibilities and results of the study of the formation of competitive advantages of the Russian economy and regions in industry due to new industrialization, which are based on the economic base of the country, which was confirmed by the analysis of the main economic indicators of the Russian industry for 2017–2021. A study of the prospects and results of the development of industrialization in the Voronezh region was conducted using statistical, expert and marketing methods, taking into account the long-term forecasts of the development of the region. It is shown that the new industrialization provides for the active expansion of markets for domestic products and the diversification of high-tech enterprises; the creation of investment projects for the construction and re-equipment of industrial production; expansion of infrastructure and support for the development of an industrial park, a special economic zone, a territory of advanced socio-economic development; increasing investments in fixed assets and solving import substitution issues, which will lead to an improvement in the quality of life of the population of the region by eliminating unemployment. A great contribution to the achievement of the indicators of the region was achieved thanks to a set of measures implemented during the implementation of the strategic project "New Industrialization". Industrial production in 2021 increased by 15.2% compared to 2019, including in the manufacturing sector - by 14.6%. Positive dynamics of the industry of the Voronezh region in 2020–2021. also provided state support measures, such as the lifting of severe restrictions during the self-isolation regime. An important role in the growth of the industry of the region was played by enterprises of a continuous cycle - Minudobreniya, the plant of semiconductor devices Mikron and Voronezhsintezkauchuk, an enterprise of the Sibur holding.

Keywords: industry, production, economics, new industrialization, strategy, region, project, indicators, modernization, rearmament

Для цитирования
Лукинова О.А., Попова С.В., Моисеева В.М., Плужникова Н.В., Апалихина О.А. Формирование конкурентных преимуществ экономики России и регионов в промышленности // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 345–356. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-345-356

For citation
Lukinova O.A., Popova S.V., MoiseevaV.M., Pluzhnikova N.V., Apalihina O.A. Formation of competitive advantages of the Russian and regions economy in industry. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 345–356. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-345-356

© 2022, Лукинова О.А. и др. / Lukinova O.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Актуальность проведенного исследования заключается в том, что промышленный сектор, несомненно, важен для экономики современной России и регионов, так как результаты развития промышленности определяют уровень и качество экономического роста, возможность производить необходимые для потребления товары и услуги, оказывают существенное влияние на формирование ВВП страны и ВРП регионов. В промышленности России заложен значительный потенциал, успешная реализация которого будет способствовать достижению долгосрочного устойчивого роста экономики. Развитие промышленности в России должно быть направлено на укрепление ее позиций на международной арене, а для того, чтобы Россия вошла в число пяти крупнейших экономик мира необходимо обеспечить уверенный рост национальной экономики за счет опережающего по отношению к росту ВВП развития промышленности. Перед правительством РФ, субъектами РФ, ведущими экономистами и бизнес-сообществом поставлены цели по достижению темпов роста национальной экономики, опережающих среднемировые, обозначенные Указом Президента РФ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [1].

Вопросы новой индустриализации экономики России стали актуальным предметом исследования в начале 2000 годов, однако при переходе России к капитализму активно продвигались идеи о формировании в России модели постиндустриальной экономики [2].

Если проанализировать структуру экономики России в первое десятилетие XXI века, то можно увидеть уменьшение доли промышленности и рост доли услуг в ВВП, связанные с увеличением услуг платного характера, расширением торговли и бытового обслуживания населения, неконтролируемыми процессами приватизации. Положение России в мировом экономическом пространстве характеризуется отставанием, как в области индустриализации, так и постиндустриализации. Кроме того, можно отметить назревшие социально-экономические проблемы, вызванные неопределенностью экономической ситуации, социальной нестабильностью, снижением экономической и инвестиционной активности, девальвацией рубля. Все сказанное выше ограничивает скорость восстановления экономического роста и вызывает необходимость поиска новых направлений экономического развития. Исследование зарубежного опыта построения постиндустриальной экономики позволило отметить, что главным источником роста ВВП стало получение высоких доходов от монополизации ресурсов, а также развития непроизводственных услуг. При этом можно судить о снижении доли промышленного производства в структуре ВВП с 40% практически до 10–12% в Великобритании, США [3].

Тенденция к новой индустриализации экономики России была намечена президентом РФ В.В. Путиным в 2011 году в связи: с отказом от сырьевой модели экономики, созданием миллионов новых рабочих мест и социальной ответственностью бизнеса. С этого периода в стране разрабатывалась нормативно-правовая база [4, 5].

Актуальность новой индустриализации или создания нового индустриального общества в теоретико-методологическом смысле подтверждают дискуссии исследователей институционально-социологического направления в конце 60-х годов прошлого века Дж.К. Гэлбрейта, Э. Тоффлера, который, критикуя теорию «постиндустриализма», доказывал, что без своей промышленности любое государство не будет развиваться, и других исследователей [3].

В 2018 г. в средствах массовой информации и федеральных порталах органов государственной власти активно началась пропаганда проведения новой индустриализации в регионах, чтобы поставить под контроль общества векторы развития основных отраслей экономики, справедливо перераспределить доходы и улучшить ключевые показатели социально-экономического развития, в том числе рост уровня жизни населения.

Переход к новой индустриализации определен тем, что в России создана устойчивая экономическая база. Данные по динамике промышленного производства России за 2017–2020 гг. [6] можно представить рисунком 1, который подтверждает спад промышленного производства в 2020 году. Что касается периода 2017–2019 гг., то прирост ИПП к предыдущему периоду в среднем составил 3,5%. Что касается обрабатывающих производств и производств по добыче полезных ископаемых, то здесь можно также отметить спад производства в 2020 г. Такая отрицательная динамика показателей отечественной промышленности вызвана ухудшением эпидемиологической ситуации внутри страны и в странах, с которыми Россию связывают торговые потоки, ростом цен на сырьевые товары на мировых биржах, сокращением государственных программ и мер, стимулирующих потребительский спрос.

Показатели экономики добывающего и обрабатывающего промышленных производств России показаны в таблице 1. Базовым периодом для анализа был принят 2017 год. Анализируя данные таблицы 1, можно отметить, что ВВП России в 2017 г. составил 91843,1 млрд руб., в 2018 г. – 103861,6 млрд руб., в 2019 г. – 109241,5 млрд руб., в 2020 г. – 106 967,4 млрд руб. касательно расчётов и результатов объёма

в стране. По данному показателю наметился спад производства в 2020 г. в таких отраслях, как добыча нерудных полезных ископаемых, производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов; кожевенная промышленность, нефте- и газодобыча; добыча угля, производство кокса и нефтепродуктов, металлургическое производство. В условиях пандемии предприятия промышленности оказались гораздо устойчивее сферы услуг. Наиболее существенный вклад в увеличение объемов промпроизводства был внесен фармацевтикой, медицинской промышленностью, производством средств защиты. Валовой внутренний продукт является одним из пунктов благополучия страны и уровня экономического развития. Темпы прироста ВВП, следующие: в 2018 г. по сравнению с 2017 г. (базовым периодом) составил 13,1%, в 2019 г. – 18,9%, в 2020 г. – 16,5%. В 2020 г. относительно предыдущего 2019 г. темп прироста составляет минус 2,1%, прослеживается незначительная отрицательная динамика изменения показателя.

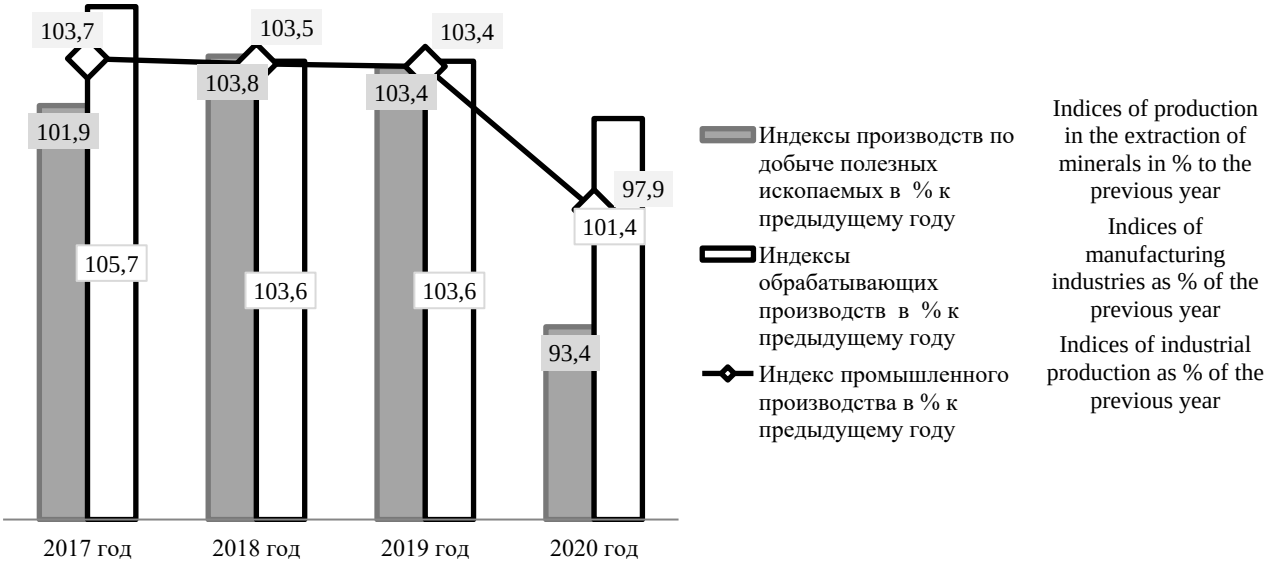


Рисунок 1. Изменение индекса промышленного производства (ИПП) России за 2017–2020 год, %

Figure 1. Change in the Industrial production Index (IPI) of Russia for 2017–2020, %

Основные фонды промышленности за исследуемый период имеют положительную динамику с 48685,2 млрд руб. (2017 г.) до 66029,2 млрд руб. (2020 г.), которая объясняется материально-технологическим обновлением и модернизаций производственного комплекса России. В соответствии с Государственной программой РФ «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» (ГП-16, госпрограмма) осуществлялось обновление технологической и материальной базы отраслей промышленности, обеспечение промышленности средствами производства, шла координация программ технологического развития отраслей промышленности с тенденциями спроса на технологическую продукцию, происходило обеспечение потребности промышленности в доступных, технологичных и экологичных традиционных и новых материалах. Все это способствует обеспечению темпа роста валового внутреннего продукта страны выше среднемирового и реального росту инвестиций в основной капитал предприятий обрабатывающей промышленности. Темпы изменения основных фондов промышленности, следующие: 2018 г. – 110,7%, 2019 г. – 120,9%, 2020 г. – 135,6%. Имеет место территориальная ориентация основных производственных фондов, так в Центральной части России, Поволжье, Урале и восточной части Западной Сибири сконцентрировано 60% всех производственных фондов России [9].

Удельный вес занятых в промышленном производстве в общей численности занятых за 2017–2020 гг. в среднем составил 18,9%.

Динамика среднегодовой численности работников предприятий добывающей промышленности за исследуемый период положительная, однако можно отметить медленный рост, обусловленный тем, что в 2017 г. работало 993,1 тыс. человек, а в 2020 г. – 1012,4 тыс. чел. Что касается предприятий обрабатывающей промышленности, то на них работает больше работников, чем на предприятиях по добыче полезных ископаемых приблизительно в 6–7 раз. На этих производствах можно отметить сокращение персонала с 2017 по 2020 гг.

Таблица 1.

Динамика основных экономических показателей промышленности России за 2017–2020 гг.

Table 1.

Dynamics of the main economic indicators of the Russian industry for 2017–2020

		2017	2018	2019	2020	Темп изменения, % Rate of change, %			
						2018 / 2017	2019 / 2017	2020 / 2017	2020 / 2019
Валовой внутренний продукт, млрд руб.	Gross domestic product, billion rubles.	91843,1	103861,6	109241,5	106967,5	113,1	118,9	116,5	97,9
Основные фонды, млрд руб.	Fixed assets, billion rubles.	48685,2	53881,5	58853,0	66029,2	110,7	120,9	135,6	112,2
Среднегодовая численность занятых в промышленном производстве, млн чел.	Average annual number of people employed in industrial production, mln.	13,7	13,6	13,4	13,1	99,3	97,8	95,6	97,8
Удельный вес занятых в общей численности занятых, %	The share of the employed in the total number of the employed, %	19,0	18,9	18,9	18,9	99,5	99,5	99,5	100,0
Среднегодовая численность работников организаций, тыс. чел.: Average annual number of employees of organizations, thousand people:									
добыча полезных ископаемых	mineral extraction	993,1	990,3	1012,2	1012,4	99,7	101,9	101,9	100,0
обрабатывающие производства	manufacturing industries	6896,6	6880,4	6795,4	6684,5	99,8	98,5	96,9	98,4
Объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг, млрд руб.: Volume of own-produced goods shipped, works performed and services rendered, bln:									
добыча полезных ископаемых	mineral extraction	13916	18194	18324	14499	130,7	131,7	104,2	79,1
обрабатывающие производства	manufacturing industries	38712	44600	47436	47783	115,2	122,5	123,4	100,7
Сальдированный финансовый результат, млрд руб.: Balanced financial result, billion rubles:									
добыча полезных ископаемых	mineral extraction	2556,3	4317,6	3359,3	3331,1	168,9	131,4	130,3	99,2
обрабатывающие производства	manufacturing industries	2294,8	3158,2	4202,3	3674,7	137,6	183,1	160,1	87,4
Рентабельность проданных товаров, продукции, работ, услуг, %: Profitability of goods, products, works and services sold, %:									
добыча полезных ископаемых	mineral extraction	24,6	31,4	28,0	21,9	127,6	113,8	89,0	78,2
обрабатывающие производства	manufacturing industries	10,9	12,0	11,5	11,6	110,1	105,5	106,4	100,9

Объем отгруженных товаров собственного производства на добывающем промышленном производстве имел положительную динамику за 2017–2019 гг. Так, в 2017 г. предприятиями по добыче полезных ископаемых было отгружено продукции на сумму 13916 млрд руб., в 2018 г. – 18194 млрд руб., в 2019 г. – 18324 млрд руб. Что касается 2020 г., то данный показатель уменьшился и принял значение, равное 14499 млрд руб. Предприятиями обрабатывающих производств было отгружено товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами в 2017 г. на сумму 38712 млрд руб., в 2018 г. – 44600 млрд руб., в 2019 г. – 47436 млрд руб., в 2020 г. – 47783 млрд руб. Можно отметить рост данного показателя за весь исследуемый период. Темп прироста данного показателя в 2018 г. составил: по добыче полезных ископаемых – 30,7%, а на обрабатывающих производствах – 15,2%, а в 2020 г. – 4,2% и 23,4% соответственно. Это говорит о том, что в 2020 г. предприятия обрабатывающих производств улучшили свою работу, а предприятиями добывающей отрасли наоборот.

Сальдированный финансовый результат предприятий добывающей промышленности за исследуемый период имел наибольшее значение в 2018 г. (4317,6 млрд руб.), а предприятий

обрабатывающей промышленности в 2019 г. (4202,3 млрд руб.). Данный показатель имеет высокие значении темпа прироста: в 2018 г. – 68,9%, в 2019 г. – 31,4%, в 2020 г. – 30,3%. (по сравнению с базисным 2017 г.). Обобщая финансовые результаты работы, добывающей и обрабатывающей отрасли, можно отметить в 2020 г. незначительное ухудшение их работы по сравнению с 2019 г. в связи с неблагоприятной эпидемиологической обстановкой в стране, а с 2017–2019 гг. – улучшение. Найденные значение темпа изменения в 2020 г. по сравнению с 2019 г. в промышленном производстве (для добывающей отрасли – 99,2%, а для обрабатывающей отрасли – 87,4%) характеризуют незначительное ухудшение финансовых результатов деятельности предприятий.

Рентабельность проданных товаров, продукции, работ, услуг обрабатывающих производств в 2020 г. незначительно увеличилась по сравнению с 2019 г. и составила 11,6%, а добывающих производств за 2018–2020 гг. уменьшилась с 31,4% до 21,9%.

Что касается текущих тенденций развития промышленности, то в 2021 г. российская промышленность стала восстанавливать отечественное производство. Можно отметить рост производства как добывающих, так и обрабатывающих отраслей. Основной вклад в рост промышленного производства в 2021 г. внесли добывающие отрасли за счет роста спроса на энергетический уголь и природный газ и ослабления влияния ограничений, связанных с соглашением ОПЕК+.

Проведя исследование перспектив развития промышленности России с учетом данных Прогноза социально-экономического развития РФ на 2022 г. и на плановый период 2023–2024 гг., можно отметить то, что лидерами российской промышленности должны стать отрасли, обеспечивающие инвестиционную модель развития, экспортно-ориентированные отрасли обрабатывающей промышленности, сфера информационных технологий, строительный и транспортный комплексы, а также сектора недвижимости и профессиональных услуг [7].

Согласно классификации Всемирного банка Россия относится к странам со средним уровнем развития и доходами выше среднего, что фактически означает исчерпание потенциала «догоняющего» роста. При этом для достижения целевых ориентиров, определенных Президентом РФ, темп экономического роста в России должен составлять 3–3,5% ежегодно.

В отраслевом разрезе РФ нефтегазовый сектор, черная и цветная металлургия, общее и транспортное машиностроение, производство пищевых продуктов выступают ядром отечественной промышленности. На момент исследования доли промышленности и трудоспособного населения в ВВП страны составляют примерно 40% и 32% соответственно. Доля промышленного производства по добыче полезных ископаемых в общей структуре промышленного производства занимает 39%, а обрабатывающих предприятий – 51%.

При индустриализации необходимо добиться корреляции между наукой, технологиями и инновациями. Новые технологии производства дают конкурентные преимущества отечественным продуктам и услугам на внутренних и мировых рынках. Значимость технологических инноваций для экономики объясняется следующими факторами: технология является постоянно пополняемым ресурсом, которая генерирует богатство; выступает фактором повышения производительности и конкурентоспособности, а также средством объединения интересов науки, бизнеса и правительства [8].

Для развития индустриализации в РФ, готовятся программы, как на федеральном, так и региональном уровнях, национальные проекты и точечные решения, а также создаются возможности обмена опытом между регионами. Например, Минпроторг разрабатывает масштабную программу индустриализации страны, целью которой является увеличение доли отечественных комплектующих в 10 ключевых отраслях производства до 75% [9].

Останавливаясь подробно на региональных особенностях новой индустриализации, рассмотрим крупный индустриальный центр ЦФО с развитой диверсифицированной структурой – Воронежскую область, которая за последние 15 лет имела динамику развития промышленности, опережающую среднероссийские значения в среднем на 5% (среднегодовые темпы роста – 107,3% при общероссийском показателе – 102,3%). В регионе находится большое количество крупных предприятий федерального значения, предприятия атомной энергетики и ОПК. В настоящее время в регионе реализуются «дорожные карты» использования технологий, продукции и услуг предприятий для нужд государственных корпораций. Большое внимание при их разработке должно отводиться информационной составляющей принятия эффективных управленческих решений [10].

В конце декабря 2020 г. утвержден стратегический проект «Новая индустриализация региона», который стал составной частью Стратегии социально-экономического развития

области до 2035 г. [11]. Реализация данного проекта предусматривает увеличение объемов и темпов развития промышленного производства, создание комфортных условий ведения бизнеса, включающих инвестиционный климат. Для реализации проекта разработан план-график первоочередных мероприятий, а также разрабатывается «План продвижения Воронежской области», который должен обеспечивать привлечение резидентов на все перечисленные инвестиционные площадки.

Большое внимание в проекте уделено развитию инфраструктурных элементов промышленного производства, которые включают индустриальный парк, особую экономическую зону, территории опережающего социально-экономического развития. Опираясь на то, что кластеризация является одним из действенных механизмов не только формирования, но и развития кооперационных связей, то предприятия, объединяющиеся в кластеры, укрепляют хозяйственно-технологическую самостоятельность. Это способствует увеличению инвестиций в основной капитал и также решению вопросов импортозамещения. Консолидация ресурсов предприятий в кластерные образования позволяет малым предприятиям претендовать на выполнение заказов для крупных госкорпораций. В регионе на сегодняшний день осуществляют деятельность два промышленных кластера. Это кластер производителей нефтегазового и химического оборудования, который появился в 2016 году. Второй кластер – Межрегиональный насосостроительный Кластер, включающий предприятия Воронежской и Липецкой областей. Количество участников нефтегазового кластера с момента его регистрации возросло с 15 до 22, а объем отгруженных товаров / оказанных услуг по итогам 2020 составил 22 млрд руб. В Межрегиональном кластере количество участников также выросло – с 10 до 16 (объем отгруженных товаров – 3,3 млрд руб.). На базе двух кластеров действуют технопарки. Например, технопарк «Космос-Нефть-Газ» приобрел статус технопарка 25.04.2008 г. и занимается деятельностью по управлению финансово-промышленными группами и холдинг-компаниями; консультированием по вопросам коммерческой деятельности и управления; производством и реализацией промышленной продукции для нефтегазодобывающей промышленности. Резидентами технопарка являются 5 инновационно-ориентированных предприятий, из них 1 крупное, 2 малых и 2 средних. Общее количество рабочих мест в организациях-резидентах – 937, из них 581 образовано субъектами МСП (107 – в малых организациях и 474 – в средних организациях). Еще одним инструментом регионального развития является созданная двухуровневая система индустриальных парков, размещающая в себе 120 резидентов и более 6,2 тыс. рабочих мест.

Таким образом, промышленный комплекс региона находится в тесном взаимодействии с крупным бизнесом, в которых есть государственное участие (общий объем поставок для нужд крупных компаний в 2020 г. составил 16 млрд руб.).

Воронежская область выбрала за основу развития экономики – модель опережающего развития. Процесс формирования конкурентных преимуществ экономики региона можно представить рисунком 2. Как видно из рисунка 2, что в области было создана необходимая нормативно-правовая база, приняты законы, программы, разработаны стратегические документы планирования, выбраны «точки роста» развития региона. В результате проведения экспертного опроса, основанного на оценке силы влияния выявленных возможностей на социально-экономическое развитие региона и вероятности их использования с учетом его сильных и слабых сторон, были выделены стратегические цели и разработаны сценарии их достижения. Этапы целевого сценария приведены на рисунке. В 2020 г. завершился первый этап реализации «Стратегии-35» и разработан проект новой индустриализации региона. На I этапе реализации регион нарастил финансовый потенциал.

ВРП региона с 1046,1 млрд руб. в 2019 году к 2035 году должен достигнуть прогнозного значения 3223,1 млрд руб. (увеличится в 3,1 раза), а по объему инвестиций в основной капитал можно судить о положительной динамике. Новая индустриализация должна способствовать увеличению вклада в экономическую динамику высоко- и среднетехнологичных производств – до 17% совокупного вклада в прирост ВВП (в 2 раза).

Планирование развития промышленного сектора Воронежской области будет осуществляться в среднесрочной перспективе на основе увеличения физического объема промышленности. В ходе проведенного исследования был отмечен положительный рост промышленности в 2020 г. несмотря на трудности, вызванные пандемией коронавируса. В регионе по итогам 2020 г. ИПП, характеризующий изменение объемов отгрузки продукции в денежном выражении с учетом инфляции составил 103,8% к аналогичному показателю 2019 г. При этом добыча полезных ископаемых в регионе снизилась на 0,1%,

а производство в обрабатывающей промышленности выросло на 2,2%, в сфере обеспечения электрической энергией, газом и паром, кондиционировании воздуха – на 16,7% [13].

Если сравнивать этот показатель с величиной в среднем по России (Рис. 1), то он превышает значения данного показателя, равному 97,9%. Рост в регионе обеспечивают энергетические компании, такие как Нововоронежская АЭС и местный филиал «Квадры», ИПП которых принял значение 123,1%. В обрабатывающих производствах индекс зафиксирован на уровне 105%, в добыче полезных ископаемых – в 100,1%. В зоне падения только коммунальные предприятия – 95,1% [11].

Развитие высокотехнологичных отраслей происходит с быстрой отдачей в рост ВРП, что подтверждают данные рисунков 3,4. Из рисунка 3 видно, что в 2018 г. отмечалась самое высокое значение показателя, равное 20%, а что касается 2019 г., то вклад высокотехнологичных отраслей в развитие отечественной промышленности составило 19,8%, что превышает значения показателя 2016 года. Что касается, индексов производства по видам деятельности высокого технологичного уровня в 2020 году составили 110,7%, а в 2021 году – 112,2% (рисунок 4).

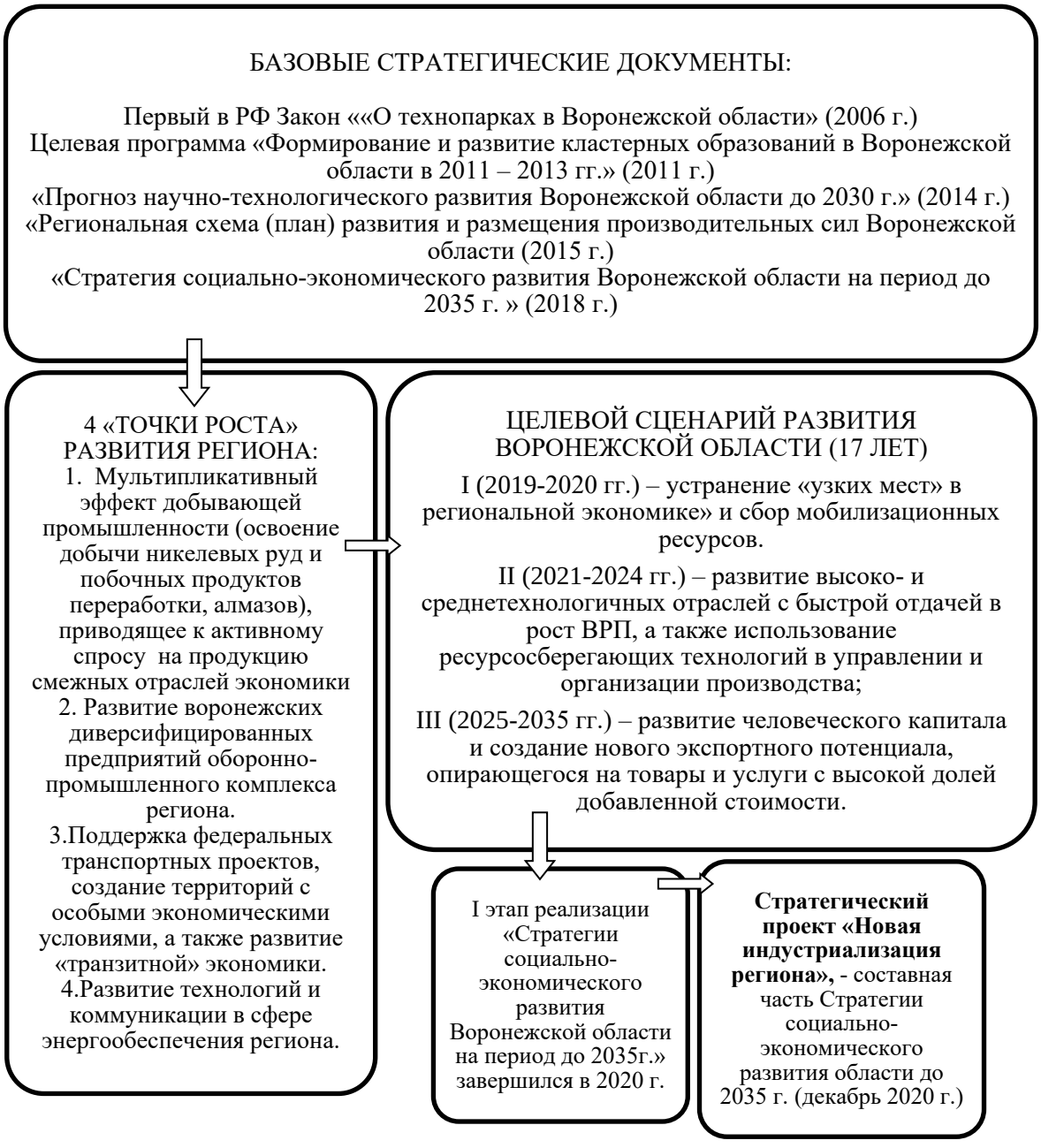


Рисунок 2. Процесс формирования конкурентных преимуществ экономики Воронежской области в промышленности

BASIC STRATEGIC DOCUMENTS:
The first in the Russian Federation Law "On technoparks in the Voronezh region" (2006).Targeted program "Formation and development of cluster formations in the Voronezh region in 2011 - 2013". (2011 г.)"Forecast of scientific and technological development of the Voronezh region until 2030". (2014 г.) "Regional scheme (plan) of development and distribution of productive forces of the Voronezh region (2015)"Strategy of socio-economic development of the Voronezh region for the period up to 2035" (2018).

4 "GROWTH POINTS" OF THE REGION'S DEVELOPMENT:
1. Multiplicative effect of the extractive industry (development of nickel ore mining and by-products, diamonds), leading to an active demand for the products of related industries2. Development of Voronezh diversified enterprises of the region's defense-industrial complex.3.Support for federal transport projects, creation of territories with special economic conditions, and development of the "transit" economy. 4.Development of technologies and communications in the region's energy supply.

TARGET SCENARIO OF VORONEZH OBLAST DEVELOPMENT (17 YEARS)

I (2019-2020) - elimination of "bottlenecks" in the regional economy" and collection of mobilization resources. II (2021-2024) - development of high- and medium-tech industries with fast returns to GRP growth, as well as the use of resource-saving technologies in the management and organization of production;III (2025-2035) - the development of human capital and the creation of new export potential based on goods and services with a high share of added value.

Phase I of the "Voronezh region socio-economic development strategy for the period up to 2035" was completed in 2020.

Strategic project "New industrialization of the region" - part of the Strategy for socio-economic development of the region until 2035 (December 2020).

Figure 2. The process of formation of competitive advantages of the Voronezh Region economy in industry

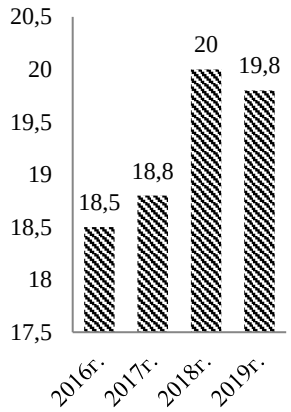


Рисунок 3. Доля продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в валовом региональном продукте за 2016–2019 гг., %

Figure 3. The share of high-tech and knowledge-intensive industries in the gross regional product for 2016–2019, %

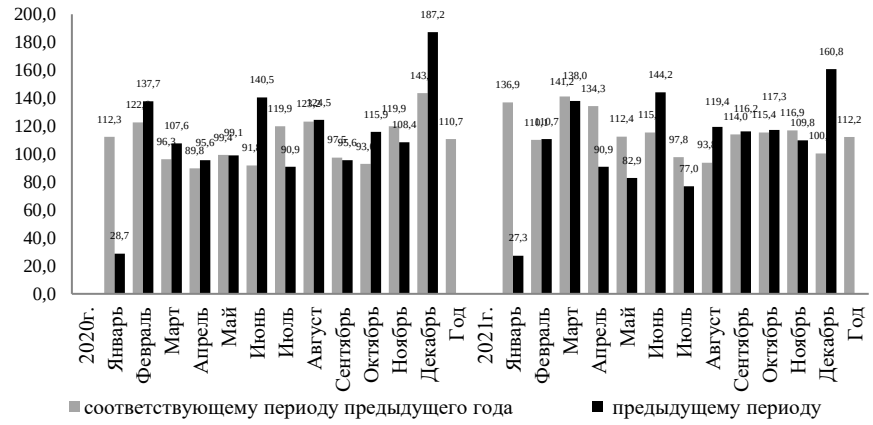


Рисунок 4. Индексы производства по видам деятельности высокого технологичного уровня, %

Figure 4. Production indices by types of high technological level activities, %

Для оценки конкурентных преимуществ региона был проведен сравнительный анализ соседних областей, граничащих с Воронежской областью и входящих в Центральное Черноземье по показателю развития промышленного производства – ИПП за 2020 г. исходя из статистических данных. За ближайшего конкурента была принята Курская область: по результатам исследования было получено, что в 2020 году ИПП – 98,6%, а индекс обрабатывающих производствах региона равен 97,3%. у добывающих производств – 93,1%. Однако работа энергокомпании Курская АЭС обеспечила прирост показателя, равный 4,4%, такого же прироста показателя обеспечила работа коммунальной отрасли.

Что касается Орловской области (ИПП 103,5%), Липецкой области (103,4%), Белгородской области (101,3%), то воронежская промышленность занимала лучшие позиции в 2020 г. По данным рейтинга НПО «Криста», опубликованном на сайте https://www.iminfin.ru/news/, Воронежская область в 2021 г. по ИПП входит в рейтинг по Федеральному округу со значением 1, а по Российской Федерации со значением 4. Объем отгруженных товаров, выполненных работ и услуг составил 136436,0 млн руб., что в рейтинге позволило занять 3 место (по Федеральному округу) и 12 место по РФ. Доля субъекта в РФ составляет 2,39%. Сравнение показателей промышленного производства по регионам России в 2021 году показано в таблице 2 [12].

Анализ структуры ВРП в разрезе видов экономической деятельности показывает, что в промышленности, сельском хозяйстве и строительстве создается около 40% ВРП, в секторе непроизводственных услуг преобладает торговля – 19%.

В экономике Воронежской области превалирует индустриально-аграрная составляющая, развитие которой тесно связано с базовыми отраслями экономики региона с долей 80% от общего объёма промышленной продукции региона. Таким образом, выделим системообразующие отрасли промышленности за 2020 г.: нефтегазовое машиностроение, мебельная промышленность, машиностроение для пищевой промышленности, радиоэлектроника, ракетно-космическая отрасль.

Реальные значения статистических социально-экономических показателей региона оказались выше прогнозируемых в «Стратегии-35», что и показывает рисунок 5. За базовый период для расчета был взят 2019 г. Итоги социально-экономического развития региона за 2021 год подтвердили рост экономики Воронежской области. Объем валового регионального продукта составил в 2021 году 1083,9 млрд руб. плюс 1,8% к уровню допандемийного 2019 г., что по сравнению с 2019 г. больше на 81,3 млрд руб. или (при значении показателя 2019 г. в 1002,6 млрд руб.) [12].

Таблица 2.

Сравнение показателей промышленного производства по регионам России

Table 2.

Comparison of industrial production indicators by regions of Russia

Территория Territory	Объем отгруженных товаров, выполненных работ и услуг, млн руб. Volume of goods shipped, works performed and services rendered, mln.	Ранг по ФО Federal District Rank	Ранг по РФ Rank by Russia	Доля в РФ, % Share in Russia, %	ИПП, % IPP, %	Ранг по ФО Federal District Rank	Ранг по РФ Rank by Russia
г. Москва г. Moscow	778671,0	1	1	13,61	99,7	6	28
Тюменская область Tyumen region	314089,0	1	2	5,49	90,2	3	75
Свердловская область Sverdlovsk Region	236469,0	2	4	4,13	99,7	1	28
Ростовская область Rostov region	155706,0	1	9	2,72	97,7	6	40
Воронежская область Voronezh region	136436,0	3	12	2,39	116,7	1	4
Иркутская область Irkutsk region	133106,0	2	13	2,33	102,6	2	16



Рисунок 5. Темпы роста социально-экономического развития Воронежской области за 2021 г., %
Figure 5. The main results of the socio-economic development of the Voronezh region in 2021, %

Большой вклад в достижение показателей, приведенных на рисунке 5, области удалось достичь благодаря комплексу мер, реализуемых при внедрении стратегического проекта «Новая индустриализация». Промышленное производство в 2021 г. увеличилось на 15,2% к 2019 г., в том числе в обрабатывающих отраслях – на 14,6%. Положительную динамику промышленности Воронежской области в 2020–2021 гг. обеспечили также меры господдержки, такие как снятие жестких ограничений во время режима самоизоляции. Важную роль в росте промышленности региона сыграли предприятия непрерывного цикла – «Минудобрения», завод полупроводниковых приборов «Микрон» и «Воронежсинтезкаучук», предприятие холдинга «Сибур».

Заключение

За последние годы создан и частично реализован серьезный инструментарий государственной поддержки новой индустриализации экономики России и регионов, а также необходимые условия для достижения конкурентных преимуществ экономики в промышленности. Новая индустриализация России позволит обеспечить рост ВВП, увеличит долю высоко- и среднетехнологичных обрабатывающих производств, вклад сектора формирования человеческого капитала. Она предусматривает трансформацию отечественной промышленности за счет строительства и модернизации промышленных производств, расширения инфраструктуры, увеличения инвестиций в основной капитал и решения вопросов импортозамещения. Процесс формирования конкурентных преимуществ Воронежской области в промышленности осуществляется поэтапно, включает в себя разработку и запуск стратегического проекта «Новая индустриализация», результатами реализации которого уже стали принятые решения о внедрении инвестпроектов по строительству и перевооружению промышленных производств, а также достигнутые социально-экономические индикаторы итогов работы региона за 2020–2021 гг.

Литература

1 О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года: указ Президента РФ от 7.05. 2018 г. № 204. URL: https://docs.cntd.ru/document/557309575

2 Li D., Liu J. Dynamic capabilities, environmental dynamism, and competitive advantage: Evidence from China // Journal of business research. 2014. V. 67. №. 1. P. 2793-2799. doi: 10.1016/j.jbusres.2012.08.007

3 Лукинова О.А., Гусева Л.П., Писаренко Н.Д. Исследование стратегических и региональных аспектов индустриализации экономики России // Финансовые рынки и банк. 2022. № 1. С. 81–87.

4 Путин В.В. Путин: Новая индустриализация потребует 43 трлн. рублей инвестиций в экономику РФ // Федеральный сайт «Единая Россия»: URL: https://er.ru/activity/news/

5 О промышленной политике Российской Федерации: Федеральный закон от 31.12.2014 г. № 488. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_173119/

6 Федеральная служба государственной статистики: Официальный сайт. URL: http://www.gks.ru

7 Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на 2022 год и на плановый период 2023 и 2024 годов. URL: https://legalacts.ru/doc/prognoz-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-rossiiskoi-federatsii-na-2022-god-i/

8 Лукинова О.А., Писаренко Н.Д., Гусева Л.П. Инновационно-технологическое развитие как фактор экономического роста Российской Федерации // Инновации и инвестиции. 2019. № 1. С. 16–22.

9 Минпромторг России: официальный сайт. URL: https://minpromtorg.gov.ru/? http://minpromtorg.gov.ru

10 Писаренко Н.Д., Лукинова О.А. К вопросу моделирования дорожных карт в форсайт-исследованиях // Математические методы и информационные технологии в моделировании систем. 2021. С. 37-45.

11 Воронежская область. Официальный портал органов власти: Официальный сайт. URL: https://www.govvrn.ru/

12 Промышленное производство в российских регионах: Сайт маркетингового агентства НПО «Криста». URL: https://www.iminfin.ru/news/432-sravnenie-regionov-po-pokazatelyam-promyshlennogo-proizvodstva

13 Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Воронежской области: Официальный сайт. URL: https://voronezhstat.gks.ru/

14 Leonidou L.C., Leonidou C.N., Fotiadis T.A., Zeriti A. Resources and capabilities as drivers of hotel environmental marketing strategy: Implications for competitive advantage and performance // Tourism management. 2013. V. 35. P. 94-110. doi: 10.1016/j.tourman.2012.06.003

15 Porter M. The competitive advantage of the inner city // The city reader. Routledge, 2015. P. 358-371.

16 Marchi V.D., Maria E.D., Micelli S. Environmental strategies, upgrading and competitive advantage in global value chains // Business strategy and the environment. 2013. V. 22. №. 1. P. 62-72. doi:10.1002/bse.1738

17 Hana U. Competitive advantage achievement through innovation and knowledge // Journal of competitiveness. 2013. V. 5. №. 1. P. 82-96.

18 Mass W., Lazonick W. The British cotton industry and international competitive advantage: The state of the debates // International competition and strategic response in the textile industries since 1870. Routledge, 2013. P. 9-65.

19 Veselovsky M.Y., Gnezdova J.V., Romanova J.A., Kirova I.V. et al. The strategy of a region development under the conditions of new actual economic // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2015. V. 6. №. 5. P. 310. doi: 10.5901/mjss.2015.v6n5s2p310

20 Ferreira J., Coelho A., Moutinho L. Dynamic capabilities, creativity and innovation capability and their impact on competitive advantage and firm performance: The moderating role of entrepreneurial orientation // Technovation. 2020. V. 92. P. 102061. doi: 10.1016/j.technovation.2018.11.004

References

1 On the national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period up to 2024: Decree of the President of the Russian Federation of 07.05. 2018 No. 204. Available at: https://docs.cntd.ru/document/557309575 (in Russian).

2 Li D., Liu J. Dynamic capabilities, environmental dynamism, and competitive advantage: Evidence from China. Journal of business research. 2014. vol. 67. no. 1. pp. 2793-2799. doi:10.1016/j.jbusres.2012.08.007

3 Lukinova O.A., Guseva L.P., Pisarenko N.D. Research of strategic and regional aspects of the industrialization of the Russian economy. Financial Markets and Bank. 2022. no. 1. pp. 81–87. (in Russian).

4 Putin V.V. Vladimir Putin: New industrialization will require 43 trillion. rubles of investment in the economy of the Russian Federation. Federal website "United Russia". Available at: https://er.ru/activity/news/ (in Russian).

5 On the industrial policy of the Russian Federation: Federal Law No. 488 of December 31, 2014. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_173119/ (in Russian).

6 Federal State Statistics Service: Official site. Available at: http://www.gks.ru (in Russian).

7 Forecast of the socio-economic development of the Russian Federation for 2022 and for the planned period of 2023 and 2024. Available at: https://legalacts.ru/doc/prognoz-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-rossiiskoi-federatsii-na 2022 god-i/ (in Russian).

8 Lukinova O.A., Pisarenko N.D., Guseva L.P. Innovative and technological development as a factor in the economic growth of the Russian Federation. Innovations and investments. 2019. no. 1. pp. 16–22. (in Russian).

9 Ministry of Industry and Trade of Russia: official site. Available at: https://minpromtorg.gov.ru/? http://minpromtorg.gov.ru (in Russian).

10 10. Pisarenko N.D., Lukinova O.A. On the issue of modeling roadmaps in foresight research. Mathematical methods and information technologies in system modeling. 2021. pp. 37-45. (in Russian).

11 Voronezh region. Official portal of authorities: Official site. Available at: https://www.govvrn.ru/ (in Russian).

12 Industrial production in the Russian regions: Website of the marketing agency NPO Krista. Available at: https://www.iminfin.ru/news/432 sravnenie-regionov-po-pokazatelyam-promyshlennogo-proizvodstva (in Russian).

13 Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Voronezh region: Official site. Available at: https://voronezhstat.gks.ru/ (in Russian).

14 Leonidou L.C., Leonidou C.N., Fotiadis T.A., Zeriti A. Resources and capabilities as drivers of hotel environmental marketing strategy: Implications for competitive advantage and performance. Tourism management. 2013. vol. 35. pp. 94-110. doi: 10.1016/j.tourman.2012.06.003

15 Porter M. The competitive advantage of the inner city. The city reader. Routledge, 2015. pp. 358-371.

16 Marchi V.D., Maria E.D., Micelli S. Environmental strategies, upgrading and competitive advantage in global value chains. Business strategy and the environment. 2013. vol. 22. no. 1. pp. 62-72. doi:10.1002/bse.1738

17 Hana U. Competitive advantage achievement through innovation and knowledge. Journal of competitiveness. 2013. vol. 5. no. 1. pp. 82-96.

18 Mass W., Lazonick W. The British cotton industry and international competitive advantage: The state of the debates. International competition and strategic response in the textile industries since 1870. Routledge, 2013. pp. 9-65.

19 Veselovsky M.Y., Gnezdova J.V., Romanova J.A., Kirova I.V. et al. The strategy of a region development under the conditions of new actual economic. Mediterranean Journal of Social Sciences. 2015. vol. 6. no. 5. pp. 310. doi: 10.5901/mjss.2015.v6n5s2p310

20 Ferreira J., Coelho A., Moutinho L. Dynamic capabilities, creativity and innovation capability and their impact on competitive advantage and firm performance: The moderating role of entrepreneurial orientation. Technovation. 2020. vol. 92. pp. 102061. doi: 10.1016/j.technovation.2018.11.004

Сведения об авторах

Ольга А. Лукинова доцент, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54 А, г. Воронеж, 394064, Россия, lu_5555@mail.ru

Светлана В. Попова доцент, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54 А, г. Воронеж, 394064, Россия, psvbravo@mail.ru

Владлена М. Моисеева доцент, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54 А, г. Воронеж, 394064, Россия, vmmoise@mail.ru

Наталья В. Плужникова старший преподаватель, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, sllonn2013@ya.ru

Оксана А. Апалихина доцент, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, oxana2031@m.ru

https://orcid.org/0000-0001-7773-7789

Information about authors

Olga A. Lukinova associate professor, Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, 54 A Starye Bolshevikov, Voronezh, 394064, Russia, lu_5555@mail.ru

Svetlana V. Popova associate professor, Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, 54 A Starye Bolshevikov, Voronezh, 394064, Russia, psvbravo@mail.ru

Vladlena M. Moiseeva associate professor, Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, 54 A Starye Bolshevikov, Voronezh, 394064, Russia, vmmoise@mail.ru

Natalia V. Pluzhnikova senior lecturer, Voronezh State University of Engineering Technologies, 19 Revolution, Voronezh, 394036, Russia, sllonn2013@ya.ru

Oksana A. Apalihina associate professor, Voronezh State University of Engineering Technologies, 19 Revolution, Voronezh, 394036, Russia, oxana2031@m.ru

https://orcid.org/0000-0001-7773-7789

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 25/03/2022	**После редакции** 15/04/2022	**Принята в печать** 18/05/2022

Received 25/03/2022	**Accepted in revised** 15/04/2022	**Accepted** 18/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-357-367 Оригинальная статья/Research article
УДК 360 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Состояние экономической безопасности 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
Елизавета А. Рогова [1] rogowaelizaveta@mail.ru

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

Аннотация. Сегодня в условиях нестабильной международной политической обстановки как никогда встает актуальный вопрос обеспечения национальной и региональной экономической безопасности. Обеспечение стабильности показателей экономических процессов заключается в разработке и совершенствовании гибкой системы мер защиты от неблагоприятных внешних и внутренних факторов и угроз. Именно минимизация воздействия угроз, а также обеспечение устойчивости и защищенности экономики в критических условиях составляет сущность экономической безопасности. Исходя из объективных и субъективных факторов, субъекты РФ значительно различаются по уровню социально-экономического развития и, как следствие, по уровню экономической защищенности. Такой разброс не может не влиять на уровень безопасности всего государства. Региональная специфика обязательно должна применяться при оценке угроз экономической безопасности на уровне страны. В 2019–2020 годах пандемия COVID существенно повлияла на состояние не только региональной, но и национальной экономической безопасности. Меры, принятые Правительством РФ для стабилизации экономической ситуации, имели положительный эффект, но стоили существенных дополнительных расходов как федеральному, так и региональным бюджетам. Несмотря государственную поддержку бизнеса, в стране наблюдалось снижение качества жизни, рост безработицы из-за сокращения персонала многими предприятиями, сокращение заработной платы работников и другие социально-экономические явления, рассматриваемые нами как источники рисков и угроз экономической безопасности. В рамках проведенного исследования был выполнен анализ состояния экономической безопасности Воронежской области, выявлены и оценены угрозы ее экономической безопасности. На состояние экономической безопасности региона в исследуемом периоде негативно повлияли: значительное возрастание инфляции на фоне мирового кризиса в 2020 году, снижение доли инвестиций в основной капитал, падение индекса промышленного производства, падение инновационной активности, возрастание социальной напряженности. При этом положительной динамикой отмечен оборот розничной торговли на душу населения, снизилась доля граждан, имеющих доходы ниже прожиточного минимума, наблюдался рост валового регионального продукта. Среди угроз экономической безопасности региона наиболее опасными являются: повышением цен на товары и услуги, замедлением темпов роста инновационной и инвестиционной активности, ухудшение состояния социальной сферы.

Ключевые слова: экономическая безопасность, Воронежская область, угрозы безопасности, оценка состояния, экономическая защищенность.

The state of regional economic security and the 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
Elizaveta A. Rogova [1] rogowaelizaveta@mail.ru

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

Abstract. Today, in an unstable international political situation, the urgent issue of ensuring national and regional economic security is more urgent than ever. Ensuring the stability of indicators of economic processes is to develop and improve a flexible system of protection measures against adverse external and internal factors and threats. It is the minimization of the impact of threats, as well as ensuring the stability and security of the economy in critical conditions that constitutes the essence of economic security. Based on objective and subjective factors, the subjects of the Russian Federation differ significantly in the level of socio-economic development and, as a result, in the level of economic security. Such a spread cannot but affect the level of security of the entire state. Regional specifics must necessarily be applied when assessing threats to economic security at the country level. In 2019–2020, the COVID pandemic significantly affected the state of not only regional, but also national economic security. The measures taken by the Government of the Russian Federation to stabilize the economic situation had a positive effect, but cost significant additional costs to both federal and regional budgets. Despite government support for business, there was a decline in the quality of life in the country, an increase in unemployment due to the reduction of staff by many enterprises, a reduction in workers' wages and other socio-economic phenomena that we consider as sources of risks and threats to economic security. As part of the study, an analysis of the state of economic security of the Voronezh region was carried out, threats to its economic security were identified and assessed. The state of economic security of the region in the period under study was negatively affected by: a significant increase in inflation against the background of the global crisis in 2020, a decrease in the share of investments in fixed assets, a drop in the index of industrial production, a drop in innovation activity, an increase in social tension. At the same time, the retail trade turnover per capita was marked by positive dynamics, the share of citizens with incomes below the subsistence minimum decreased, and the gross regional product grew. Among the threats to the economic security of the region, the most dangerous are: the increase in prices for goods and services, the slowdown in the growth of innovation and investment activity, the deterioration of the social sphere.

Keywords: economic security, Voronezh region, security threats, condition assessment, economic security.

Для цитирования
Горковенко Е.В., Платонова И.В., Рогова Е.А. Состояние экономической безопасности региона и направления ее обеспечения // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 357–367. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-357-367

For citation
Gorkovenko E.V., Platonova I.V., Rogova E.A. The state of regional economic security and the directions of its provision. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022.mvol. 84.,no. 2.mpp. 357–367. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-357-367

© 2022, 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

Введение

Существует много различных трактовок экономической безопасности, при этом обычно они привязаны к определенному уровню (национальному, региональному, предприятия). Экономическая безопасность региона – способность субъекта федерации противостоять кризисным ситуациям, вызываемым воздействием внешних и внутренних факторов на научно-производственный и ресурсный потенциал и их структуру, сферу обращения и институциональную инфраструктуру, социальную сферу, уровень и качество жизни людей [1]. Составляющими экономической безопасности региона являются: инвестиционная, финансовая, социально-экономическая, промышленная, информационная, продовольственная и экологическая. Для всесторонней оценки каждой из них необходимо выбрать соответствующую методику, включающую в себя систему качественных индикаторов и количественных показателей [2, 3]. Оценив уровень каждого индикатора и показателя, можно сделать вывод об общем состоянии региональной экономической безопасности.

Результаты и обсуждение

Воронежская область является одним из наиболее крупных индустриальных центров Центрального Федерального округа. Численность населения Воронежской области на 1 января 2021 года составила 2305,6 тыс. чел., тип экономики – индустриально-аграрный с высокой долей торговли, обрабатывающей промышленности и сельского хозяйства (рисунок 1) [4].

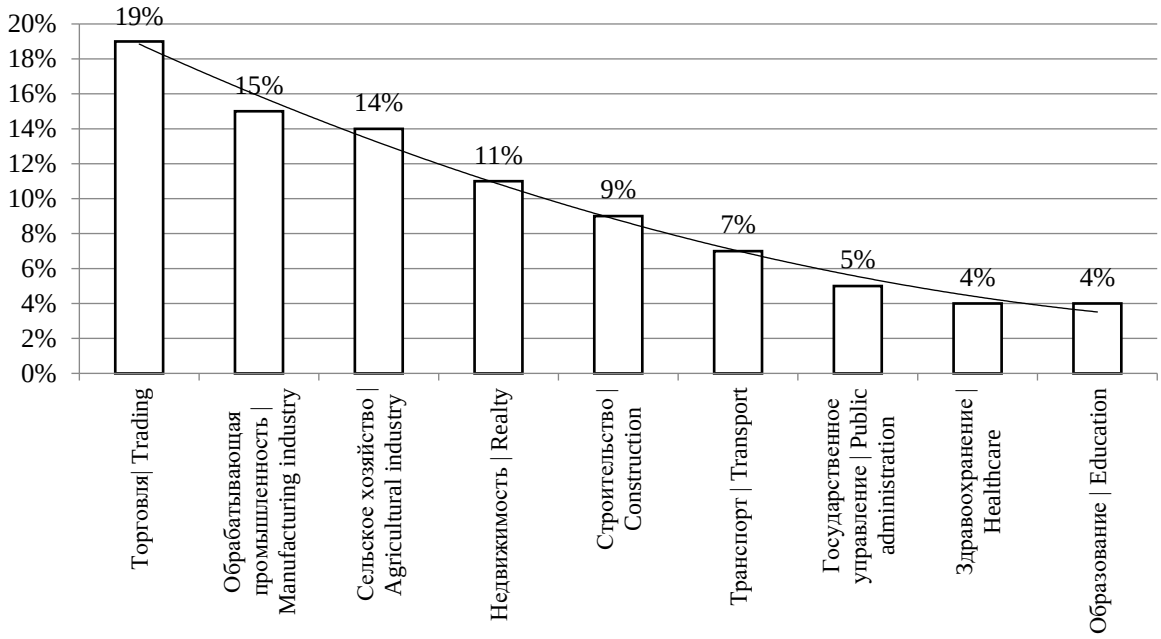


Рисунок 1. Отраслевая структура экономики Воронежской области

Figure 1. Sectoral structure of the Voronezh Region economy

Воронежская область – один из крупных регионов России, специализирующихся в области агропромышленного производства. В растениеводстве преобладают зерновые, картофель, сахарная свекла, в животноводстве регион специализируется на выращивании птицы и свиней, развито производство и переработка молока. В структуре промышленности региона преобладает обрабатывающее производство.

В 2019–2021 годах на экономическое состояние региона в значительной степени повлияла пандемия COVID-19: 7322 компаний покинули рынок, особенно сильно от ограничений пострадали предприятия общественного питания, многие из которых прекратили свою деятельность из-за неспособности отвечать по обязательствам. Однако такая динамика незначительно сказалась на ухудшении экономического климата в регионе, поскольку на фоне ликвидации юридических лиц возросло количество самозанятых, а предоставление субсидий бизнесу затормозило процессы массового банкротства.

Антиковидные меры существенно затронули и внешнеэкономическую деятельность региона [5]. Экспорт Воронежской области из-за закрытия границ уменьшился в 2019 году на 351461,7 тыс. долларов по сравнению с 2018 годом. В 2020 году падение внешнего торгового оборота продолжилось, однако уже не так сильно, разница с 2019 годом составила 161058,3 тыс. долларов США (рисунок 2).

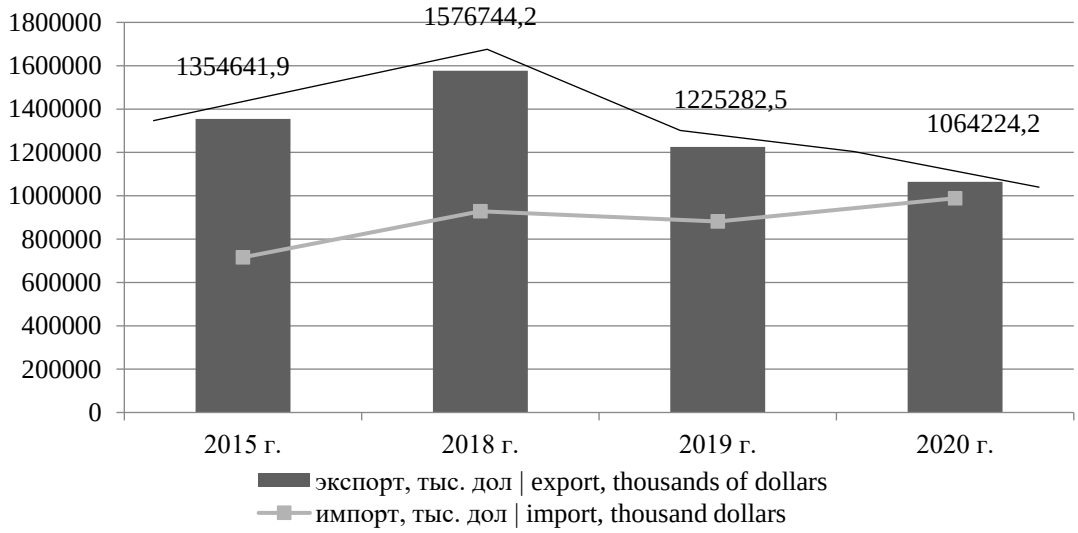


Рисунок 2. Динамика внешней торговли Воронежской области за 2015–2020 гг.

Figure 2. Dynamics of foreign trade of the Voronezh region for 2015–2020

Продукция химической промышленности, продовольственные товары и сырье, машиностроительная продукция, минеральные удобрения преобладают в товарной структуре экспорта. Воронежская область осуществляет поставки 84 видов продукции агропромышленного комплекса. На такие продовольственные товары, как пшеница, кукуруза, ячмень, подсолнечное масло, меласса, сахар, жмыхи, соя, солод, дрожжи в 2020 году приходилось 80% экспорта. Совокупный торговый оборот по итогу 2020 года был оценен в 2 млрд долларов. В структуре импорта преобладают металлы и металлические изделия.

На основе индикаторов, представленных в Указе Президента РФ «О стратегии экономической безопасности», проведем оценку текущего состояния экономической безопасности Воронежской области за 2018–2020 гг. и выделим возможные риски. Для удобства анализа сгруппируем показатели по четырем секторам (экономический, финансовый, производственный социальный), результаты занесем в таблицу 1.

Проанализировав значения экономической сферы деятельности Воронежской области, мы не обнаружили существенных проблем. В анализируемом периоде наблюдался значительный рост валового регионального продукта на душу населения, при этом доля ВРП в ВВП страны несущественно, но выросла. Кроме того, отметился положительной динамикой оборот розничной торговли на душу населения – прирост 6,82%, значительно сократился государственный долг региона и показатель потребления энергии на единицу стоимости валового продукта [4, 6].

Таблица 1.

Показатели экономической безопасности Воронежской области

Table 1.

Indicators of economic security of the Voronezh region

Показатели | Indicators	Пороговое значение | Threshold value	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Базисный темп роста | Basic growth rate (%)
1	2	3	4	5	6
Экономическая сфера | Economic sphere					
Индекс физического объема ВРП | GRP Physical Volume Index,%	101,7	102,7	101,3	102,0	99,21
Валовой региональный продукт на душу населения, р. | Gross regional product per capita, rub.	510253	408140,7	431037	459629,5	112,62
Доля валового регионального продукта в общем объеме валового внутреннего продукта | The share of the gross regional product in the total gross domestic product,%	1,2	0,918	0,91	0,92	100,22
Государственный долг субъекта РФ,% к ВРП | State debt of the subject of the Russian Federation,% of GRP	3,3	3,258	2,738	1,55	47,58
Оборот розничной торговли на душу населения, р. | Retail trade turnover per capita, rub.	215074	237257,7	252078,2	253435,2	106,82
Энергоемкость валового регионального продукта (показатель потребления энергии на единицу стоимости валового продукта), кг условного топлива / на 10 тыс. рублей | Energy intensity of the gross regional product (an indicator of energy consumption per unit value of the gross product), kg of conventional fuel / for 10 thousand rubles	122,86	141,6	133,3	121,1	85,52

Продолжение таблицы 1 | Continuation of table 1

1	2	3	4	5	6
Финансовая сфера | Financial sphere					
Доля инвестиций в основной капитал в валовом региональном продукте | The share of investments in fixed assets in the gross regional product,%	21,5	29,1	29,8	24,4	83,85
Степень износа основных фондов | The degree of depreciation of fixed assets,%	47,3	40,3	31,4	31,3	77,67
Уровень инфляции (индекс потребительских цен – декабрь к декабрю предыдущего года, в%) | Inflation rate (consumer price index – december to december of the previous year, in%),%	2,5	4,6	2,6	6,9	150,00
Доля инвестиций в машины, оборудование и транспортные средства в общем объеме инвестиций в основной капитал | The share of investments in machinery, equipment and vehicles in the total volume of investments in fixed assets,%	31,8	23,0	16,1	23,3	101,30
Производственная сфера | Production sphere					
Индекс промышленного производства | Industrial Production Index,%	102,1	103,2	111,3	109,9	106,49
Индекс производительности труда | Labor Productivity Index,%	101,9	102,7	102,0	98,2	95,62
Доля инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, работ, услуг | The share of innovative goods, works, services in the total volume of shipped goods, works, services,%	7,2	6,3	7,3	5,8	92,06
Доля высокотехнологичной и наукоемкой продукции в валовом региональном продукте,% (внутренние затраты на научные исследования и разработки,% к ВРП) | The share of high-tech and high-tech products in the gross regional product,% (internal research and development costs,% of GRP)	20,7	16,68	17,96	18,52	111,03
Доля организаций, осуществляющих технологические инновации | The share of organizations implementing technological innovations,%	7,3	17,1	13,4	15,9	92,98
Социальная сфера | Social sphere					
Коэффициент напряженности на рынке труда | The coefficient of tension in the labor market	2,7	0,6	0,6	1,9	316,67
Доля населения трудоспособного возраста в общей численности населения | The share of the working-age population in the total population,%	56,7	54,85	55,81	55,40	101,00
Доля граждан с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума | The share of citizens with monetary incomes below the subsistence minimum,%	13,2	8,9	8,9	8,5	95,51
Децильный коэффициент (соотношение доходов 10% наиболее обеспеченного населения и 10% наименее обеспеченного населения) | Decile ratio (income ratio of 10% of the most affluent population and 10% of the least affluent population)	4,1	6,6	6,5	6,4	97,97
Уровень преступности в сфере экономики (количество зарегистрированных преступлений), ед. | The level of crime in the economic sphere (the number of registered crimes), units	1263	1256	1323	1270,5	101,15

В финансовой сфере показателем с наиболее сильным отрицательным для характеристики безопасности региона отклонением является уровень инфляции. На росте показателя сказалось, прежде всего, увеличение удельных издержек производства и реализации продукции, на которые, в свою очередь, повлияли такие факторы, как рост цен на сырье, материалы, комплектующие, повышение заработной платы работникам, налогов. Инфляция в Воронежской области в декабре 2021 года выросла до 9,3%.

Показатель инвестиционного обеспечения воспроизводства основного капитала также показал отрицательную динамику – за анализируемый период снизился на 16,15%. Тем не менее, значения данного показателя находятся в пределах порогового и оцениваются нами удовлетворительно. Индекс промышленного производства вырос на 6049%, а вот производительность труда, наоборот, снизилась на 4,38%. Заметная отрицательная динамика в 2020 году по сравнению с 2019 г. отмечена по доле инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных [7]: показатель упал на 20%. Данный факт является следствием неэффективных мер региональных властей в области защиты интеллектуальной собственности и поддержки развития инновационной деятельности, которые могли бы обеспечить продуктивное взаимодействие между новаторами, бизнесом, финансово-кредитными организациями. Показатель доли высокотехнологичной и наукоемкой продукции в валовом региональном продукте показывает стабильный рост за 2018–2020 гг., однако результат все еще недостаточен, индикатор находится ниже порогового значения.

Состояние напряженности на рынке труда в социальной сфере характеризуется удовлетворительными значениями. Однако в 2020 году показатель демонстрирует резкое увеличение – отношение числа незанятых граждан, зарегистрированных в службах занятости, к числу вакантных рабочих мест выросло почти на 217%. Колебание этого показателя говорит о сильном дисбалансе в спросе на рабочую силу и её предложении, что в перспективе может привести

к возникновению как официально регистрируемой, так и нерегистрируемой безработицы [8].

Высокая смертность в 2020–2021 годах привела к снижению доли населения трудоспособного возраста в общей численности населения. Децильный коэффициент дифференциации доходов населения демонстрировал стабильно высокий уровень на протяжении всего периода исследования, но при этом наметилась тенденция к снижению. Как положительный следует рассматривать факт снижения доли граждан с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума, при этом значения показателя ниже порогового. Уровень преступности в сфере экономики в Воронежской области остается довольно высоким, хотя в 2020 году по отношению к 2019 году количество преступлений снизилось на 3,97%.

Исходя из вышеизложенного, уровень безопасности по сферам деятельности оцениваем следующим образом: экономическая – высокий; финансовая и производственная – средний; социальная – низкий.

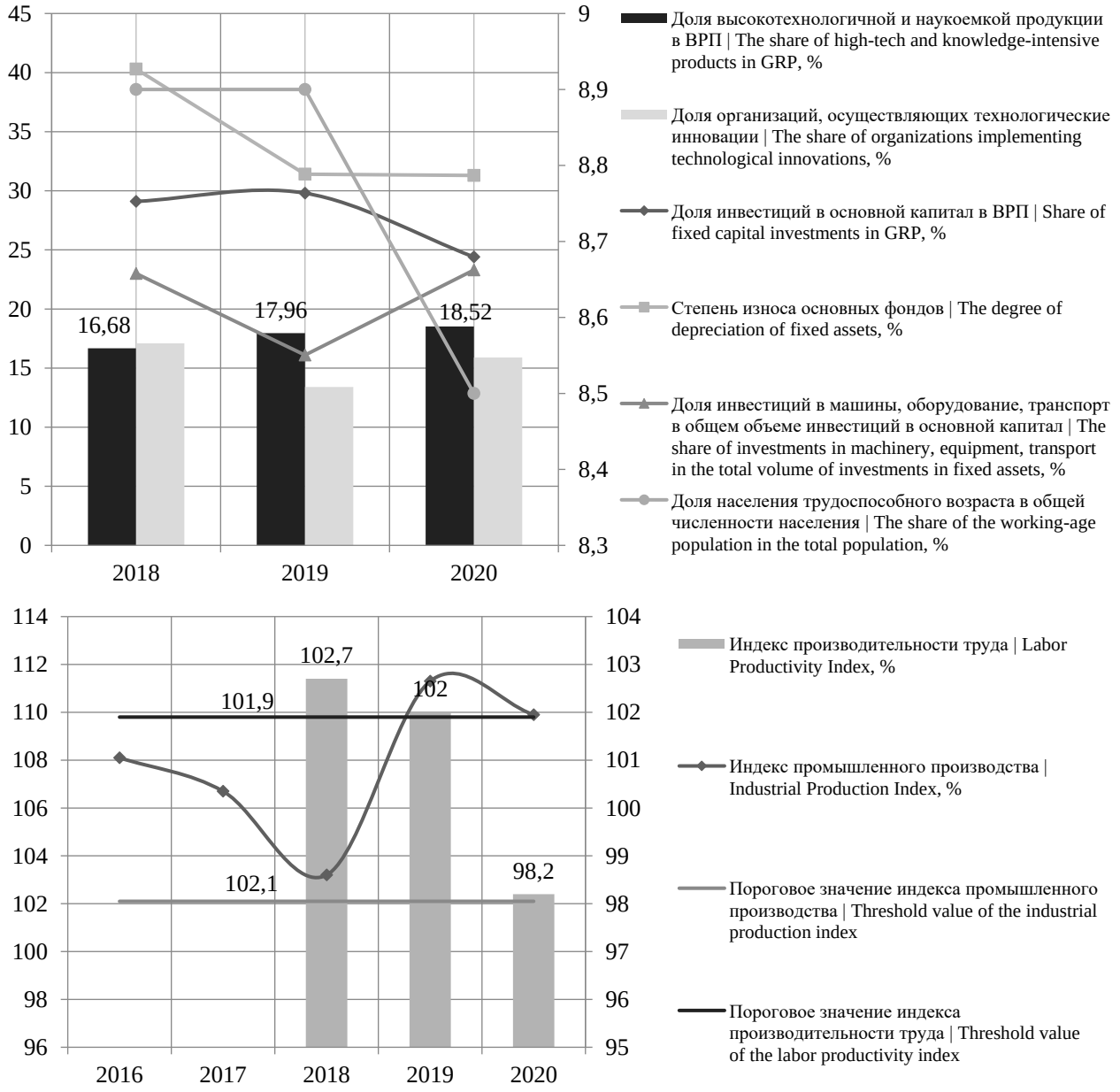


Рисунок 3. Анализ ключевых факторов успеха Воронежской области (часть 1)

Figure 3. Analysis of the key success factors of the Voronezh Region (part 1)

Воронежская область – экспортоориентированный, индустриально развитый регион, на развитие которого влияют как внешние, так и внутренние факторы. Для комплексного стратегического анализа состояния экономической безопасности региона воспользуемся качественным методом – SWOT-анализом [9]. Для оценки сильных и слабых сторон региона определим, какие факторы оказывают влияние на успех Воронежской области в конкурентной борьбе

с другими регионами. Выявление ключевых факторов успеха (КФУ) позволит определить конкурентную позицию и выделить сферы, в которых регион превосходит или уступает другим субъектам РФ.

В первую очередь, развитие региона зависит от конкурентоспособности организаций и компаний, расположенных на его территории [10]. Эффективным методом оценки конкурентоспособности региона является метод, который базируется на показателях состояния сфер его экономической деятельности [11]. Результаты анализа представлены на рисунках 3, 4.

Используя метод PESTEL-анализа, сформируем таблицу 2, в которой отразим список факторов, скомбинированных по группам: политические (P), экономические (E), социокультурные (S), технологические (T), экологические (E), правовые (L). Определим степень влияния каждого фактора по типу, используя категории-маркеры. Оценку степени влияния каждого из шести факторов-событий на стратегию региона будем осуществлять по пятибалльной шкале: «пять» – сильное воздействие, серьезная опасность; «единица» – отсутствие воздействия, угрозы.

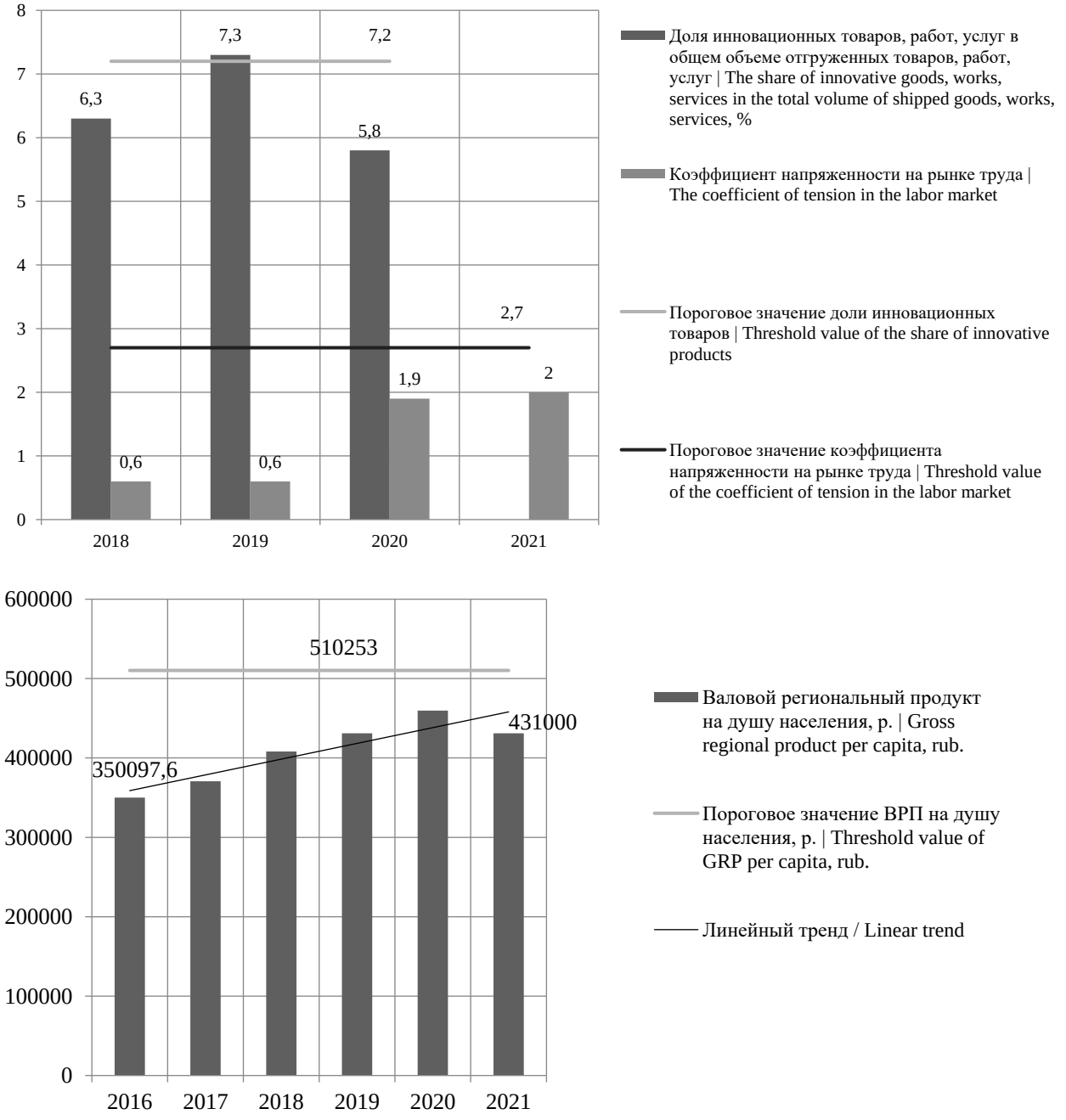


Рисунок 4. Анализ ключевых факторов успеха Воронежской области (часть 2)

Figure 4. Analysis of the key success factors of the Voronezh Region (part 2)

Таблица 2.

PESTEL-анализ факторов, влияющих на экономическую безопасность Воронежской области

Table 2.

PESTEL-analysis of factors affecting the economic security of the Voronezh Region

Фактор внешней среды | Environmental factor	Относительная значимость фактора | Relative importance of the factor	Вес фактора | The specific weight of the factor	Оценка | Assessment	Взвешенная оценка | Weighted assessment	Влияние на регион | Impact on the region
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
P – политический | political		1			
реализация федеральных программ импортозамещения | implementation of federal import substitution programs	важный | important	0,25	3	0,75	снижение зависимости от импорта | reducing dependence on imports
реализация федеральных проектов развития транспортной инфраструктуры | implementation of federal transport infrastructure development projects	важный | important	0,25	3	0,75	снижение затрат на логистику | reduced logistics costs
внешнеэкономические санкции | foreign economic sanctions	критичный | crucial	0,5	5	2,5	ограничение экономических связей | restriction of economic ties
E – экономический | economic		1			
межрегиональная конкуренция | interregional competition	важный | important	0,15	5	0,75	вероятность неконкурентоспособности | the probability of non-competitiveness
уменьшение государственной безвозмездной поддержки из федерального бюджета | reduction of state gratuitous support from the federal budget	очень важный | very important	0,15	5	0,75	зависимость некоторых сфер деятельности региона от федерального бюджета | dependence of some areas of the region's activities on the federal budget
бюджетное финансирование развития предприятий оборонно-промышленного комплекса | budgetary financing of the development of the military-industrial complex enterprises	важный | important	0,105	3	0,315	повышение индекса производства в оборонной сфере | increase in the index of production in the defense sector
финансирование развития экономики внешними инвесторами | financing of economic development by external investors	очень важный | very important	0,105	4	0,315	использование дополнительного источника мер поддержки экономики | using an additional source of economic support measures
размеры источников инвестирования | the size of investment sources	очень важный | very important	0,14	4	0,56	недостаток средств для обеспечения экономического роста | lack of funds to ensure economic growth
зависимость базовых отраслей от цен мирового рынка | the dependence of basic industries on world market prices	критичный | crucial	0,15	5	0,75	снижение показателей промышленного производства | decline in industrial production indicators
высокая степень импортозависимости в сельском хозяйстве | a high degree of import dependence in agriculture	критичный | crucial	0,2	5	0,75	нехватка отечественного посевного материала, угроза продовольственной безопасности | shortage of domestic seed material, threat to food security
S – социальный | social		1			
образовательные услуги | educational services	очень важный | very important	0,3	4	1,2	высокий кадровый потенциал | high personnel potential
привлечения населения в качестве источника инвестиций в развитие экономики | to attract the population as a source of investment in economic development	важный | important	0,3	3	0,9	использование внутренних резервов поддержки экономики | use of internal reserves to support the economy
незаконная миграции | illegal migration	очень важный | very important	0,4	4	1,6	усиление социальной напряженности, безработица, рост теневой экономики | increased social tension, unemployment, growth of the shadow economy

Продолжение таблицы 2 | Continuation of table 2

1	2	3	4	5	6
T – технологический | technological		1			
инновационная активность | innovative activity	очень важный | very important	0,1	4	0,4	низкая степень использования научных знаний и достижений в производственной деятельности | low degree of use of scientific knowledge and achievements in production activities
мощность производств для импортозамещения оборудования, в том числе нефтегазового | capacity of production facilities for import substitution of equipment, including oil and gas	очень важный | very important	0,1	4	0,4	возможность снижения зависимости от импорта | the possibility of reducing dependence on imports
востребованность продукции для технической модернизации материально-технической базы экономики России | demand for products for technical modernization of the material and technical base of the Russian economy	очень важный | very important	0,1	4	0,4	региональный спрос на технологические категории федерального значения | regional demand for technological categories of federal significance
структура реального сектора | structure of the real sector	критичный | crucial	0,25	5	1,25	преобладание промышленности над наукоемкими инновационными производствами | the predominance of industry over knowledge-intensive innovative industries
моральный и физический износ основных фондов | moral and physical depreciation of fixed assets	критичный | crucial	0,25	5	1,25	невозможность производства новых видов продукции на устаревшем оборудовании | the impossibility of producing new types of products on outdated equipment
конкурентоспособность основных видов продукции промышленности | competitiveness of the main types of industrial products	очень важный | very important	0,1	4	0,4	низкая эффективность механизма функционирования экономики | low efficiency of the mechanism of the economy functioning
положение малого бизнеса в производственной сфере | the position of small businesses in the manufacturing sector	важный | important	0,1	3	0,3	фактическая дискриминация малого бизнеса в производственной сфере | de facto discrimination of small businesses in the manufacturing sector
E – экологический | ecological		1			
выгодное транспортное положение | favorable transport position	существенный | significant	0,2	2	0,4	возможность транзитной экономики | the possibility of a transit economy
состояние сырьевой базы промышленности и энергетики | the state of the raw material base of industry and energy	очень важный | very important	0,6	4	2,4	ухудшение состояния | deterioration
спрос на полезные ископаемые | demand for minerals	существенный | significant	0,2	2	0,4	устойчивый спрос на никелевые руды | steady demand for nickel ores
L – правовой | legal		1			
нормативно-правовое совершенствование контроля над правонарушениями в экономической сфере | regulatory and legal improvement of control over offenses in the economic sphere	очень важный | very important	0,45	4	1,6	значительная коррупционная составляющая хозяйственных отношений | significant corruption component of economic relations
совершенствование законодательного нормирования показателей качества выпускаемой продукции | improvement of legislative regulation of product quality indicators	критичный | crucial	0,55	5	2,75	недостаточно высокое качество продукции промышленности | insufficiently high quality of industrial products

При помощи SWOT-анализа мы выделили основные угрозы экономической безопасности Воронежской области:

1. межрегиональная конкуренция;
2. уменьшение безвозмездной поддержки из федерального бюджета;
3. внешнеэкономические санкции;
4. высокая степень импортозависимости сельского хозяйства;
5. снижение эффективности и устаревание структуры реального сектора;
6. высокая степень морального и физического износа основных фондов;
7. значительные масштабы незаконной миграции;
8. недостаточная инновационная активность;
9. отсутствие или недостаточность источников инвестирования;
10. низкая конкурентоспособность основных видов промышленной продукции;
11. фактическая дискриминация малого бизнеса в производственной сфере;
12. ухудшение состояния сырьевой базы промышленности и энергетики;
13. чрезмерная зависимость базовых отраслей от цен мирового рынка;
14. значительная коррупционная составляющая хозяйственных отношений;
15. недостаточно высокое качество продукции промышленности.

Анализируя соотношения между внутренними и внешними факторами, сильными и слабыми сторонами экономики региона, мы оценили его возможные стратегические альтернативы [12–20]. По нашему мнению, стратегическими угрозами для экономической безопасности Воронежской области на долгосрочную перспективу остаются:

- чрезмерная зависимость отраслей обрабатывающей промышленности от цен мирового рынка;
- ухудшение состояния окружающей среды;
- значительная коррупционная составляющая хозяйственных отношений;
- высокая степень теневизации экономической деятельности;
- падение доходов населения;
- недостаточная скорость обновления основных фондов;
- низкая инновационная активность;
- нестабильная политическая обстановка;
- западные экономические санкции.

Заключение

Выявленные в ходе анализа угрозы выступают не только как фактор, сдерживающий экономический рост региона, но и как фактор снижения стабильности всей страны. Поэтому одной из важных функций органов государственной власти в управлении социально-экономической безопасностью региона является использование прогнозного инструментария для своевременного принятия мер. Оценка социально-экономического состояния региона, а также определение уровня его экономической безопасности позволит в дальнейшем на основании полученных данных спрогнозировать некоторые тенденции в динамике показателей, сделать предположения о возможности выхода из кризисной ситуации при текущем положении экономики. При этом отметим, что с учетом современной нестабильной экономической и политической обстановки прогнозные значения, предусмотренные Стратегией развития Воронежской области на период до 2035 года, могут значительно отличаться от реальных.

Литература

1 Хорев А.И., Горковенко Е.В., Платонова И.В. Экономическая безопасность Центрально-Черноземного региона: оценка состояния и угроз // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 3 (77). С. 368-376.

2 Горковенко Е.В., Платонова И.В. Оценка уровня экономической безопасности региона // Перспективы и проблемы инновационного развития социально-экономических систем: материалы VII национальной научно-практической конференции научных сотрудников, специалистов, преподавателей, аспирантов. 2019. С. 18-20.

3 Ali Imran, Sadiddin Ahmad, Cattaneo Andrea. Risk and resilience in agri-food supply chain SMEs in the pandemic era: a cross-country study // International Journal of Logistics Research and Applications. 2022. V. 25. doi: 10.1080/13675567.2022.2102159

4 Воронежский статистический ежегодник - 2021: стат. сб. / Воронежстат. Воронеж, 2021. 312 с.

5 Moktadir M.A., Paul S.K., Kumar A. et al. Strategic drivers to overcome the impacts of the COVID-19 pandemic: implications for ensuring resilience in supply chains // Operations Management Research. 2022. № 15. doi: 10.1007/s12063-022-00301-8

6 Воронежская область в цифрах-2022: Стат. сб. / Воронежстат. Воронеж, 2022. 84 с.

7 Абашкин В.Л., Абдрахманова Г.И., Бредихин С.В. и др. Рейтинг инновационного развития субъектов Российской Федерации. Выпуск 7; под ред. Л.М. Гохберга. М.: НИУ ВШЭ, 2021. 274 с.

8 Горковенко Е.В., Платонова И.В. Социальная безопасность региона и направления ее обеспечения // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1 (87). С. 435-442.

9 Платонова И.В., Горковенко Е.В. SWOT-анализ угроз экономической безопасности Воронежской области // Материалы LVI отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2017 год. Часть 3. 2018. С. 179.

10 Ларсаева Л.Д. Конкурентоспособность региональной экономики и ее факторы в современных условиях // Актуальные вопросы экономических наук: материалы III Междунар. науч. конф. Уфа, 2014. С. 150-153. URL: https://moluch.ru/conf/econ/archive/95/5800/

11 Барабанов А.С. Управление региональной конкурентоспособностью: монография. Вологда: ИСЭРТ РАН, 2014. 160 с.

12 Кормишкина Л.А., Семенова Н.Н. Импортозамещение - важнейшая стратегическая задача развития агропромышленного комплекса России // Дайджест-финансы. 2015. №2 (234). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/importozameschenie-vazhneyshaya-strategicheskaya-zadacha-razvitiya-agropromyshlennogo-kompleksa-rossii

13 Сазонов С.П., Федотова Г.В., Сибагатулина Л.М. Анализ государственных программ импортозамещения // Финансовая аналитика: проблемы и решения. 2016. №9 (291). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-gosudarstvennyh-programm-importozame scheniya

14 Мухамедьяров А.М., Диваева Э.А. Восприимчивость к инновациям как составляющая инновационного потенциала и фактор инновационного развития территорий // Инновации и инвестиции. 2018. № 11. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vospriimchivost-k-innovatsiyam-kak-sostavlyayuschaya-innovatsionnogo-potentsiala-i-faktor-innovatsionnogo-razvitiya-territoriy

15 Шевчук В.О. Теоретические аспекты становления инновационной модели развития экономики // Экономический вестник университета: сборник научных трудов ученых и аспирантов. 2018. № 37-1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-aspekty-stanovleniya-innovatsionnoy-modeli-razvitiya-ekonomiki

16 Akberdina V.V., Smirnova O.P. Economic security of the region: assessment and prospects // Regional economy: theory and practice. 2018. V. 16. №. 8. P. 1506-1517. doi: 10.24891/re.16.8.1506

17 Shokhnekh A.V. et al. Regional Mechanisms of Provision of Economic Security on the Platform of Infrastructure's Innovational Development // Growth Poles of the Global Economy: Emergence, Changes and Future Perspectives. Springer, Cham, 2020. P. 143-150. doi: 10.1007/978-3-030-15160-7_13

18 Hacker J.S., Huber G.A., Nichols A., Rehm P. et al. The economic security index: A new measure for research and policy analysis // Review of Income and Wealth. 2014. V. 60. P. S5-S32. doi: 10.1111/roiw.12053

19 Shpak N., Kulyniak I., Gvozd M., Pyrog O. et al. Shadow economy and its impact on the public administration: aspects of financial and economic security of the country's industry // Administratie si Management Public. 2021. №. 36. P. 81-101.

20 Kazakovtseva M.V., Gumarova F.Z., Tsaregorodtsev E.I. Forming of competitive advantages of regional agrarian and industrial complex as mechanism of ensuring economic safety // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2015. V. 6. №. 3 S7. P. 213. doi: 10.5901/mjss.2015.v6n3s7p213

References

1 Khorev A.I., Gorkovenko E.V., Platonova I.V. Economic security of the Central Chernozem region: assessment of the state and threats. Proceedings of the VSUET. 2018. vol. 80. no. 3 (77). pp. 368-376. (In Russian).

2 Gorkovenko E.V., Platonova I.V. Assessment of the level of economic security of the region. Prospects and problems of innovative development of socio-economic systems: materials of the VII National scientific and practical conference of researchers, specialists, teachers, postgraduates. 2019. pp. 18-20. (in Russian).

3 Ali Imran, Sadiddin Ahmad, Cattaneo Andrea. Risk and resilience in agri-food supply chain SMEs in the pandemic era: a cross-country study. International Journal of Logistics Research and Applications. 2022. vol. 25. doi: 10.1080/13675567.2022.2102159

4 Voronezh Statistical Yearbook - 2021: stat. collection / Voronezhstat. Voronezh, 2021. 312 p. (in Russian).

5 Moktadir M.A., Paul S.K., Kumar A. et al. Strategic drivers to overcome the impacts of the COVID-19 pandemic: implications for ensuring resilience in supply chains. Operations Management Research. no 15. doi: 10.1007/s12063-022-00301-8

6 Voronezh Region in numbers-2022: stat. collection / Voronezhstat. Voronezh, 2022. 84 p. (in Russian).

7 Abashkin V.L., Abdrakhmanova G.I., Bredikhin S.V. et al. Rating of innovative development of the subjects of the Russian Federation. Issue 7. M., HSE, 2021. 274 p. (in Russian).

8 Gorkovenko E.V., Platonova I.V. Social security of the region and directions of its provision. Proceedings of VSUET. 2021. Vol. 83. no. 1 (87). pp. 435-442. (in Russian).

9 Platonova I.V., Gorkovenko E.V. SWOT-analysis of threats to the economic security of the Voronezh region. Materials of the LVI reporting scientific conference of VSUET teachers and researchers for 2017. Part 3. 2018. pp. 179. (in Russian).

10 Larsaeva L.D. Competitiveness of the regional economy and its factors in modern conditions. Actual issues of economic sciences: materials of the III International Scientific Conference. Ufa, 2014. pp. 150-153. Available at: https://moluch.ru/conf/econ/archive/95/5800 (in Russian).

11 Barabanov A.S. Management of regional competitiveness: monograph; under the scientific direction of Doctor of Economics T.V. Uskova. Vologda, ISERT RAS, 2014. 160 p. (in Russian).

12 Kormishkina L.A., Semenova N.N. Import substitution is the most important strategic task of the development of the Russian agro-industrial complex. Digest-finance. 2015. no. 2 (234). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/importozameschenie-vazhneyshaya-strategicheskaya-zadacha-razvitiya-agropromyshlennogo-kompleksa-rossii (in Russian).

13 Sazonov S.P., Fedotova G.V., Sibagatulina L.M. Analysis of state import substitution programs. Financial analytics: problems and solutions. 2016. no. 9 (291). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-gosudarstvennyh-programm-importozameschenia (in Russian).

14 Mukhamedyarov A.M., Divaeva E.A. Susceptibility to innovation as a component of innovation potential and a factor of innovative development of territories. Innovations and investments. 2018. no. 11. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/vospriimchivost-k-innovatsiyam-kak-sostavlyayuschaya-innovatsionnogo-potentsiala-i-faktor-innovatsionnogo-razvitiya-territoriy (in Russian).

15 Shevchuk V.O. Theoretical aspects of the formation of an innovative model of economic development. Economic Bulletin of the University: a collection of scientific papers of scientists and postgraduates. 2018. no. 37-1. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-aspekty-stanovleniya-innovatsionnoy-modeli-razvitiya-ekonomiki (in Russian).

16 Akberdina V.V., Smirnova O.P. Economic security of the region: assessment and prospects. Regional economy: theory and practice. 2018. vol. 16. no. 8. pp. 1506-1517. doi: 10.24891/re.16.8.1506

17 Shokhnekh A.V. et al. Regional Mechanisms of Provision of Economic Security on the Platform of Infrastructure's Innovational Development. Growth Poles of the Global Economy: Emergence, Changes and Future Perspectives. Springer, Cham, 2020. pp. 143-150. doi: 10.1007/978-3-030-15160-7_13

18 Hacker J.S., Huber G.A., Nichols A., Rehm P. et al. The economic security index: A new measure for research and policy analysis. Review of Income and Wealth. 2014. vol. 60. pp. S5-S32. doi: 10.1111/roiw.12053

19 Shpak N., Kulyniak I., Gvozd M., Pyrog O. et al. Shadow economy and its impact on the public administration: aspects of financial and economic security of the country's industry. Administratie si Management Public. 2021. no. 36. pp. 81-101.

20 Kazakovtseva M.V., Gumarova F.Z., Tsaregorodtsev E.I. Forming of competitive advantages of regional agrarian and industrial complex as mechanism of ensuring

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

Елизавета А. Рогова студент, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, rogowaelizaveta@mail.ru

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

Elizaveta A. Rogova student, economic security and financial monitoring department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, rogowaelizaveta@mail.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 20/03/2022 **После редакции** 12/04/2022 **Принята в печать** 19/05/2022

Received 20/03/2022 **Accepted in revised** 12/04/2022 **Accepted** 19/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-368-373 Оригинальная статья/Research article
УДК 360 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Ключевая проблематика энергопотребления российских промышленных регионов

Галина С. Армашова-Тельник [1] atgs@yandex.ru 0000-0001-9370-5875

1 Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, ул. Большая Морская, 67 А, Санкт-Петербург, 190000, Россия

Аннотация. В любой стране мира вопросы развития энергетической отрасли сегодня являются весьма резонансными в виду зависимости от нее всех субъектов промышленности и простых домохозяйств. Возрастающие объемы потребления электрической и прочих видов энергии в мировом масштабе в производственных целях обосновывают важность поддержания энергетических источников в рабочем состоянии. В то же время ограниченность количества и невысокие темпы восстановления соответствующих природных ресурсов как невозобновляемых источников энергии, подтверждает необходимость качественной модернизации способов их использования. Кроме этого, особую значимость приобретают вопросы оптимизации энергопотребления и достижения более эффективного соотношения показателей выработки энергии и ее использования. Так, увеличение возобновляемых источников энергии в структуре энергопотребления промышленных объектов регионов, а также децентрализация энергорынка будет иметь благоприятные экономические последствия и окажет влияние на рост экономики страны в целом в текущих условиях проблематика энергозатрат промышленного сектора является неоднозначной и требует особых подходов в решении задач оптимизации, учитывающих современные тенденции энергопотребления, а также специфику географической локации региона.

Ключевые слова: энергоресурсы, энергопотребление, энергоменеджмент региона, промышленность регионов, источники энергии.

Key issues of energy consumption in Russian industrial regions

Galina S. Armashova-Telnik [1] atgs@yandex.ru 0000-0001-9370-5875

1 Saint-Petersburg State University of Aerospace InstrumentationSUAI, 67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

Abstract. In any country of the world, the issues of the development of the energy industry today are very resonant in view of the dependence on it of all subjects of industry and ordinary households. The increasing volumes of consumption of electric and other types of energy on a global scale for production purposes justify the importance of maintaining energy sources in working condition. At the same time, the limited quantity and low rates of restoration of the corresponding natural resources as non-renewable energy sources confirm the need for qualitative modernization of the ways of their use. In addition, the issues of optimizing energy consumption and achieving a more efficient ratio of energy production and its use are of particular importance. Thus, an increase in renewable energy sources in the structure of energy consumption of industrial facilities in the regions, as well as the decentralization of the energy market will have favorable economic consequences and will have an impact on the growth of the country's economy as a whole. In the current conditions, the problems of energy consumption in the industrial sector are ambiguous and require special approaches to solving optimization problems, taking into account current trends in energy consumption, as well as the specifics of the geographical location of the region.

Keywords: energy resources, energy consumption, energy management of the region, industry of the regions, energy sources.

Введение

Основная и наиболее острая проблема энергопотребления российском промышленным комплексом связана с повышением энергоэффективности. Стоит отметить, что данная проблема не является исключительно российской. Во всем мире вопросы энергоэффективности и энергосбережения представляют собой крайне актуальную тему. Сокращение энергопотребления благоприятно влияет на развитие производства. За счет экономии энергоресурсов, высвобождаются дополнительные финансовые средства, что предоставляет предприятию возможность реализации выгод. Однако ряд исследователей, в частности Доренская И.Н. и Тевяшова А.С., рассматривая проблемы энергопотребления и энергосбережения предприятий в разрезе отраслей экономики [1, 2] указывают на то, что сегодня объем использования энергии – более чем достаточен для функционирования производств без потери текущего уровня эффективности промышленности, т. е. избыточен. Поэтому реализация дополнительных управленческих проектов в данном направлении является как возможностью увеличения экономических выгод, так и направлением решения проблемы исчерпаемости природных ресурсов, которая представляет сегодня значимую угрозу потенциалу промышленного сектора

Обсуждение

В качестве основных барьеров для повышения энергоэффективности выделяют антропологический, информационный, финансовый и организационный (рисунок 1). С точки зрения технических специалистов, таких как Копейкин Б.В., Смирнов Е.А. и Багиев Г.С., энергосбережение «…нацелено на экономию топлива за счет экономии конкретных видов энергии по этапам ее переработки»

Для цитирования
Армашова-Тельник Т.С. Ключевая проблематика энергопотребления российских промышленных регионов // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 368–373. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-368-373

For citation
Armashova-Telnik T.S. Key issues of energy consumption in Russian industrial regions. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 368–373. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-368-373

© 2022, Армашова-Тельник Т.С. / Armashova-Telnik T.S.

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

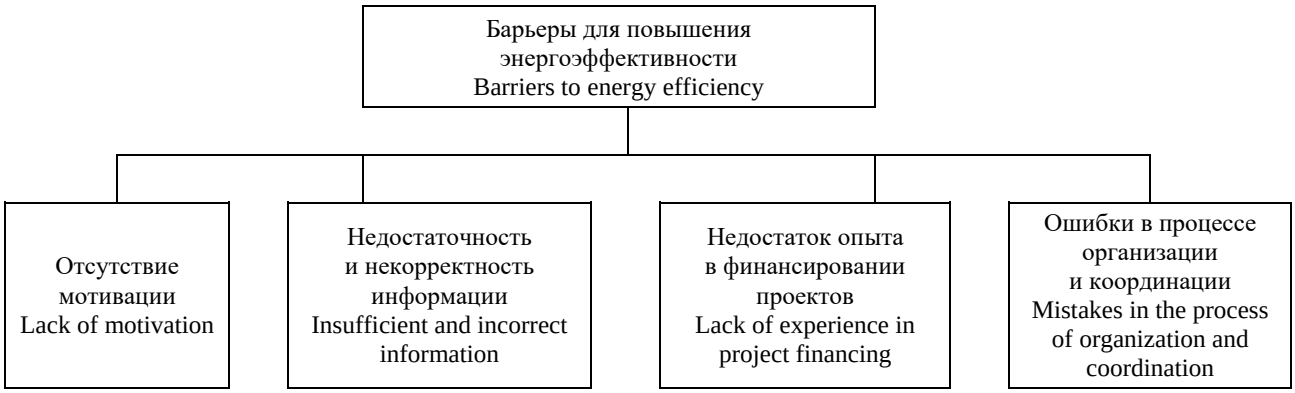


Рисунок 1. Основные барьеры для повышения энергоэффективности промышленных предприятий
Figure 1. The main barriers to improving the energy efficiency of industrial enterprises

Более полно данную категорию определяет следующая дефиниция, представленная в работе Данилова О.Л. и Костюченко П.А. Эксперты определяют энергосбережение как «…систему правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер направленных не только на эффективное использование первичных энергетических ресурсов, но и на вовлечение в хозяйственный оборот для снижения потребления органического топлива нетрадиционных и возобновляемых источников энергии» [20].

Проблема энергоэффективности России выделена в числе национальных приоритетов. Основным регулирующим данную сферу законом является Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ. Данный нормативно-правовой акт стимулирует субъекты РФ и муниципальные образования к формированию на региональном уровне и наиболее полному выполнению соответствующих программ [1, 3].

Однако, результаты мероприятий, направленных на энергосбережение, в российской промышленной не дотягивают до мировых норм. Это связано с отсутствием:

- критериев оценки производственных процессов предприятий;
- открытых данных по результатам энергоэффективности каждого предприятия;
- закрепленных требований о ежегодном повышении энергоэффективности для предприятий, которые построены более 15 лет назад;
- профессиональных институтов по повышению энергоэффективности промышленного сектора экономики;
- унифицированных форм отчетности по показателям, связанным с повышением энергоэффективности.

По данным World Economic Outlook Database, в рейтинге государств по уровню энергоэффективности РФ до сих пор не числится даже в первой сотне, уступая в этом параметре наибольшему количеству лидеров экономического развития. При этом коэффициент энергоемкости ВВП в России в 1,5 раза выше аналогичного коэффициента США и среднего по миру и в 2 раза выше показателя ведущих европейских стран [2, 4].

На уровне предприятий по настоящему моменту не решен целый ряд значимых проблем. В их число входит:

- невысокий уровень надежности энергоснабжения;
- высокая энергоемкость выпускаемой продукции;
- низкая эффективность генерации, транспортировки и распределения энергоресурсов;
- отсутствие обновлений морально и физически устаревших основных фондов и производственных технологий;
- недостаток информации о работе энергетической инфраструктуры и ее некорректность (искажения в представленных данных) [5].

Далее поясним, что под энергоемкостью понимают то количество потребленной энергии и (или) топлива в рамках основных и вспомогательных технологических процессов, которое является достаточным для осуществления производственного процесса на предприятии, учитывая его конкретную технологическую систему. Поскольку высокая энергоемкость продукции прямым образом влияет на рост себестоимости выпускаемой продукции и потерю ценового конкурентного преимущества, ее стоит признать основной из перечисленных проблем.

Ключевые причины неэффективного использования энергоресурсов в промышленном секторе в большей степени определяются не административными, а технологическими факторами

(рисунок 2). В соответствии с ГОСТом Р 51750–2001 высокие энергозатраты производства, увеличивающие энергоемкость продукции, возможны по следующим причинам [6, 7]:

- невыполнение правил и требований, касающихся режима работы систем электроснабжения;
- несоблюдение регламента производственного процесса;
- отсутствие или нарушение требований к организации и порядку проведения работ по испытаниям;
- завышенная или заниженная загрузка основного технологического оборудования;
- методические, а также вычислительные погрешности в расчетах энергобалансов;
- нарушение требований температурного режима и режима влажности внутри производственных помещений, где установлено и функционирует производственное оборудование;
- некорректные результаты оценки энергоемкости продукции;
- неиспользованный потенциал вторичных энергоресурсов.

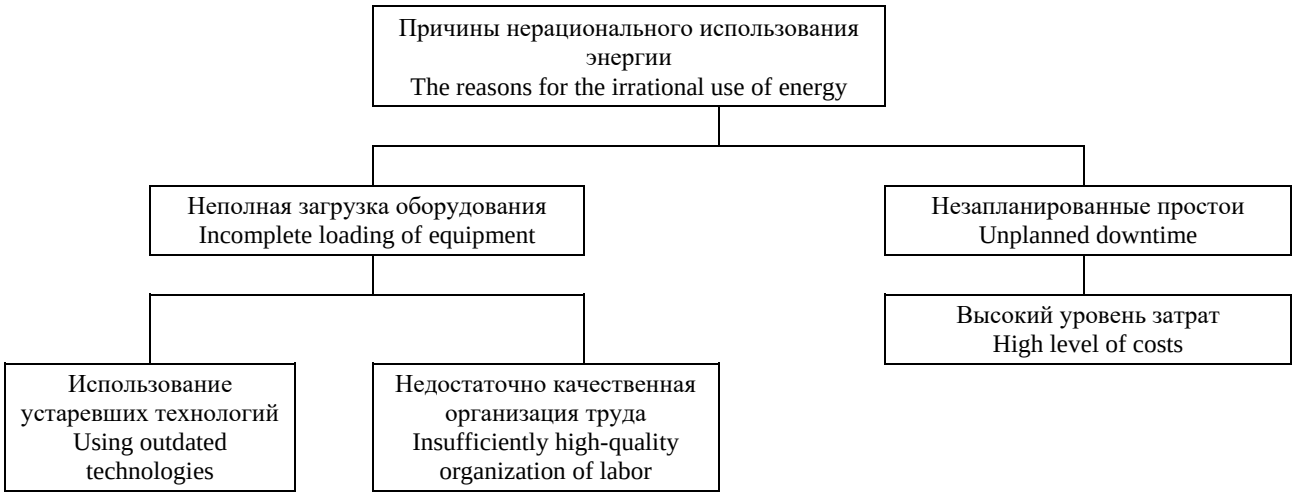


Рисунок 2. Причины нерационального использования энергии российскими промышленными предприятиями

Figure 2. The reasons for the irrational use of energy by Russian industrial enterprises

Энергоэффективность тесно взаимосвязана с технологиями производства, поэтому при замене существующего оборудования на энергоэффективное она логичным образом должна повышаться. К сожалению, степень износа основных фондов в российском промышленном секторе в настоящее время гораздо выше, чем в развитых стран. Это связано с нехваткой оборотных средств, отсутствием возможности привлечения заемного финансирования в достаточном объеме, а также отсутствием системного государственного финансирования и субсидирования.

Темпы внедрения более эффективных методов использования энергии также зависят от наличия финансовых ресурсов у потребителей, поскольку повышение себестоимости напрямую влияет на рост цены на продукцию. Так, энергетические затраты являются одним из наиболее значимых инфляционных факторов. По оценкам экспертов, повышение их стоимости для предприятия в 2 раза вызывает рост цен на потребительские и промышленные товары на 15–20% [8].

Кроме этого, каждое предприятие ограничено в направлениях и объеме использования своих финансовых средств. Значительную проблему для промышленного сектора представляет необходимость выбора между инвестированием в расширение масштабов производственной деятельности предприятия и в мероприятия, направленные на повышение эффективности использования энергоресурсов. Зачастую на практике столь необходимые инвестиции так и не поступают в проекты по энергосбережению, особенно в тех случаях, когда существуют прочие варианты вложений с более высокой и очевидной доходностью.

Также нередки случаи, когда внутреннее инвестирование средств в повышение эффективности предприятия оказывается вообще невыгодным мероприятием с точки зрения краткосрочных целей. Хотя, в то же время, сам проект может быть выгоден для региона и государства в целом. На многих промышленных предприятиях существует исторически сложившаяся практика, в рамках которой менеджеры уделяют особое внимание лишь первоначальным инвестиционным затратам, а текущие издержки остаются без контроля.

Однако, по мере «взросления» предприятия, на передний план выходят именно текущие издержки, что должно побуждать топ-менеджмент особенно внимательно отнестись к проблеме

выбора наилучших вариантов эффективного использования энергии и прочим сопутствующим факторам [4, 9]. В настоящее время во всем мире отмечается диспропорция в объемах выработки и потребления электроэнергии. В таблице 1 систематизированы данные по обоим показателям по состоянию на 2020 год в разрезе наиболее крупных стран-производителей электроэнергии.

Таблица 1.

Расчет доли потребления электроэнергии в объеме выработки по крупнейшим странам-производителям электроэнергии

Table 1.

Calculation of the share of electricity consumption in the volume of generation by the largest electricity producing countries

Страна Country	Выработка, ТВт • ч Generation, TWh	Потребление, ТВт • ч Consumption, TWh	Доля потребления электроэнергии в выработке,% Share of electricity consumption in generation,%
Китай China	7798	6752	86,6
США USA	4262	3842	90,1
Индия India	1557	1191	76,5
Россия Russia	1092	906	83,0
Япония Japan	1011	905	89,5
Канада Canada	648	556	85,8
Бразилия Brazil	614	530	86,3
Германия Germany	572	489	85,5

Данные таблицы 3, демонстрируют, что Россия имеет довольно низкую долю объема потребления электроэнергии в ее выработке (83%), что также свидетельствует о неэффективном использовании ресурса. Более низкий показатель (76,5%) имеет только Индия.

Объем выработки электроэнергии зависит от множества разнообразных факторов, важное место среди которых занимает затрачивание энергоресурсов не на основные, а вспомогательные виды работ, несвязанные с обеспечением бесперебойного и эффективного производства. Итоговая фактическая сумма издержек превышает оптимальное плановое значение, что впоследствии негативно отражается на рентабельности производства. Таким образом, предприятие неэффективно распоряжается финансовыми средствами.

Также существенной проблемой энергопотребления промышленного сектора в России является регулярный рост стоимости энергии. В качестве основных причин роста сетевых тарифов можно выделить следующие:

- недобросовестность работников территориальных сетевых организаций, прямое мошенничество;
- ошибки системы тарифицирования и человеческий фактор;
- нерешенная задача перекрестного субсидирования и перераспределение нагрузки по оплате электроэнергии между различными группами потребителей;
- непроведение необходимых контрольных мероприятий в целях надзора за расходованием средств на реализацию инвестиционных проектов в области энергопотребления.

В макроэкономическом масштабе рост цен на энергетические ресурсы стимулирует привлечение инвестиций в альтернативные источники энергии, что оценивается как благоприятная тенденция, однако, вместе с тем, он замедляет основные индикаторы социально-экономического развития [2].

Поскольку промышленность расходует энергетические ресурсы с минимальным количеством потерь относительно домохозяйств, удельная стоимость энергии для промышленных предприятий становится меньше. Однако, пока существует перекрестное субсидирование это не приносит промышленности ощутимых выгод – часть платежного бремени переносится с населения на предприятия [10]. Высокая конечная цена на электроэнергию все чаще побуждает крупных промышленных потребителей строить собственные генерирующие мощности, которые, несмотря на немалую стоимость их разработки, формирования и обслуживания, предоставляют возможность предприятию максимально отказаться от подключения к единой энергосистеме. При этом, нужно признать, что электроэнергия, произведенная в ЕЭС, имеет меньшую себестоимостью из-за положительного эффекта масштабирования.

В свою очередь, отказ от подключения и исключение предприятия из списка плательщиков за энергию, приводит к увеличению тарифной нагрузки для всех остальных потребителей сети. Так, можно констатировать, что данное решение нельзя определить как положительное для системы. Кроме этого, процесс приобретает замкнутый и постоянно ускоряющийся характер.

Заключение

В условиях глобальной перестройки экономико-технологического уклада жизни социума и активного перехода к альтернативным источникам энергии особую важность представляет анализ текущего состояния российского

энергопотребления, а также особенностей структуры генерации и потребления энергоресурсов.

Важно также регулярно актуализировать оценку перспектив их оптимизации в условиях решения проблемы энергоэффективности, основанную на максимально прозрачной и полной информации в целом по Российской Федерации, и по отдельным ее регионам в пространственно-временном разрезе.

Поскольку Россия является одним из крупнейших мировых производителей и потребителей энергоресурсов (преимущественно в промышленном секторе) сосредоточенность на проблеме энергосбережения – необходимое условие для позиционирования страны в качестве развивающейся. С этой целью ведется работа на самых разных уровнях контроля за использованием энергоресурсов – начиная с корпоративного (энергоменеджмента на предприятии) и заканчивая государственным (путем совершенствования нормативно-правовой базы по данному вопросу и формирования целевых программ).

Резюмируя, отметим, что структура российского энергопотребления в промышленном секторе отличается от аналогичного среднемирового показателя. В структуре энергосектора России до сих пор исключительно мала доля возобновляемых источников энергии. Основные фонды большинства российских предприятий морально и технически устарели, что не позволяет использовать энергию эффективно.

Литература

1 Армашова-Тельник Г.С Особенности управления приобретением электроэнергии // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 1 (75). С. 283–287. doi: 10.20914/2310-1202-2018-1-283-287

2 Дзюба А.П., Соловьева И.А. Механизмы управления спросом на энергоресурсы в промышленности // Journal of new economy. 2020. Т. 21. №. 3. С. 175–195.

3 Киршина И.А. Выявление и классификация показателей энергетической эффективности предприятия как основа рационального расходования топливно-энергетических ресурсов // Экономика. Информатика. 2020. Т. 47. №. 2. С. 308–316.

4 Армашова-Тельник Г.С. Конкурентно-рыночное пространство в контексте потребности роста конкурентоспособности российской систем хозяйствования // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 2 (88). С. 259–264. doi: 10.20914/2310-1202-2021-2-259-264

5 Воеводин В.В., Розов Д.В. обоснованность применения возобновляемых источников энергии в промышленных предприятиях // экономика, бизнес, инновации. 2019. С. 83–86.

6 Любимова Е.В. Электроэнергетика: экономические оттенки российских трендов // Всероссийский экономический журнал ЭКО. 2019. №. 9 (543). С. 8–22.

7 Комков Н.И. Анализ и оценка перспектив реализации Стратегии научнотехнологического развития России // Проблемы прогнозирования. 2019. №. 5 (176).

8 Каныгина О.В., Корохоев М.М. Выбор и обоснование приоритетных направлений в области совершенствования энергетического менеджмента на предприятии // Региональные проблемы преобразования экономики. 2019. №. 10 (108). С. 217–224.

9 Молчанов М.В., Толкачев Я.М., Толкачев В.М., Софронов В.С. Анализ глобальных вызовов в пределах конкуренции возобновляемых источников энергии с традиционными // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Энергетика. Технологии, аппараты и машины жизнеобеспечения». 2021. С. 125–140.

10 Немов В.Ю., Филимонова И.В., Проворная И.В., Комарова А.В. региональные особенности влияния межтопливной конкуренции на энергопотребление // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2020. №. 6. С. 52–55.

11 Gutiérrez-Alcaraz G., Galván E., González-Cabrera N., Javadi M.S. Renewable energy resources short-term scheduling and dynamic network reconfiguration for sustainable energy consumption // Renewable and sustainable energy reviews. 2015. V. 52. P. 256-264. doi: 10.1016/j.rser.2015.07.105

12 Ahmad T., Chen H., Shah W. A. Effective bulk energy consumption control and management for power utilities using artificial intelligence techniques under conventional and renewable energy resources // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2019. V. 109. P. 242-258. doi: 10.1016/j.ijepes.2019.02.023

13 Mirza F. M., Kanwal A. Energy consumption, carbon emissions and economic growth in Pakistan: Dynamic causality analysis // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. V. 72. P. 1233-1240. doi: 10.1016/j.rser.2016.10.081

14 Lee C.C., Hussain J., Chen Y. The optimal behavior of renewable energy resources and government's energy consumption subsidy design from the perspective of green technology implementation // Renewable Energy. 2022. V. 195. P. 670-680. doi: 10.1016/j.renene.2022.06.070

15 Chen X. et al. Understanding the sustainable consumption of energy resources in global industrial sector: Evidences from 114 countries // Environmental Impact Assessment Review. 2021. V. 90. P. 106609. doi: 10.1016/j.eiar.2021.106609

16 Sharvini S.R., Noor Z.Z., Chong C.S., Stringer L.C.et al. Energy consumption trends and their linkages with renewable energy policies in East and Southeast Asian countries: Challenges and opportunities // Sustainable Environment Research. 2018. V. 28. №. 6. P. 257-266. doi: 10.1016/j.serj.2018.08.006

17 Yemelyanov O., Symak A., Petrushka T., Zahoretska O. et al. Changes in energy consumption, economic growth and aspirations for energy independence: Sectoral analysis of uses of natural gas in Ukrainian economy // Energies. 2019. V. 12. №. 24. P. 4724. doi: 10.3390/en12244724

18 Opeyemi B.M. Path to sustainable energy consumption: The possibility of substituting renewable energy for non-renewable energy // Energy. 2021. V. 228. P. 120519. doi: 10.1016/j.energy.2021.120519

19 Onakoya A.B. et al. Energy consumption and Nigerian economic growth: An empirical analysis // European scientific journal. 2013. V. 9. №. 4.

20 Yasmeen H., Tan Q., Zameer H., Vo X.V. et al. Discovering the relationship between natural resources, energy consumption, gross capital formation with economic growth: can lower financial openness change the curse into blessing // Resources Policy. 2021. V. 71. P. 102013. doi: 10.1016/j.resourpol.2021.102013

References

1 Armashova-Telnik G.S. Features of Electric Power Acquisition Management. Proceedings of VSUET. 2018. vol. 80. no. 1 (75). pp. 283–287. doi: 10.20914/2310-1202-2018-1-283-287 (in Russian).

2 Dzyuba A.P., Solovyova I.A. Mechanisms for managing demand for energy resources in industry. Journal of new economy. 2020. vol. 21. no. 3. pp. 175–195. (in Russian).

3 Kirshina I.A. Identification and classification of indicators of energy efficiency of an enterprise as a basis for rational consumption of fuel and energy resources. Economy. Computer science. 2020. vol. 47. no. 2. pp. 308–316. (in Russian).

4 Armashova-Telnik G.S. Competitive market space in the context of the need to increase the competitiveness of the Russian economic systems. Proceedings of VSUET. 2021. vol. 83. no. 2 (88). pp. 259–264. doi: 10.20914/2310-1202-2021-2-259-264 (in Russian).

5 Voevodin V.V., Rozov D.V. the validity of the use of renewable energy sources in industrial enterprises. Economics, business, innovations. 2019. pp. 83–86. (in Russian).

6 Lyubimova E.V. Electric power industry: economic shades of Russian trends. All-Russian Economic Journal ECO. 2019. no. 9 (543). pp. 8–22. (in Russian).

7 Komkov N.I. Analysis and evaluation of prospects for the implementation of the Strategy of scientific and technological development of Russia. Forecasting problems. 2019. no. 5 (176). (in Russian).

8 Kanygina O.V., Korokhoev M.M. Selection and justification of priority directions in the field of improving energy management at the enterprise. Regional problems of economic transformation. 2019. no. 10 (108). pp. 217–224. (in Russian).

9 Molchanov M.V. et al. analysis of global challenges within the competition of renewable energy sources with traditional. The state and prospects of development of modern science in the direction of "Energy. Technologies, devices and life support machines". 2021. pp. 125–140. (in Russian).

10 Nemov V.Yu. et al. regional peculiarities of the influence of inter-fuel competition on energy consumption. High-tech technologies for the development and use of mineral resources. 2020. no. 6. pp. 52–55. (in Russian).

11 Gutiérrez-Alcaraz G., Galván E., González-Cabrera N., Javadi M.S. Renewable energy resources short-term scheduling and dynamic network reconfiguration for sustainable energy consumption. Renewable and sustainable energy reviews. 2015. vol. 52. pp. 256-264. doi: 10.1016/j.rser.2015.07.105

12 Ahmad T., Chen H., Shah W. A. Effective bulk energy consumption control and management for power utilities using artificial intelligence techniques under conventional and renewable energy resources. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2019. vol. 109. pp. 242-258. doi: 10.1016/j.ijepes.2019.02.023

13 Mirza F. M., Kanwal A. Energy consumption, carbon emissions and economic growth in Pakistan: Dynamic causality analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. vol. 72. pp. 1233-1240. doi: 10.1016/j.rser.2016.10.081

14 Lee C.C., Hussain J., Chen Y. The optimal behavior of renewable energy resources and government's energy consumption subsidy design from the perspective of green technology implementation. Renewable Energy. 2022. vol. 195. pp. 670-680. doi: 10.1016/j.renene.2022.06.070

15 Chen X. et al. Understanding the sustainable consumption of energy resources in global industrial sector: Evidences from 114 countries. Environmental Impact Assessment Review. 2021. vol. 90. pp. 106609. doi: 10.1016/j.eiar.2021.106609

16 Sharvini S.R., Noor Z.Z., Chong C.S., Stringer L.C. et al. Energy consumption trends and their linkages with renewable energy policies in East and Southeast Asian countries: Challenges and opportunities. Sustainable Environment Research. 2018. vol. 28. no. 6. pp. 257-266. doi: 10.1016/j.serj.2018.08.006

17 Yemelyanov O., Symak A., Petrushka T., Zahoretska O. et al. Changes in energy consumption, economic growth and aspirations for energy independence: Sectoral analysis of uses of natural gas in Ukrainian economy. Energies. 2019. vol. 12. no. 24. pp. 4724. doi: 10.3390/en12244724

18 Opeyemi B.M. Path to sustainable energy consumption: The possibility of substituting renewable energy for non-renewable energy. Energy. 2021. vol. 228. pp. 120519. doi: 10.1016/j.energy.2021.120519

19 Onakoya A.B. et al. Energy consumption and Nigerian economic growth: An empirical analysis. European scientific journal. 2013. vol. 9. no. 4.

20 Yasmeen H., Tan Q., Zameer H., Vo X.V. et al. Discovering the relationship between natural resources, energy consumption, gross capital formation with economic growth: can lower financial openness change the curse into blessing. Resources Policy. 2021. vol. 71. pp. 102013. doi: 10.1016/j.resourpol.2021.102013

Сведения об авторах

Галина С. Армашова-Тельник к.э.н., доцент, кафедра Программно-целевого управления в приборостроении, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, ул. Большая Морская, 67, г. Санкт-Петербург, 190000, Россия, atgs@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-9370-5875

Information about authors

Galina S. Armashova-Telnik Cand. Sci. (Econ.), associate professor, program-target management in instrumentation department, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, st. Bolshaya Morskaya, 67, St. Petersburg, 190000, Russia, atgs@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-9370-5875

Вклад авторов

Галина С. Армашова-Тельник написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Galina S. Armashova-Telnik 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 15/04/2022	**После редакции** 06/05/2022	**Принята в печать** 03/06/2022
Received 15/04/2022	**Accepted in revised** 06/05/2022	**Accepted** 03/06/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-374-386 Оригинальная статья/Research article
УДК 338.366.053.3:664.664 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Оценка экономической целесообразности и рыночной перспективы производства мучных изделий с добавлением семян льна и осветленного томатного сока

Юлия И. Слепокурова [1] yuliya.orobinskaya@mail.ru 0000-0002-3707-3882
Ирина М. Жаркова [1] zharir@mail.ru 0000-0001-8662-4559
Дмитрий П. Ефремов [1] smkaltai@mail.ru 0000-0001-6234-8174
Инесса В. Плотникова [1] plotnikova_2506@mail.ru 0000-0001-5959-6652
Ирина Н. Василенко [1] Irina_NW@bk.ru 0000-0002-2899-5455
Данил С. Иванчиков [1] ivanchikov_99@mail.ru 0000-0001-9814-6005

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

Аннотация. Статья посвящена оценке ожидаемого экономического эффекта от внедрения в производство разработанных инновационных мучных изделий (хлеб из пшеничной муки с пониженным содержанием соли, безглютеновый кекс). На основании анализа современного состояния и перспектив развития хлебопекарной промышленности предлагается, используя методы диверсификации, осуществить расширение ассортимента вырабатываемых мучных изделий за счет нетрадиционных рецептурных компонентов растительного происхождения, в частности, продуктов переработки плодов томатов и семян льна масличного. Авторские инновационные решения, направлены на повышение потребительских свойств продукции, изменение химического состава, а также повышение конкурентоспособности изделий и рационализации использования базовых ресурсов (материальные, финансовые). Все это, в конечном итоге, будет способствовать увеличению показателя эффективности отечественного хлебопекарного производства. Предлагается использовать новые подходы к расчету эффективности процесса производства и сбыта инновационной продукции на основе оценки показателей стоимости реализации и прибыли исходя из заданного минимального уровня рентабельности в 20 %. Кроме того, приведен сравнительный анализ ключевых показателей производства мучных изделий по традиционной технологии и модифицированной. Расчеты показали, что значение экономической эффективности реализации 1 т разработанного хлеба пшеничного с пониженным содержанием соли и со сниженным гликемическим индексом «Ароматный» составит 10,50 – 12,44 тыс. р., хлеба пшеничного с семенами льна и осветленным томатным соком «Лёня» – 12,87 – 16,47 тыс. р., безглютеновых кексов «Фантазия» – 27,73 – 29,35 тыс. р. Полученные результаты убедительно свидетельствуют об экономической эффективности и целесообразности внедрения в промышленное производство разработанных инновационных технологий мучных изделий.

Ключевые слова: хлебобулочные и мучные продукты, пищевая ценность, инновации, диверсификация, конкурентоспособность, экономическая эффективность.

Assessment of economic feasibility and market prospects for the production of flour products with the addition of flax seeds and clarified tomato juice

Yulia I. Slepokurova [1] yuliya.orobinskaya@mail.ru 0000-0002-3707-3882
Irina M. Zharkova [1] zharir@mail.ru 0000-0001-8662-4559
Dmitriy P. Efremov [1] smkaltai@mail.ru 0000-0001-6234-8174
Inessa V. Plotnikova [1] plotnikova_2506@mail.ru 0000-0001-5959-6652
Irina N. Vasilenko [1] Irina_NW@bk.ru 0000-0002-2899-5455
Danil S. Ivanchikov [1] ivanchikov_99@mail.ru 0000-0001-9814-6005

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

Abstract. The article is devoted to the assessment of the expected economic effect from the introduction of the developed innovative flour products into production (bread made of wheat flour with a reduced salt content, gluten-free cupcake). Based on the analysis of the current state and prospects for the development of the bakery industry, it is proposed, using diversification methods, to expand the range of flour products produced using non-traditional prescription components of vegetable raw materials, in particular, products of processing of tomato fruits and oilseed flax seeds. The author's innovative solutions are aimed at improving the consumer properties of the product by changing the chemical composition, as well as increasing the competitiveness of the product and rationalizing the use of basic resources (material, financial). All this, in the end, will contribute to an increase in the efficiency of domestic bakery production. It is proposed to use new approaches to calculating the efficiency of the production and marketing of innovative products based on the assessment of the cost of sales and profit based on a given minimum level of profitability of 20%. In addition, a comparative analysis of the key indicators of the production of flour products using traditional and modified technology is given. Calculations have shown that the value of the economic efficiency of the sale of 1 ton of developed wheat bread with a reduced salt content and with a reduced glycemic index "Aromatic" will be 10.50 – 12.44 thousand. wheat bread with flax seeds and clarified tomato juice "Lenya" – 12.87 – 16.47 thousand rubles, gluten-free cupcakes "Fantasia" – 27.73 – 29.35 thousand rubles. The results obtained convincingly indicate the economic efficiency and expediency of introducing the developed innovative technologies of flour products into industrial production.

Keywords: bakery and flour products, nutritional value, innovation, diversification, competitiveness, economic efficiency.

Для цитирования
Слепокурова Ю.И., Жаркова И.М., Ефремов Д.П., Плотникова И.В., Василенко И.Н., Иванчиков Д.В. Оценка экономической целесообразности и рыночной перспективы производства мучных изделий с добавлением семян льна и осветленного томатного сока // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 374–386. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-374-386

For citation
Slepokurova Y.I., Zharkova I.M., Efremov D.P., Plotnikova I.V., Vasilenko I.N., Ivanchikov D.V. Assessment of economic feasibility and market prospects for the production of flour products with the addition of flax seeds and clarified tomato juice. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 374–386. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-374-386

© 2022, Слепокурова Ю.И. и др. / Slepokurova Y.I. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

В современных условиях рыночного хозяйствования (нестабильность рынков, высокая волатильность цен на сырье, материалы и энергоресурсы, военно-политическая напряженность, применение в отношении РФ масштабных секторальных санкций (более 10 тыс.), нарушение торгового баланса и партнерских связей, высокая изменчивость потребительских предпочтений, перманентный рост конкуренции и т. д.) важным инструментом обеспечения эффективного и сбалансированного развития отраслевых субъектов является именно диверсификация. Сегодня процесс диверсификации направлен на рациональное (максимально полное) использование всех имеющихся у организации ресурсов (трудовые, производственные, финансовые, информационные, инновационные, организационные и т. д.) с целью расширения ассортиментной линейки и всей сферы производства, в частности, выработку новых (инновационных) продуктов, которые в большей степени соответствуют потребительским предпочтениям и запросам, а также перспективным трендам текущего момента (физическая и экономическая доступность продуктов; ориентир на здоровый образ жизни; потребление продуктов, сбалансированных по составу и обладающих специальными и / или профилактическими свойствами и др.) [1]. Таким образом, диверсификация – это действенный инструмент повышения эффективности и конкурентоспособности субъекта хозяйствования, через максимально полное и качественное удовлетворение потребительских запросов современного покупателя. Все это способствует укреплению финансового потенциала, росту стабильности положения предприятия на рынке, а также предоставляет реальные возможности для устойчивого роста и инновационного развития в средне- и долгосрочной перспективах.

Хлебопекарное производство довольно консервативно в плане продуктовых новшеств и новинок, современный потребитель не воспринимает хлеб, булочные и мучные кондитерские изделия, как продукты высокого потенциала в плане удовлетворения физиологических потребностей и профилактики заболеваний. Многие потребители довольно скептически относятся к инновационным новинкам в сфере хлебопечения и предпочитают более традиционные виды и сорта хлебобулочной продукции, в большей степени, это предопределено условными привычками поведения на рынке, которые можно изложить в виде следующей смысловой модели: хлеб – это не ключевой продукт на столе, а воспринимается как дополнение к основным блюдам в виде энергетического компонента. Кроме того, большинство потребителей не ориентированы на покупку более дорогих хлебобулочных изделий, хотя они и обладают уникальными свойствами по сравнению с традиционными вариантами.

В подтверждение данной тенденции стоит отметить, что на текущий момент на рынке присутствует более 700 разновидностей хлеба и булочных изделий, но доля новинок инновационного типа не превышает показатель 5%. В данном аспекте, стоит выделить актуальные перспективы: активизация научных исследований в области функционального и здорового питания применительно к сфере выпечки хлеба и булочных изделий с целью расширения продуктового ассортимента за счет инновационных продуктов, должно быть сформировано четкое представление современного потребителя о пользе данного типа продукции (целевой маркетинг), а также должна быть обеспечена физическая и экономическая доступность данных изделий. Для того, чтобы последнее условие было эффективно выполнено, необходимо четко проработать вопрос, связанный с экономической эффективностью производства продуктов данного типа.

Таким образом, для успешной реализации процессов инновационного преобразования и диверсификации отраслевого производства, необходимо разработать и провести комплексное экономическое обоснование программы технико-технологической модернизации, которая будет четко вписываться в целевые положения общей стратегии развития хлебопекарной промышленности и модернизации отраслевого сегмента пищевой индустрии. Подчеркнем, что данные инициативы должны включать все этапы единого цикла хлебопекарного производства (инновационная идея – обоснование – апробация – коммерциализация – диффузия в реальные сектор производства – контроль и оценка эффективности – регулирование и корректировка).

Сегодня очень значимой проблемой остается именно апробация и использование инновационных разработок в реальном производстве. Мотивационная составляющая управленцев реального производства довольно низкая в силу различных причин и обстоятельств: дополнительные затраты финансов и времени; скептицизм в отношении перспектив реализации данных продуктов в условиях современного рынка; нежелание проводить опытные эксперименты и заниматься выводом нового продукта на рынки (документационное обеспечение (разработка ТД, разрешение со стороны профильных государственных структур и надзорных органов и др.) [2]. В контексте последнего, стоит отметить, что в реальных обстоятельствах, те компании, которые начали проводить политику диверсификации и инновационных преобразований

в области производства и продуктового ассортимента, сегодня получили дополнительный стимул для повышения конкурентоспособности, а также смогли в максимальной степени активизировать весь имеющийся потенциал.

Сегодня довольно явно прослеживается тенденция повышения требований современного покупателя к качеству товаров и услуг, все это касается и хлебобулочных изделий (состав, цена, внешний вид, упаковка, полезные качества и свойства и т. д.).

Цель работы – научно-теоретическая и методологическая проработка вопросов совершенствования состава хлебобулочных изделий за счет добавок, обогащенных питательными компонентами с высокой биологической ценностью.

Материалы и методы

Маркетинговые исследования показывают, что производство хлебобулочных и мучных кондитерских изделий по уникальным (инновационным) рецептурам, которые будут обладать улучшенными питательными свойствами смогут занять достойное место на современном рынке пищевой продукции, так как сегодня прослеживается усиление тренда покупателя к приобретению именно таких товаров (новых, уникальных, обладающих оригинальными характеристиками). Подчеркнем, что важным условием успешности реализации данного инновационного направления, является приемлемая конечная цена данного готового продукта для большей части потребителей [1, 3-6]. Одним из ключевых условий данного инновационного бизнес-направления должно стать соблюдение принципа: повышение пищевой ценности продукта без увеличения значения гликемического индекса. В идеале последний должен быть снижен до максимально возможного уровня. Все это предопределяет четкий набор жестких требований к исходным компонентам и сырью. Характеристика состава и биологических эффектов, оказываемых некоторыми компонентами химического состава выбранных видов дополнительного сырья (семян льна масличного и осветленного томатного сока), проиллюстрированы на рисунке 1.

На данном рисунке представлена также взаимосвязь между некоторыми биологически активными компонентами выбранного сырья и эффектами, оказываемыми на организм человека.

Функциональным ингредиентом, который в последнее время привлекает к себе повышенное внимание производителей, является ликопин. Разработано множество способов его получения в чистом виде (в том числе для использования в фармацевтической промышленности). Наиболее перспективными для промышленного производства ликопина, предназначенного для использования в пищевой отрасли, можно назвать те, в которых предусмотрено предварительное обезвоживание томатов с помощью сушки, выпаривания, замораживания, центрифугирования или другим способом, а на стадии выделения целевого компонента не используют органические растворители. Жидкая фракция, образующаяся при прессовании или центрифугировании томатов, (в разных источниках ее называют клеточным соком, сывороткой, центрифугатом, супернатантом) составляет 55–80% в зависимости от сорта томатов и способа отделения. Мы эту фракцию называем «осветленный томатный сок». Массовая доля сухих веществ в осветленном томатном соке составляет от 5,0 до 8,0%, которые представлены веществами, способными оказать технологический эффект в производстве мучных изделий (сахара, кислоты), а также обладают биологической активностью (витамины, полифенолы).

Концепция обоснования экономической эффективности разработанных технологических решений построена на расчете и сравнительной оценке традиционных рецептур и усовершенствованных на основе показателей себестоимости и отпускной цены единицы готовой продукции: хлеба пшеничного с семенами льна «Лёня» (ТУ 10.71.11-561-02068108-2022), хлеба с пониженным содержанием соли с использованием осветленного томатного сока «Ароматный» (ТУ 10.71.11-559-02068108-2022), безглютеновых кексов с семенами льна «Фантазия» (ТУ 10.72.12.114-558-02068108-2022).

Результаты и обсуждение

Перспективность внедрения в производство разработанных технологических решений была оценена посредством расчета, доказывающего экономическую целесообразность использования осветленного томатного сока в технологии хлеба, а также предварительно замоченных (в воде или коровьем молоке, или осветленном томатном соке) семян льна в технологии хлеба и кексов.

Экономический эффект от использования осветленного томатного сока в технологии пшеничного хлеба с пониженным содержанием соли заключается в сокращении продолжительности брожения теста и улучшении органолептических показателей (в первую очередь запаха и вкуса), пищевой ценности и физико-химических показателей качества. Результаты расчета калькуляции и оптовой цены 1 т хлеба «Ароматный» приведены в содержательной части таблицы 1.

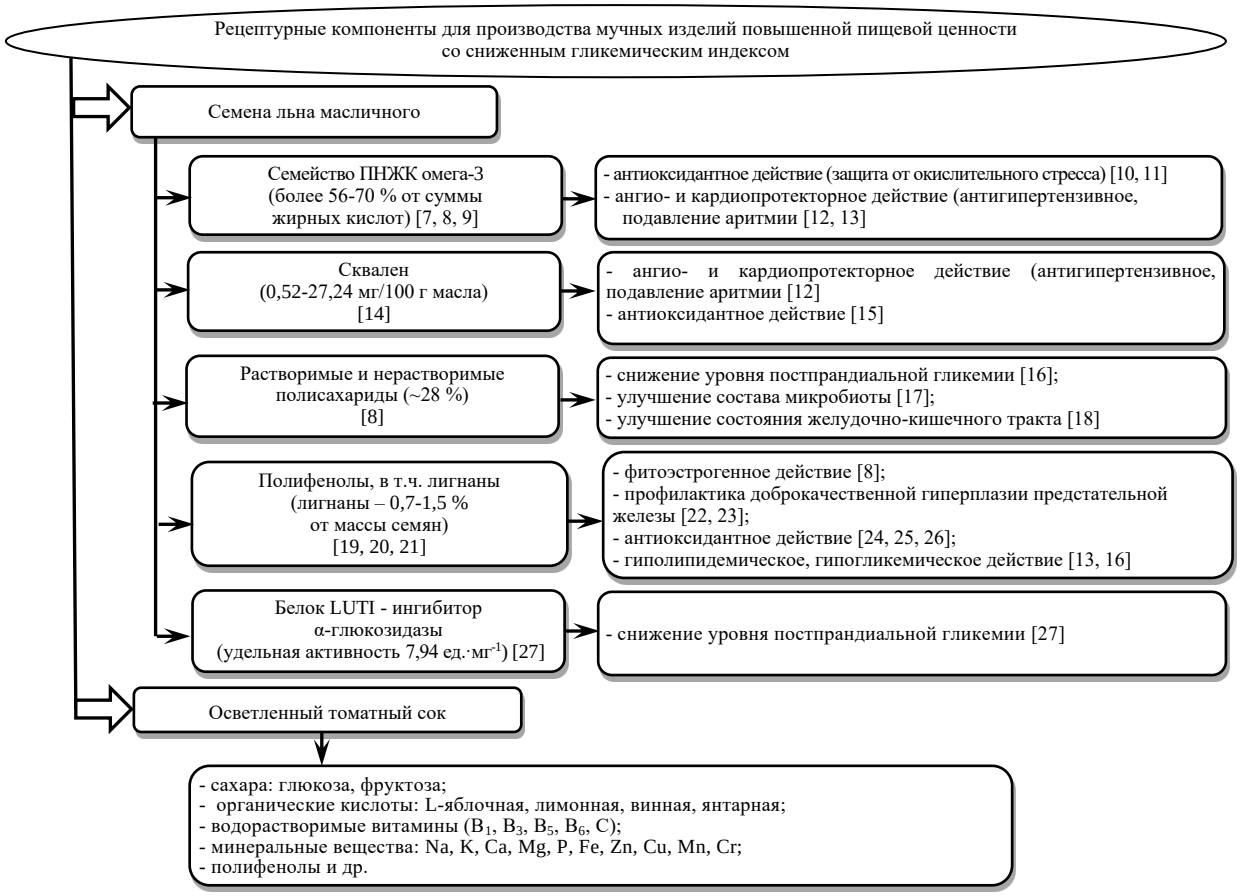


Рисунок 1. Характеристика состава и биологических эффектов, оказываемых некоторыми компонентами ингредиентов

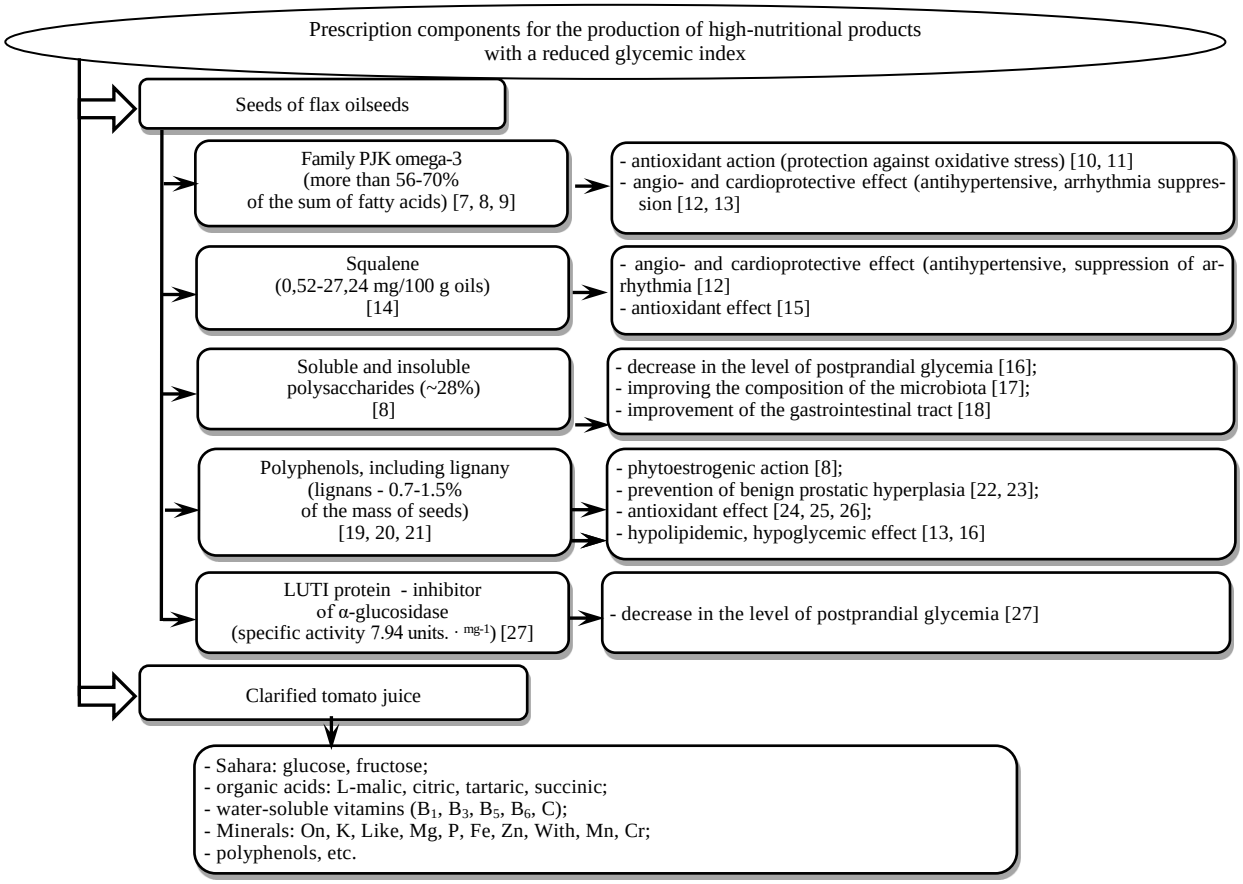


Figure 1. Characteristics of the composition and biological effects exerted by some components of the ingredients

Таблица 1.

Расчет калькуляции и оптовой цены 1 т хлеба с пониженным содержанием соли «Ароматный»

Table 1.

Calculation of the calculation and wholesale price of 1 ton of bread «Fragrant» with a reduced salt content

Статьи калькуляции Calculation articles	Затраты на 1 т готового изделия, тыс. руб. Costs per 1 ton of finished product, thousand rubles		
	Хлеб с пониженным содержанием соли (контроль) Bread with a reduced salt content (control)	Хлеб с пониженным содержанием соли «Ароматный» при замене части воды в рецептуре осветленным томатным соком: Bread with a reduced salt content is "Fragrant" when replacing part of the water in the recipe with clarified tomato juice:	
		50%	75%
Сырье и материалы | Raw materials and supplies	23,38	28,40	30,30
Горюче-смазочные материалы Fuels and lubricants	4,68	5,68	6,06
Электроэнергия | Electricity	4,68	5,68	6,06
Заработная плата | Wages	7,69	7,69	7,69
Страховые отчисления | Insurance deductions	2,32	2,32	2,32
Расходы на содержание оборудования Equipment maintenance costs	4,47	4,47	4,47
Общехозяйственные расходы General economic expenses	4,47	4,47	4,47
Производственная себестоимость | Production cost	51,69	58,72	61,37
Коммерческие расходы | Commercial expenses	0,82	0,82	0,82
Полная себестоимость | Full cost price	52,50	59,53	62,19
Рентабельность | Profitability	20,00	20,00	20,00
Прибыль | Profit	10,50	11,91	12,44
Отпускная (оптовая) цена Selling (wholesale) price	63,00	71,44	74,63
Налог на добавленную стоимость | Value added tax	11,34	12,86	13,43
Отпускная цена с учетом налоговых отчислений Selling price including tax deductions	74,34	84,30	88,06
Стоимость 1т изделия, руб. The cost of 1 ton of the product, rub.	37,17	42,15	44,03
Изменение цены продукции по сравнению с контролем | Product price change compared to control (+/–),%	-	+13,39	+18,45
Масса изделия, г | Product weight, g	500,00	500,00	500,00

Структура формирования производственной себестоимости при производстве хлеба с пониженным содержанием соли (контроль) и опытных изделий с введением осветленного томатного сока взамен 50 или 75% воды в рецептуре (рисунок 2) показывает, что наблюдается незначительный рост затрат по статье калькуляции «сырье, основные и вспомогательные материалы» (45,24% в контроле против 48,37% и 49,37% в опыте). Затраты на заработную плату фиксировали на уровне контрольного изделия, так как не требуется привлечение дополнительного производственного персонала на обслуживание технологического процесса. Результаты расчета свидетельствуют о том, что производственная себестоимость разработанных изделий и отпускная цена (при рентабельности 20%) незначительно выше, чем контрольного на 13,39% и 18,45% соответственно (таблица 1).

Предлагаемое решение в плане производства хлеба с пониженным содержанием соли за счет замены части воды на осветленный томатный сок, не требует явных дополнительных затрат (персонал, вспомогательные материалы, энергия, топливо и т. д.), кроме того, не потребуется и переналадка технологических линий.

При расчете ожидаемого экономического эффекта предусмотрено постепенное введение на рынок разработанных изделий (хлеб с пониженным содержанием соли «Ароматный», хлеб «Лёня», безглютеновый кекс «Фантазия»), поскольку это позволяет снизить риски, связанные с отсутствием сформированного спроса на данную продукцию. Однако при таком варианте выхода на рынок предприятие несет затраты на одновременное производство привычного для населения ассортимента и нового.

Выпуск инновационной продукции в промышленных объемах, соответствующих потребительскому спросу, позволит предприятию повысить эффективность и конкурентоспособность. В данном аспекте отметим, что показатель производственной эффективности одной тонны хлеба «Ароматный» составит порядка 10,5–12,44 тыс. руб., при заданном уровне рентабельности в 20%. Приведенные показатели отнесены к начальному этапу апробации и внедрения разработанных изделий в реальный производственно-реализационный процесс. В последующем, при увеличении объемов производства и оптимизации соответствующих издержек в реальных условиях, будет возможно повышение производственной эффективности работы предприятия.

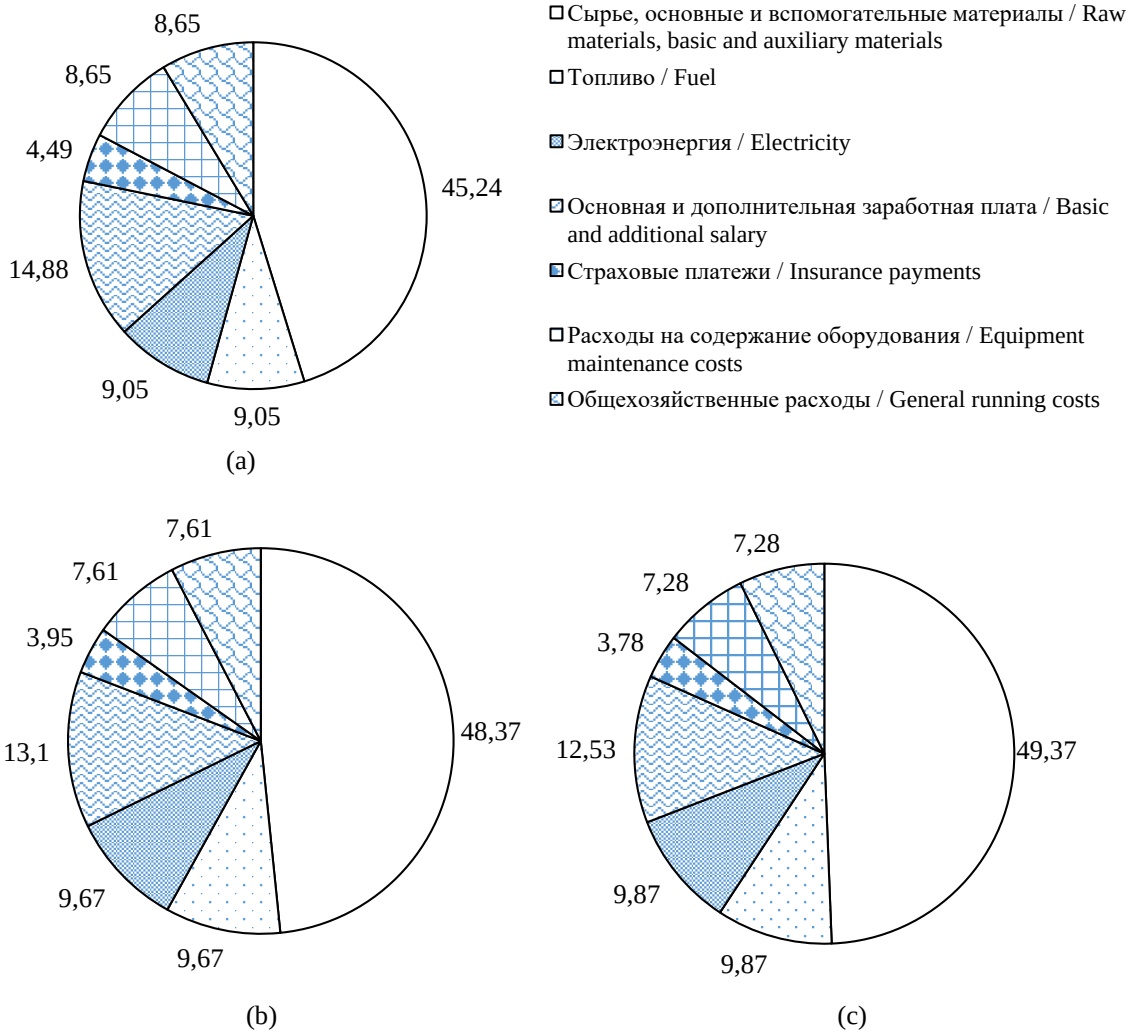


Рисунок 2. Структура формирования производственной себестоимости, (%): контрольного хлеба с пониженным содержанием соли (а), хлеба «Ароматный» с заменой (b) 50% и (c) 75% воды в рецептуре осветленным томатным соком

Figure 2. Structure of production cost formation, (%): control bread with a reduced salt content (a), «Aromatic» bread with replacement of (b) 50% and (c) 75% of water in the recipe with clarified tomato juice

Еще одним перспективным компонентом рецептур хлебопекарного производства, на которые стоит обратить внимание, является масличный лен. Данная культура обладает высокими показателями пищевой и биологической ценности, что актуализирует научные изыскания рациональных способов его применения в пищевом производстве, в частности, в хлебопекарном. Также стоит отметить, что для сферы хлебопекарного производства данный компонент может быть весьма актуальным заменителем части исходного зернового сырья в виду того, что во всем мире все больше получает распространение, такое заболевание как целиакия (непереносимость белков отдельных злаковых культур). Подчеркнем, что пищевая ценность семян льна обусловлена наличием в них белков, масла, богатого омега-3 жирными кислотами и альфа-линоленовой кислотой, пищевых волокон, в том числе растворимых, а также лигнанов [28, 29, 30, 31]. Изучена эффективность компонентов льняного семени в отношении снижения риска возникновения сердечно-сосудистых заболеваний [12, 21], контроля гликемии [16, 27, 32].

Широкие перспективы применения масличного льна и продуктов его переработки в современном пищевом производстве обусловлены не только его высокими питательными свойствами, но и функционально-технологическими. В данном контексте был проведен расчет себестоимости и конечной стоимости (оптовой) одной тонны хлеба пшеничного («Лёня») с добавлением в рецептуру последнего семян льна, предварительно замоченных в воде, коровьем молоке или осветленном томатном соке (таблица 2, рисунок 3).

Таблица 2.

Расчет себестоимости и оптовой стоимости хлеба пшеничного с семенами льна «Лёня»

Table 2.

Calculation of the cost and wholesale cost of wheat bread with flax seeds «Lenya»

Статьи калькуляции Calculation articles	Затраты на 1 т хлеба пшеничного с семенами льна, предварительно замоченными (тыс. руб.): Costs for 1 ton of wheat bread with flax seeds, pre-soaked (thousand rubles):		
	в питьевой воде in drinking water	в осветленном томатном соке in clarified tomato juice	в коровьем молоке in cow's milk
Сырье и материалы | Raw materials and supplies	31,84	38,45	44,70
Горюче-смазочные материалы | Fuels and lubricants	6,37	7,69	8,94
Электроэнергия | Electricity	6,37	7,69	8,94
Заработная плата | Wages	7,69	7,69	7,69
Страховые отчисления | Insurance deductions	2,32	2,32	2,32
Расходы на содержание оборудования Equipment maintenance costs	4,47	4,47	4,47
Общехозяйственные расходы | General economic expenses	4,47	4,47	4,47
Производственная себестоимость | Production cost	63,52	72,78	81,53
Коммерческие расходы | Commercial expenses	0,82	0,82	0,82
Полная себестоимость | Full cost price	64,34	73,59	82,34
Доходность | Profitability, %	20,00	20,00	20,00
Прибыль | Profit	12,87	14,72	16,47
Отпускная (оптовая) цена | Selling (wholesale) price	77,21	88,31	98,81
Налог на добавленную стоимость | Value added tax	13,90	15,90	17,79
Отпускная цена с учетом налоговых отчислений Selling price including tax deductions	91,10	104,21	116,60
Стоимость 1т изделия, руб. | The cost of 1 ton of the product, rub.	36,44	41,68	46,64
Изменение цены продукции по сравнению с контролем Product price change compared to control (+/–),%	-	+14,38	+27,98
Масса изделия, г | Product weight, g	400,00	400,00	400,00

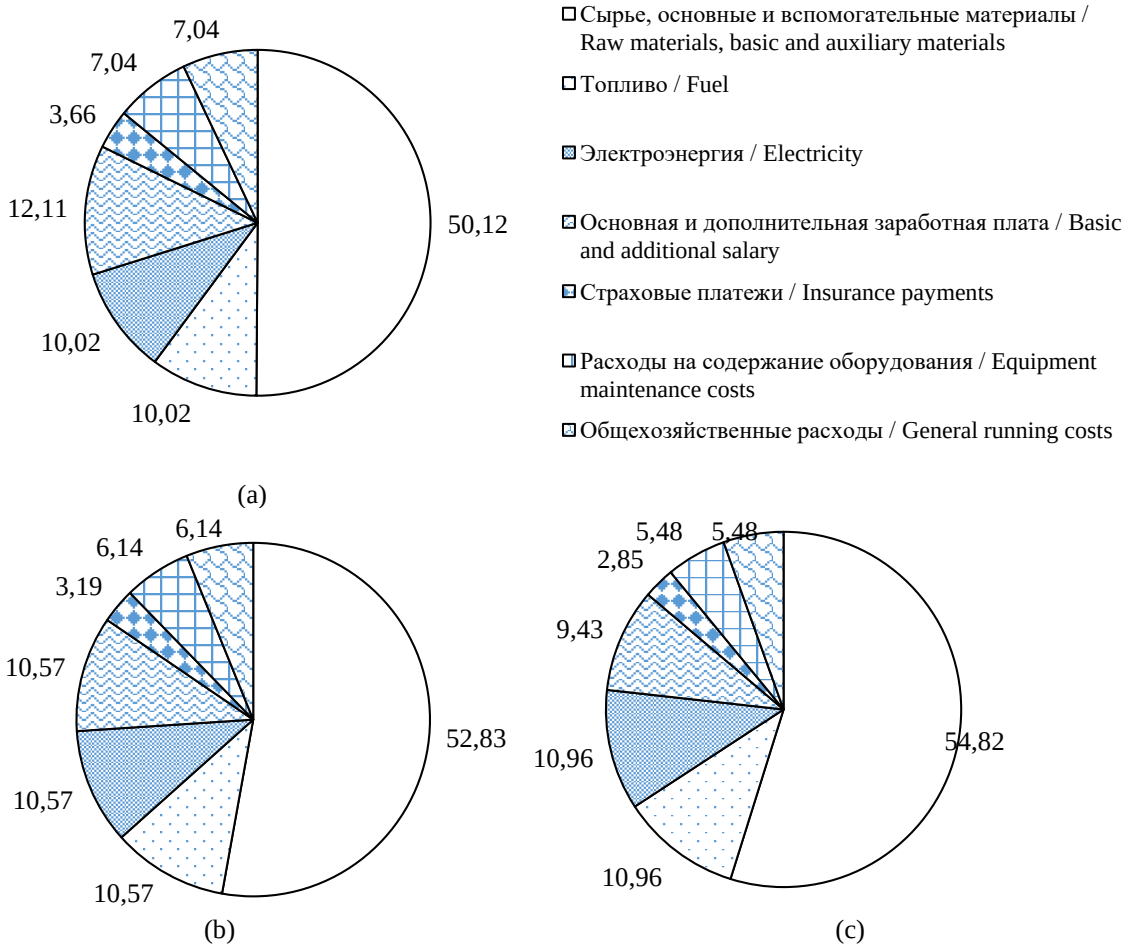


Рисунок 3. Структура формирования производственной себестоимости, (%): хлеба пшеничного с семенами льна «Лёня»: базовая рецептура (a), с осветленным томатным соком (b) или с коровьим молоком (c)

Figure 3. Structure of production cost formation, (%): wheat bread with flax seeds "Lenya": basic recipe (a), with clarified tomato juice (b) or with cow's milk (c)

В данном случае уровень производственной эффективности составит порядка 12,87–16,47 тыс. р. (принятая рентабельность в 20%). Благодаря высокой дозировке семян льна в рецептуре хлеба «Лёня» (20% к массе муки) и предварительной подготовке их перед введением в тесто, достигается снижение гликемического индекса продукции на 6–15 % в зависимости от параметров замачивания.

Исследования доказывают актуальность необходимости инновационных разработок в области совершенствования и модификации рецептур пищевых продуктов с целью придания им уникальных свойств: высокая пищевая и биологическая ценность; длительный срок хранения; отличительные органолептические свойства и внешний вид; способность удовлетворять потребности отдельных слоев населения, в частности, имеющие врожденные и / или приобретенные заболевания). Одним из перспективных сегментов рынка является рынок безглютеновых изделий, спрос на которые в последние годы неизменно возрастает [33]. К 2020 году рынок безглютеновой продукции расширился и в денежном выражении увеличился в 1,7 раза по сравнению с 2015 годом, что соответствует 11% ежегодного прироста. Рост спроса на данную категорию продуктов питания обусловлен рядом факторов, среди которых следует выделить:

– улучшение диагностических методов позволяет выявлять все большее число людей, страдающих целиакией, и другими расстройствами, связанными с употреблением глютена. Единственное и безопасное лечение, доступное в настоящее время для этих людей, заключается в соблюдении строгой и длительной (в случае целиакии – пожизненной) диеты без глютена;

– увеличение доли потребителей, которые воспринимают безглютеновые хлебобулочные и мучные кондитерские изделия как одну из составляющих здорового питания.

Такая ситуация раскрывает перед российскими производителями перспективу направленного внедрения в производство безглютеновой продукции, способствующей как импортозамещению, так и расширению потребительской аудитории [34].

Одной из основных проблем является именно дефицит качественного исходного сырья для производства безглютеновых продуктов. Проведенные нами исследования и расчеты показывают, что экономически перспективными видами сырья для безглютеновых мучных кондитерских изделий являются продукты переработки семян льна масличного.

Оценочные расчеты технологической и экономической перспективности безглютеновых мучных изделий были проведены на примере кексов из кукурузной муки [35] с добавлением в их рецептуру семян льна масличного, осветленного томатного сока. Результаты приведены в таблице 3 и на рисунке 4.

Таблица 3.

Расчет себестоимости и оптовой цены производства безглютенового кекса «Фантазия»

Table 3.

Calculation of the cost and wholesale price of the production of gluten-free cake "Fantasy"

Статьи калькуляции Calculation articles	Затраты на 1 т готового изделия, тыс. руб. Costs per 1 ton of finished product, thousand rubles		
	Безглютеновый кекс кукурузный (контроль) Gluten-free corn cupcake (control)	Безглютеновый кекс «Фантазия» Gluten-free cupcake "Fantasy"	
		с осветленным томатным соком with clarified tomato juice	с молоком with milk
Сырье и материалы | Raw materials and supplies	76,15	73,78	79,58
Горюче-смазочные материалы | Fuels and lubricants	15,23	14,76	15,92
Электроэнергия | Electricity	15,23	14,76	15,92
Заработная плата | Wages	14,76	14,76	14,76
Страховые отчисления Insurance deductions	4,46	4,46	4,46
Расходы на содержание оборудования Equipment maintenance costs	7,38	7,38	7,38
Общехозяйственные расходы | General economic expenses	7,38	7,38	7,38
Производственная себестоимость | Production cost	140,59	137,26	145,38
Коммерческие расходы | Commercial expenses	1,37	1,37	1,37
Полная себестоимость | Full cost price	141,96	138,64	146,76
Доходность | Profitability, %	20,00	20,00	20,00
Прибыль | Profit	28,39	27,73	29,35
Отпускная (оптовая) цена | Selling (wholesale) price	170,35	166,36	176,11
Налог на добавленную стоимость Value added tax	30,66	29,95	31,70
Отпускная цена с учетом налоговых отчислений Selling price including tax deductions	201,01	196,31	207,81
Стоимость 1т изделия, руб. | The cost of 1 ton of the product, rub.	10,05	9,82	10,39
Изменение цены продукции по сравнению с контролем Product price change compared to control (+/–),%	-	-3,34	+3,38
Масса изделия, г | Product weight, g	50,00	50,00	50,00

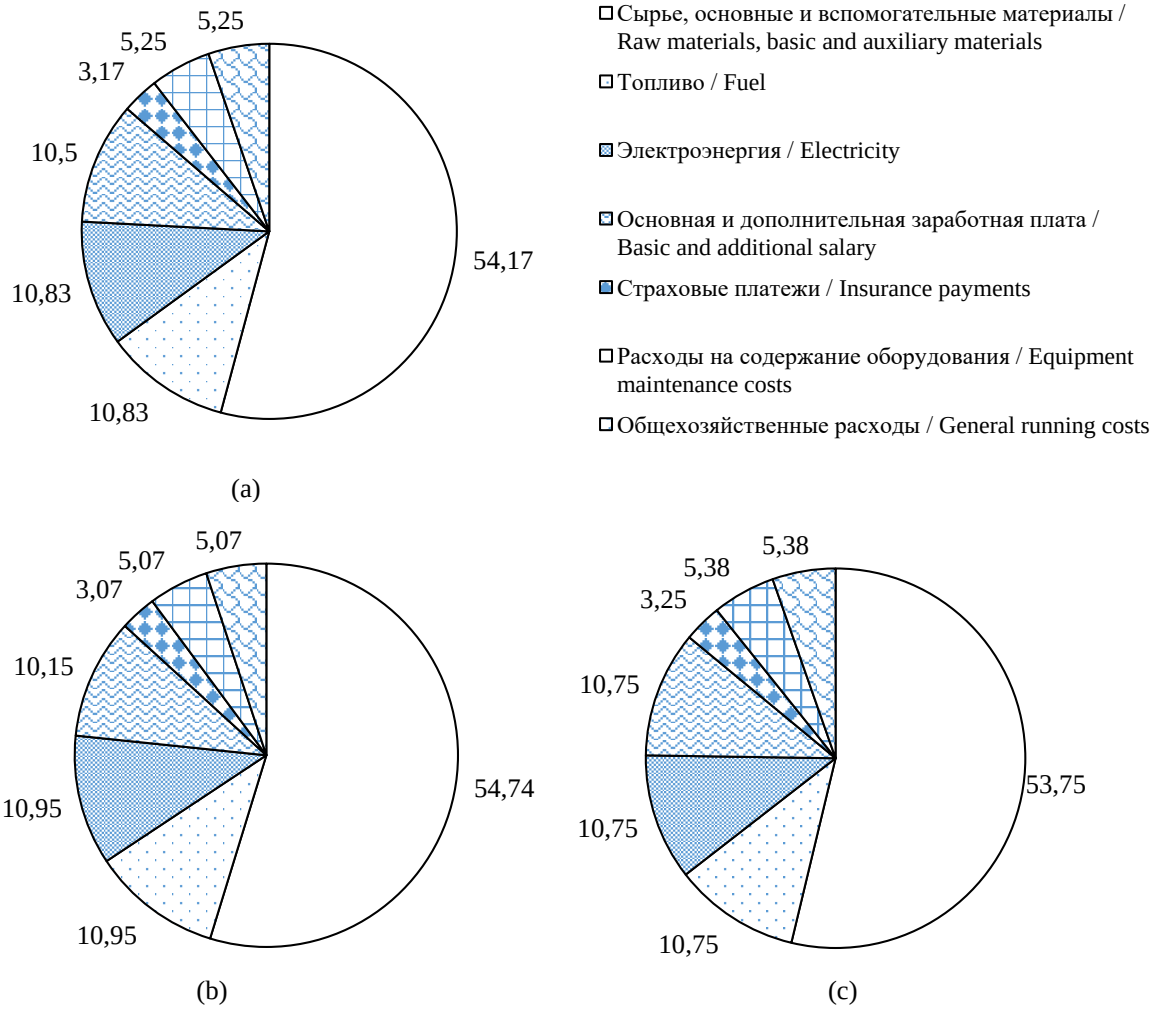


Рисунок 4. Структура формирования производственной себестоимости, (%): безглютенового кекса из кукурузной муки – контроль (a) и кексов «Фантазия» с семенами льна: базовая рецептура (b) или с осветленным томатным соком (c)

Figure 4. Structure of production cost formation, (%): gluten-free corn flour cupcake – control (a) and Fantasy cupcakes with flax seeds: basic recipe (b) or with clarified tomato juice (c)

Расчеты показали, что показатель производственной эффективности составит 27,73–29,35 тыс. р. Отпускная цена кексов (опытные образцы): 140,59, 137,26 и 145,38 тыс. р. за единицу изделия (одна тонна); 10,05, 9,82 и 10,39 р. массой 0,05 кг. В контексте полученных данных отметим, что на текущий момент средняя цена на подобные продукты (безглютеновые кексы) ведущих производителей составляет 364–465 р. за упаковку массой 170–250 гр., таким образом, цена кекса «Фантазия» более чем конкурентоспособна. Также подчеркнем, что на современном рынке отсутствуют безглютеновые мучные кондитерские изделия с добавлением семян льна и осветленного томатного сока, что создает реальные предпосылки для занятия данного рыночного сегмента и получение реальных конкурентных преимуществ. Уточним, что за счет введения в рецептуру семян льна пищевая ценность безглютеновых кексов «Фантазия» существенно улучшается: содержание белков возрастает на 17,1%, Ca, Mg, K, P, Fe, Zn и Cu – на 20,4%, в 2, 4 раза, на 26,7; 36,3; 25,6%, в 3,1 раза и в 3,5 раз соответственно, витаминов E, B_1, B_5, B_6, B_9, K и PP – на 9,3%, в 2,5 раза, в 1,5 раза, в 2 раза, на 35,5%, в 3,8 раза и на 30% соответственно. При этом энергетическая ценность увеличивается лишь на 4,6%. Благодаря введению в рецептуру безглютеновых кексов семян льна масличного в изделиях нормализуется соотношение кальция и магния: 2,18:1 против 4,34:1 у контроля (рекомендуемое соотношение 2:1); в составе изделия появляются сквален (0,1 мкг / 100 г. продукта) и бетаин (0,12 мг / 100 г. продукта), на 9,0% возрастает содержание лютеина и зеаксантина. За счет употребления 100 г. данного изделия суточная потребность взрослого человека в витамине Е может быть удовлетворена на 51%, что позволяет отнести его к группе продуктов с высоким содержанием данного витамина (ГОСТ Р 55577–2013).

Заключение

В настоящее время важной целевой установкой в нашей стране является обеспечение населения качественными продуктами социально значимой группы, к которой относятся хлеб и булочные изделия. Производство продукции с повышенной пищевой ценностью является важным инструментом в обеспечении эффективного и конкурентного развития всей пищевой индустрии в целом. В рамках современного потребительского рынка происходят трансформации запросов и предпочтений покупателей в сторону потребления более качественных и полезных продуктов, которые соответствуют принципам и установкам здорового питания. Таким образом, для того чтобы устойчиво развиваться на рынке и активизировать весь имеющийся потенциал конкурентного преобразования необходимо, кроме традиционных хлебобулочных, мучных кондитерских изделий, расширять ассортимент, произведенный по усовершенствованным рецептурам. Современные хлебопекарные предприятия вынуждены функционировать в условиях сдерживающей низкой рентабельности, что препятствует формированию необходимого инвестиционного задела для технико-технологической модернизации. Одним из инструментов разрешения данной ситуации является диверсификация продуктового ассортимента в сторону производства мучных изделий по инновационным рецептурам (с использованием нетрадиционного сырья и ингредиентов). Все это необходимо чтобы вывести на рынок товар, который получил бы высокий спрос среди основной группы потребителей (людей, ориентированных на здоровый образ жизни и правильное питание). Отметим, что сегодня на потребительском рынке имеется довольно небольшое количество мучных изделий, обогащенных макро- и микронутриентами, витаминами, имеющих относительно высокий показатель биологической и пищевой ценности, низкое содержание соли, а также безглютеновых. В данном контексте в работе была проведена оценка экономической эффективности производства и реализации трех новых мучных изделий: хлеб пшеничный с пониженным содержанием соли и со сниженным гликемическим индексом «Ароматный» (показатель прибыли на одну тонну ~ 10,50–12,44 тыс. р.); хлеб пшеничный «Лёня» с добавлением семян льна и осветленного томатного сока (показатель прибыли на одну тонну ~ 12, 8716, 47 тыс. р.); безглютеновые кексы «Фантазия» (показатель прибыли на одну тонну ~ 27,73–29,35 тыс. р.). Полученные экспериментальные данные позволили сделать выводы:

– разработанная инновационная продукция не имеет зарубежных и отечественных аналогов и может быть определена как оригинальная, высококонкурентоспособная, обладающая потенциальным спросом на соответствующем сегменте рынка;

– предлагаемые авторами решения имеют технологическую и экономическую целесообразность в рамках диверсификации продуктовой линейки отраслевых предприятий, повышения качества и потребительских свойств мучных изделий (хлеба, кексов), расширения рынков сбыта и повышения конкурентоспособности предприятий;

– рассчитанные экономические показатели позволяют рекомендовать разработанные изделия (хлеб с пониженным содержанием соли «Ароматный», хлеб «Лёня», безглютеновый кекс «Фантазия») к промышленному производству на отечественных предприятиях хлебопекарной и кондитерской отраслей

Литература

1 Гуляева Н.А. Стратегия диверсификации хлебопекарной отрасли // Специалисты АПК нового поколения: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. 2018. С. 160–164.

2 Алферов А. Рынок хлеба и хлебобулочных изделий: реалии, перспективы, тенденции развития // Хлебопродукты. 2009. № 2. С. 60–61.

3 Жаркова И.М., Гребенщиков А.В., Кульнева Н.Г., Ефремов Д.П. и др. Исследование биологических свойств растворимых полисахаридов семян льна в составе продукта из аффинированного желтого сахара // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2022. № 1 (385). С. 66–71.

4 Ефремов Д.П., Жаркова И.М., Плотникова И.В., Иванчиков Д.С. и др. Томаты: основные направления использования в пищевой промышленности (обзор) // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 1 (91). С. 181–195.

5 Слепокурова Ю.И., Жаркова И.М., Казимирова Ю.К., Самохвалов А.А. и др. Особенности развития рынка функциональных хлебобулочных изделий // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2020. № 1 (373). С. 102–105.

6 Lobanov V., Slepokurova Yu., Zharkova I., Koleva T. Ya. et al. Economic effect of innovative flour-based functional foods production // Foods and Raw Materials. 2018. V. 6. № 2. P. 474–482.

7 Couëdelo L., Boué-Vaysse C., Fonseca L., Montesinos E. et al. Lymphatic absorption of α-linolenic acid in rats fed flaxseed oil-based emulsion // British journal of nutrition. 2011. V. 105. №. 7. P. 1026-1035.doi: 10.1017/S000711451000454X

8 Martinchik A.N., Baturin A.K., Zubtsov V.V., VIu M. Nutritional value and functional properties of flaxseed // Voprosy pitaniia. 2012. V. 81. №. 3. P. 4-10.

9 Barsby J.P., Cowley J.M., Leemaqz S.Y., Grieger J.A. et al. Nutritional properties of selected superfood extracts and their potential health benefits // PeerJ. 2021. V. 9. P. e12525. doi: 10.7717/peerj.12525

10 Côrtes C., Palin M.F., Gagnon N., Benchaar C. et al. Mammary gene expression and activity of antioxidant enzymes and concentration of the mammalian lignan enterolactone in milk and plasma of dairy cows fed flax lignans and infused with flax oil in the abomasum. // British Journal of Nutrition. 2012. V. 108. №. 8. P. 1390-1398. doi: 10.1017/S0007114511006829

11 Skorkowska-Telichowska K., Hasiewicz-Derkacz K., Gębarowski T., Kulma A. et al. Emulsions made of oils from seeds of GM flax protect V79 cells against oxidative stress // Oxidative Medicine and Cellular Longevity. 2016. V. 2016. doi: 10.1155/2016/7510759

12 Parikh M., Netticadan T., Pierce G.N. Flaxseed: its bioactive components and their cardiovascular benefits // American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology. 2018. doi: 10.1152/ajpheart.00400.2017

13 Imran M., Ahmad N., Anjum F.M., Khan M.K. et al. Potential protective properties of flax lignan secoisolariciresinol diglucoside // Nutrition Journal. 2015. V. 14. №. 1. P. 1-7.

14 Herchi W., Harrabi S., Rochut S., Boukhchina S. et al. Characterization and quantification of the aliphatic hydrocarbon fraction during linseed development (Linum usitatissimum L.) // Journal of agricultural and food chemistry. 2009. V. 57. №. 13. P. 5832-5836.doi: 10.1021/jf9004884

15 Ibrahim N. I., Fairus S., Zulfarina M.S., Naina Mohamed I. et al. The efficacy of squalene in cardiovascular disease risk-a systematic review // Nutrients. 2020. V. 12. №. 2. P. 414. doi: 10.3390/nu12020414

16 Prasad K., Dhar A. Flaxseed and Diabetes // Curr Pharm Des. 2016. V. 22. №. 2. P. 141–144. doi: 10.2174/1381612822666151112151230

17 Ndou S.P., Tun H.M., Kiarie E., Walsh M.C. et al. Dietary supplementation with flaxseed meal and oat hulls modulates intestinal histomorphometric characteristics, digesta – and mucosa-associated microbiota in pigs // Sci Rep. 2018 V. 8. №. 1. P. 5880. doi: 10.1038/s41598–018–24043–5

18 Adorian T.J., Mombach P.I., Fagundes M.B., Wagner R. et al. Linseed fibers modulate the production of short-chain fatty acids and improve performance and plasma and skin mucus parameters of silver catfish (Rhamdia quelen) // Fish Physiol Biochem. 2020. V. 46. №. 6. P. 2355–2366. doi: 10.1007/s10695–020–00885–7

19 Struijs K., Vincken J.P., Verhoef R., van Oostveen-van Casteren W.H. et al. The flavonoid herbacetin diglucoside as a constituent of the lignan macromolecule from flaxseed hulls // Phytochemistry. 2007. V. 68. №. 8. P. 1227–35. doi: 10.1016/j.phytochem.2006.10.022

20 Struijs K., Vincken J.P., Verhoef R., Voragen A.G. et al. Hydroxycinnamic acids are ester-linked directly to glucosyl moieties within the lignan macromolecule from flaxseed hulls // Phytochemistry. 2008. V. 69. №. 5. P. 1250–60. doi: 10.1016/j.phytochem.2007.11.010

21 Gerstenmeyer E., Reimer S., Berghofer E., Schwartz H. et al. Effect of thermal heating on some lignans in flax seeds, sesame seeds and rye // Food Chem. 2013. V. 138. №. 2–3. P. 1847–55. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.11.117

22 Bisson J.F., Hidalgo S., Simons R., Verbruggen M. Preventive effects of lignan extract from flax hulls on experimentally induced benign prostate hyperplasia // J Med Food. 2014. V. 17. №. 6. P. 650–656. doi: 10.1089/jmf.2013.0046

23 Simons R., Sonawane N., Verbruggen M., Chaudhary J. Efficacy and safety of a flaxseed hull extract in the symptomatic management of benign prostatic hyperplasia: a parallel, randomized, double-blind, placebo-controlled, pilot study // J Med Food. 2015. V. 18. №. 2. P. 233–240. doi: 10.1089/jmf.2013.3129

24 Sęczyk Ł., Świeca M., Dziki D., Anders A. et al. Antioxidant, nutritional and functional characteristics of wheat bread enriched with ground flaxseed hulls // Food Chem. 2017. V. 214. P. 32–38. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.07.068

25 Bouaziz F., Koubaa M., Barba F.J., Roohinejad S. et al. Antioxidant Properties of Water-Soluble Gum from Flaxseed Hulls // Antioxidants (Basel). 2016. V. 5. №. 3. P. 26. doi: 10.3390/antiox5030026

26 Cheng C., Yu X., McClements D.J., Huang Q. et al. Effect of flaxseed polyphenols on physical stability and oxidative stability of flaxseed oil-in-water nanoemulsions // Food Chem. 2019. V. 301. P. 125207. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125207

27 Wang L., Chen Y., Wu F., Wu S. et al. LUTI: a double-function inhibitor isolated from naked flax seeds // Acta Biochim Biophys Sin (Shanghai). 2019. V. 51. №. 10. P. 989–996. doi: 10.1093/abbs/gmz087

28 Roslyakov Y.F., Vershinina O.L., Gonchar V.V. et al. Flax seed flour in the production of enriched bakery products. In the collection: Innovative research and development for scientific support for the production and storage of environmentally safe agricultural and food products // Proceedings of the III International scientific-practical conference. 2019. P. 226–232.

29 Parikh M., Maddaford T.G., Austria J.A., Aliani M. et al. Dietary Flaxseed as a strategy for improving human health // Nutrients. 2019. V. 11. №. 5. P. 1171. doi: 10.3390/nu11051171

30 Kazachkov M., Li Q., Shen W., Wang L. et al. Molecular identification and functional characterization of a cyanogenic glucosyltransferase from flax (Linum unsitatissimum). // PLoS One. 2020. V. 15. №. 2. P. e0227840. doi: 10.1371/journal.pone.0227840

31 Foschia M., Horstmann S., Arendt E.K., Zannini E. Nutritional therapy – Facing the gap between coeliac disease and gluten-free food // International Journal of Food Microbiology. 2016. V. 239. №. 19. P. 113–124. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2016.06.014

32 Conte P., Fadda C., Piga A., Collar C. Techno-functional and nutritional performance of commercial breads available in Europe // Food Science and Technology International. 2016. V. 22. №. 7. P. 621–633. doi: 10.1177/1082013216637724

33 Жукова К. Глютен на рынке: пути развития и перспективы // Кондитерская сфера. 2016. № 5 (67). С. 6–8.

34 Сухадолец Т. Развитие рынка безглютеновых хлебопекарных продуктов. URL: http://sfera.fm/articles/razvitie-rynka-bezglyutenovykh-khlebopekarnykh-produktov_1752/

35 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.

References

1 Gulyaeva N.A. Diversification strategy of the bakery industry. AIC specialists of the new generation: collection of articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference. 2018. pp. 160–164. (in Russian).

2 Alferov A. The market of bread and bakery products: realities, prospects, development trends. Khleboprodukty. 2009. no. 2. pp. 60–61. (in Russian).

3 Zharkova I.M., Grebenshchikov A.V., Kulneva N.G., Efremov D.P. et al. Study of the biological properties of soluble polysaccharides of flax seeds in the composition of a product from refined yellow sugar. Food technology. 2022. no. 1 (385). pp. 66–71. (in Russian).

4 Efremov D.P., Zharkova I.M., Plotnikova I.V., Ivanchikov D.S. and others. Tomatoes: the main directions of use in the food industry (review). Bulletin of VGUIT. 2022. vol. 84. no. 1 (91). pp. 181–195. (in Russian).

5 Slepokurova Yu.I., Zharkova I.M., Kazimirova Yu.K., Samokhvalov A.A. and other Features of the development of the market of functional bakery products. News of higher educational institutions. Food technology. 2020. no. 1 (373). pp. 102–105. (in Russian).

6 Lobanov V., Slepokurova Yu., Zharkova I., Koleva T. Ya. et al. Economic effect of innovative flour-based functional foods production. Foods and Raw Materials. 2018. vol. 6. no. 2. pp. 474–482.

7 Couëdelo L., Boué-Vaysse C., Fonseca L., Montesinos E. et al. Lymphatic absorption of α-linolenic acid in rats fed flaxseed oil-based emulsion. British journal of nutrition. 2011. vol. 105. no. 7. pp. 1026-1035.doi: 10.1017/S000711451000454X

8 Martinchik A.N., Baturin A.K., Zubtsov V.V., VIu M. Nutritional value and functional properties of flaxseed. Voprosy pitaniia. 2012. vol. 81. no. 3. pp. 4-10.

9 Barsby J.P., Cowley J.M., Leemaqz S.Y., Grieger J.A. et al. Nutritional properties of selected superfood extracts and their potential health benefits. PeerJ. 2021. vol. 9. pp. e12525. doi: 10.7717/peerj.12525

10 Côrtes C., Palin M.F., Gagnon N., Benchaar C. et al. Mammary gene expression and activity of antioxidant enzymes and concentration of the mammalian lignan enterolactone in milk and plasma of dairy cows fed flax lignans and infused with flax oil in the abomasum. British Journal of Nutrition. 2012. vol. 108. no. 8. pp. 1390-1398. doi: 10.1017/S0007114511006829

11 Skorkowska-Telichowska K., Hasiewicz-Derkacz K., Gębarowski T., Kulma A. et al. Emulsions made of oils from seeds of GM flax protect V79 cells against oxidative stress. Oxidative Medicine and Cellular Longevity. 2016. vol. 2016. doi: 10.1155/2016/7510759

12 Parikh M., Netticadan T., Pierce G.N. Flaxseed: its bioactive components and their cardiovascular benefits. American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology. 2018. doi: 10.1152/ajpheart.00400.2017

13 Imran M., Ahmad N., Anjum F.M., Khan M.K. et al. Potential protective properties of flax lignan secoisolariciresinol diglucoside. Nutrition Journal. 2015. vol. 14. no. 1. P. 1-7.

14 Herchi W., Harrabi S., Rochut S., Boukhchina S. et al. Characterization and quantification of the aliphatic hydrocarbon fraction during linseed development (Linum usitatissimum L.). Journal of agricultural and food chemistry. 2009. vol. 57. no. 13. pp. 5832-5836.doi: 10.1021/jf9004884

15 Ibrahim N. I., Fairus S., Zulfarina M.S., Naina Mohamed I. et al. The efficacy of squalene in cardiovascular disease risk-a systematic review. Nutrients. 2020. vol. 12. no. 2. pp. 414. doi: 10.3390/nu12020414

16 Prasad K., Dhar A. Flaxseed and Diabetes. Curr Pharm Des. 2016. vol. 22. no. 2. pp. 141–144. doi: 10.2174/1381612822666151112151230

17 Ndou S.P., Tun H.M., Kiarie E., Walsh M.C. et al. Dietary supplementation with flaxseed meal and oat hulls modulates intestinal histomorphometric characteristics, digesta – and mucosa-associated microbiota in pigs. Sci Rep. 2018. vol. 8. no. 1. pp. 5880. doi: 10.1038/s41598–018–24043–5

18 Adorian T.J., Mombach P.I., Fagundes M.B., Wagner R. et al. Linseed fibers modulate the production of short-chain fatty acids and improve performance and plasma and skin mucus parameters of silver catfish (Rhamdia quelen). Fish Physiol Biochem. 2020. vol. 46. no. 6. pp. 2355–2366. doi: 10.1007/s10695–020–00885–7

19 Struijs K., Vincken J.P., Verhoef R., van Oostveen-van Casteren W.H. et al. The flavonoid herbacetin diglucoside as a constituent of the lignan macromolecule from flaxseed hulls. Phytochemistry. 2007. vol. 68. no. 8. pp. 1227–35. doi: 10.1016/j.phytochem.2006.10.022

20 Struijs K., Vincken J.P., Verhoef R., Voragen A.G. et al. Hydroxycinnamic acids are ester-linked directly to glucosyl moieties within the lignan macromolecule from flaxseed hulls. Phytochemistry. 2008. vol. 69. no. 5. pp. 1250–60. doi: 10.1016/j.phytochem.2007.11.010

21 Gerstenmeyer E., Reimer S., Berghofer E., Schwartz H. et al. Effect of thermal heating on some lignans in flax seeds, sesame seeds and rye. Food Chem. 2013. vol. 138. no. 2–3. pp. 1847–55. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.11.117

22 Bisson J.F., Hidalgo S., Simons R., Verbruggen M. Preventive effects of lignan extract from flax hulls on experimentally induced benign prostate hyperplasia. J Med Food. 2014. vol. 17. no. 6. pp. 650–656. doi: 10.1089/jmf.2013.0046

23 Simons R., Sonawane N., Verbruggen M., Chaudhary J. Efficacy and safety of a flaxseed hull extract in the symptomatic management of benign prostatic hyperplasia: a parallel, randomized, double-blind, placebo-controlled, pilot study. J Med Food. 2015. vol. 18. no. 2. pp. 233–240. doi: 10.1089/jmf.2013.3129

24 Sęczyk Ł., Świeca M., Dziki D., Anders A. et al. Antioxidant, nutritional and functional characteristics of wheat bread enriched with ground flaxseed hulls. Food Chem. 2017. vol. 214. pp. 32–38. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.07.068

25 Bouaziz F., Koubaa M., Barba F.J., Roohinejad S. et al. Antioxidant Properties of Water-Soluble Gum from Flaxseed Hulls. Antioxidants (Basel). 2016. vol. 5. no. 3. pp. 26. doi: 10.3390/antiox5030026

26 Cheng C., Yu X., McClements D.J., Huang Q. et al. Effect of flaxseed polyphenols on physical stability and oxidative stability of flaxseed oil-in-water nanoemulsions. Food Chem. 2019. vol. 301. pp. 125207. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125207

27 Wang L., Chen Y., Wu F., Wu S. et al. LUTI: a double-function inhibitor isolated from naked flax seeds. Acta Biochim Biophys Sin (Shanghai). 2019. vol. 51. no. 10. pp. 989–996. doi: 10.1093/abbs/gmz087

28 Roslyakov Y.F., Vershinina O.L., Gonchar V.V. et al. Flax seed flour in the production of enriched bakery products. In the collection: Innovative research and development for scientific support for the production and storage of environmentally safe agricultural and food products. Proceedings of the III International scientific-practical conference. 2019. pp. 226–232.

29 Parikh M., Maddaford T.G., Austria J.A., Aliani M. et al. Dietary Flaxseed as a strategy for improving human health. Nutrients. 2019. vol. 11. no. 5. pp. 1171. doi: 10.3390/nu11051171

30 Kazachkov M., Li Q., Shen W., Wang L. et al. Molecular identification and functional characterization of a cyanogenic glucosyltransferase from flax (Linum unsitatissimum). PLoS One. 2020. vol. 15. no. 2. pp. e0227840. doi: 10.1371/journal.pone.0227840

31 Foschia M., Horstmann S., Arendt E.K., Zannini E. Nutritional therapy – Facing the gap between coeliac disease and gluten-free food. International Journal of Food Microbiology. 2016. vol. 239. no. 19. pp. 113–124. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2016.06.014

32 Conte P., Fadda C., Piga A., Collar C. Techno-functional and nutritional performance of commercial breads available in Europe. Food Science and Technology International. 2016. vol. 22. no. 7. pp. 621–633. doi: 10.1177/1082013216637724

33 Zhukova K. Gluten on the market: ways of development and prospects. Confectionery sphere. 2016. no. 5 (67). pp. 6–8. (in Russian).

34 Sukhadolets T. Development of the market for gluten-free bakery products. Available at: http://sfera.fm/articles/razvitie-rynka-bezglyutenovykh-khlebopekarnykh-produktov_1752/ (in Russian).

35 Zharkova I.M., Safonova Yu.A., Gustinovich V.G., Ilyeva T.L. Development of technology and evaluation of the effectiveness of a new product - a functional gluten-free cake. Storage and processing of agricultural raw materials. 2020. no. 1. pp. 70–85. (in Russian).

Сведения об авторах

Юлия И. Слепокурова к.б.н., доцент, кафедра управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, yuliya.orobinskaya@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3707-3882

Ирина М. Жаркова 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, zharir@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-8662-4559

Дмитрий П. Ефремов экстерн, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, smkaltai@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6234-8174

Инесса В. Плотникова к.т.н., доцент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, plotnikova_2506@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-5959-6652

Ирина Н. Василенко к.э.н., доцент, кафедра управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, Irina_NW@bk.ru
https://orcid.org/0000-0002-2899-5455

Данил С. Иванчиков студент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ivanchikov_99@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-9814-6005

Вклад авторов

Юлия И. Слепокурова написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Ирина М. Жаркова написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Дмитрий П. Ефремов провёл эксперимент, выполнил расчёты

Инесса В. Плотникова корректировал рукопись до подачи ее в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Ирина Н. Василенко консультация в ходе исследования, корректировал рукопись до подачи ее в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Данил С. Иванчиков обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Yulia I. Slepokurova Cand. Sci. (Biol.), assistant professor, Management, Organizations Manufacturing and Industrial Economy department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, yuliya.orobinskaya@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3707-3882

Irina M. Zharkova 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, zharir@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-8662-4559

Dmitriy P. Efremov extern, Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, smkaltai@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6234-8174

Inessa V. Plotnikova Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, plotnikova_2506@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-5959-6652

Irina N. Vasilenko Cand. Sci. (Econ.), assistant professor, Management, Organizations Manufacturing and Industrial Economy department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, Irina_NW@bk.ru
https://orcid.org/0000-0002-2899-5455

Danil S. Ivanchikov student, Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ivanchikov_99@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-9814-6005

Contribution

Yulia I. Slepokurova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Irina M. Zharkova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Dmitriy P. Efremov conducted an experiment, performed computations

Inessa V. Plotnikova correct the manuscript before submitting it to the editorial office and is responsible for plagiarism

Irina N. Vasilenko consultation during the study, correct the manuscript before submitting it to the editorial office and is responsible for plagiarism

Danil S. Ivanchikov review of the literature on an investigated problem

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/02/2022	**После редакции** 12/03/2022	**Принята в печать** 22/03/2022
Received 20/02/2022	**Accepted in revised** 12/03/2022	**Accepted** 22/03/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-387-393 Обзорная статья/Review article
УДК 338.433.4:631.1 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Информационные технологии в АПК: импортозамещение, экономические вызовы и технологические альтернативы

Александр В. Эдер [1] alexander.eder@mail.ru
1 ЗАО «КРОК инкорпорейтед», ул. Волочаевская, д. 5, 1, Москва, 111033, Россия

Аннотация. В статье приведен обзор возможных механизмов импортозамещения информационных технологий в агропромышленном комплексе (АПК). Изменения в области международных отношений прямо затронули АПК РФ. Уход с рынка западных партнеров, всевозможные ограничения и нарушение логистических цепочек стали настоящим вызовом для российского агробизнеса. Эти трудности станут мощным импульсом для развития отечественного производства, что позволит занять освободившиеся ниши, переориентировать грузовые потоки, нарастить объемы импортозамещения, ускорить автоматизацию и цифровизацию процессов, и, в конечном итоге, выйти на новый уровень экономического развития отраслей АПК. В значительной степени именно информационные технологии (ИТ) станут индикатором, определяющим насколько успешно будут развиваться предприятия отрасли в краткосрочной и долгосрочной перспективах. Развитие агропромышленного комплекса – основополагающее направление в любой экономике, так как является важным стратегическим фактором, оказывающим влияние на социально-экономическую стабильность общества в целом. Комплексное и эффективное развитие АПК невозможно без применения передовых цифровых технологий. Цифровая трансформация будет способствовать развитию отечественной робототехники и всего ИТ-рынка. Темпы роста цифровизации АПК за последние годы, и ее доля в ВВП России пока отстают от ведущих экономик мира. В настоящее время в РФ посредством выполнения национальной программы «Цифровая экономика РФ» и ведомственного проекта «Цифровое сельское хозяйство» Минсельхоза России, а также за счет создания условий для опережающего развития и импортозамещения, растет количество инвестиционных проектов строительства и реконструкции объектов АПК. Новейшее оборудование и технологии требуют высокой степени автоматизации и применения передовых цифровых решений, в связи с чем значительно набирает обороты цифровая трансформация пищевых производств и, в целом, всех сфер АПК.

Ключевые слова: информационные технологии, импортозамещение, АПК, отечественное производство, экономическое развитие.

Information technology in agriculture: import substitution, economic challenges and technological alternatives

Alexander V. Eder [1] alexander.eder@mail.ru
1 Croc Incorporated JSC (ZAO), 5/1, Volochaevskaya St., Moscow, 111033, Russia

Abstract. The article provides an overview of possible mechanisms for import substitution of information technologies in the agro-industrial complex (AIC). Changes in the field of international relations directly affected the agro-industrial complex of the Russian Federation. The withdrawal of Western partners from the market, all kinds of restrictions and disruption of supply chains have become a real challenge for Russian agribusiness. These difficulties will become a powerful impetus for the development of domestic production, which will make it possible to occupy vacant niches, reorient cargo flows, increase import substitution, accelerate automation and digitalization of processes, and, ultimately, reach a new level of economic development of the agro-industrial complex. To a large extent, it is information technology (IT) that will become an indicator that determines how successfully enterprises in the industry will develop in the short and long term. The development of the agro-industrial complex is a fundamental direction in any economy, as it is an important strategic factor influencing the socio-economic stability of society as a whole. Comprehensive and effective development of the agro-industrial complex is impossible without the use of advanced digital technologies. Digital transformation will contribute to the development of domestic robotics and the entire IT market. The growth rate of digitalization of the agro-industrial complex in recent years, and its share in Russia's GDP, is still lagging behind the leading economies of the world. Currently, in the Russian Federation, through the implementation of the national program "Digital Economy of the Russian Federation" and the departmental project "Digital Agriculture" of the Ministry of Agriculture of Russia, as well as by creating conditions for advanced development and import substitution, the number of investment projects for the construction and reconstruction of agricultural facilities is growing. The latest equipment and technologies require a high degree of automation and the use of advanced digital solutions, and therefore the digital transformation of food production and, in general, all areas of the agro-industrial complex is gaining momentum.

Keywords: information technology, import substitution, agro-industrial complex, domestic production, economic development.

Введение

Изменения в области международных экономических отношений прямо затронули агропромышленный комплекс (АПК). Уход с рынка западных партнеров, всевозможные ограничения и нарушение логистических цепочек стали настоящим вызовом для российского агробизнеса. Несмотря на это, эксперты отрасли убеждены, что эти трудности станут мощным импульсом для развития всех сфер АПК, повышения экономической эффективности и конкурентоспособности отечественного производства. Предприятия активно перестраивают свою работу в соответствии с новыми экономическими условиями [1]. С учетом текущей ситуации важнейшими задачами для предприятий АПК Российской Федерации стали: стремление занять освободившиеся ниши, переориентировать грузовые потоки, нарастить объемы импортозамещения,

Для цитирования
Эдер А.В. Информационные технологии в АПК: импортозамещение, экономические вызовы и технологические альтернативы // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 387–393. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-387-393

For citation
Eder A.V. Information technology in agriculture: import substitution, economic challenges and technological alternatives. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 387–393. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-387-393

© 2022, Эдер А.В. / Eder A.V.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

ускорить автоматизацию и цифровизацию процессов сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности. В значительной степени именно информационные технологии (ИТ) станут индикатором, определяющим насколько успешно будут развиваться предприятия всех отраслей АПК в краткосрочной и долгосрочной перспективах [2–4], и какой процент прироста ВВП страны можно достичь за счет комплексного импортозамещения.

Темпы роста сельского хозяйства и обеспечивающих отраслей промышленности уже в ближайшие годы должны стать опережающими – выше 3 % ВВП РФ в год [5].

Со стороны агропромышленных компаний и предприятий рыбной отрасли уже несколько лет возрастает внимание к импортозамещению, в том числе в части информационных технологий, которые широко применяются на современных предприятиях АПК [6, 7]. На первый план выходят вопросы информационной безопасности, обеспечения отказоустойчивости, применения облачных сервисов и выбора решений для управления агробизнесом [8]. Для реализации данных задач необходимо выстроить надежный цифровой фундамент, и от того, как глубоко предприятия проработают этот базовый процесс, насколько компетентных партнеров выберут и зависит скорость экономического роста, рентабельность, конкурентоспособность и устойчивость их деятельности [9].

С каждым годом растет количество инвестиционных проектов строительства и реконструкции объектов АПК [10], вместе с тем увеличиваются бюджеты на эти цели. На поддержку аграриев в 2022 году будет дополнительно выделено не менее 153 млрд рублей [11]. Например, 5 млрд рублей будет выделено на поддержку селекционных и семеноводческих центров [12]. Как правило все новые объекты оснащены по последнему слову техники и технологий. Новейшее оборудование требует высокой степени автоматизации и применения передовых цифровых технологий, в связи с чем значительно набирает обороты цифровая трансформация пищевых производств и, в целом, всех сфер АПК [13, 14].

Благодаря применению «умных» устройств и интеграции корпоративных информационных систем (MES, ERP, APS, TMS, ТОиР и др.) в единую цифровую платформу, произошла перестройка значительной части бизнес-процессов предприятий АПК [15]. Теперь у агробизнеса появилась возможность контролировать полный цикл растениеводства, животноводства и сельхозпереработки, с необходимой точностью планировать график работ, оптимизировать риски, принимать обоснованные управленческие решения, влиять на себестоимость производства и прибыль.

До настоящего момента российские компании активно внедряли импортное оборудование и программное обеспечение (ПО). Сегодня западные производители массово приостановили работу на российском рынке, ограничивая работоспособность информационных систем, доступ к ИТ-приложениям и их сервисному обслуживанию. Предприятия столкнулись с необходимостью перехода на аналогичные отечественные ИТ-решения, но не у всех есть четкое понимание с чего нужно начинать и как экономически обоснованно обеспечить миграцию сложившейся информационной инфраструктуры на российское ПО и оборудование, не прерывая текущие бизнес-процессы. При этом предприятиям необходимо соблюсти все требования информационной безопасности для сохранения работоспособности ИТ-архитектуры.

Переход на отечественную ИТ-инфраструктуру требует настройки корректного взаимодействия обновленных информационных систем с теми решениями, которые уже есть у заказчиков. Это довольно сложная задача, реализация которой требует комплексного подхода и планирования.

Использование иностранного оборудования может быть затруднено без соответствующей гарантийной технической поддержки производителя. Предприятиям нужно определиться с дальнейшим сервисным партнером для обслуживания ИТ-инфраструктуры.

Для того, чтобы обеспечить стабильность ИТ-инфраструктуры, продлить срок ее эксплуатации, предприятиям рекомендуется заморозить все обновления иностранного ПО, так как любое новое обновление несет в себе риск стабильной работы. Следует провести ревизию имеющегося оборудования и определить ИТ-системы в зоне риска – т. е. те, для которых нет запасов запчастей или их приобретение затруднено. Критические для ведения бизнеса данные с иностранных ИТ-систем следует перенести на отечественные, чтобы обеспечить работоспособность ИТ-сервисов компаний.

Отраслевая экспертиза, знание законодательства и понимание бизнес-процессов заказчика позволяют отечественным ИТ-компаниям реализовывать самые сложные интеграционные проекты и решать нестандартные задачи по импортозамещению. Например, ИТ-системы оперативного управления производством класса MES (Manufacturing Execution System) уже давно не являются чем-то новым в ИТ-ландшафте предприятий и прошли свой путь через несколько итераций разработки и стандартизации [16].

Сегодня предприятия пищевой и перерабатывающей промышленности имеют серьезную мотивацию для скорейшего внедрения отечественных технологий по автоматизации планирования и оперативного управления производством.

Большое количество решений приходится принимать агробизнесу из сезона в сезон для того, чтобы максимально эффективно использовать все ресурсы в своем распоряжении и повышать свою производительность. Основой для принятия управленческих решений является большой массив данных, которые ежесекундно поступают с производственных объектов. Специальные устройства интернета вещей (IoT) собирают различные данные с полей, например датчики, которые нужно устанавливать в землю для определения влаги и состояния почвы. Другое оборудование монтируется на сельскохозяйственную технику, чтобы следить за ее маршрутом, показателями работы, уровне топлива и расходом посевных материалов в бункере. Есть метеостанции для предсказания погоды, сервисы для получения спутниковых снимков полей и дроны для составления карты поля и оценки состояния урожая. ИТ-системы на основе технологии больших данных (Big Data) собирают полученные данные, обрабатывают и анализируют их, чтобы затем предоставить пользователям единую точку доступа к достоверной информации [17]. Технологии бизнес-аналитики (BI) позволяют оперативно сформировать необходимые отчеты для принятия решений и эффективного управления производством.

В начале марта крупные глобальные провайдеры облачных сервисов Oracle и Microsoft (с облаком Azure) анонсировали уход с российского рынка [18]. То же самое сделал и SAP, все новые продукты которого (начиная с ERP-системы SAP S/4HANA) базируются на облачной платформе. О прекращении продаж в России программного обеспечения заявила и корпорация IBM, чья комплексная облачная платформа IBM Cloud включает более 170 продуктов и услуг с технологиями обработки данных, контейнеров, искусственного интеллекта, IoT и блокчейна.

С связи с этим фактом игроки агробизнеса, которым важно сохранить стабильное функционирование своих предприятий, находятся в поиске решений и технологий отечественного производства, которые позволят бесшовно и безопасно переключить ИТ-системы на отечественные аналоги.

Для решения этих проблем и поставленных задач в Российской Федерации проводится большое количество мероприятий: конференций разных форматов, конгрессов, саммитов, круглых столов [19, 20]. Одним из таких мероприятий стала сессия «Цифровизация АПК: задачи, перспективы, решения», которую организовала ИТ-компания КРОК [21]. На сессии был представлен портфель импортозамещающих решений (таблица 1), цель которых – обеспечить стабильную работоспособность компаний вне зависимости от ограничивающих условий рынка. Более пяти лет работы с вендорами из российского реестра позволило накопить определенный опыт, проверить добросовестность партнеров и находить для заказчиков быстрые альтернативные варианты для перестройки текущих процессов, выполнение которых в прежнем формате стало невозможным. В портфель вошли, в том числе, решения управления данными, промышленные СУБД, ETL, BI, Хранилища технологических и производственных данных и др.

Таблица 1.
Импортозамещение зарубежных ИТ-решений

Table 1.
Import substitution of foreign IT solutions

Класс продуктов	Импортный продукт	Предложение КРОК
СУБД	Vertica Cloudera Oracle MS SQL SAP HANA	Платформа данных на базе решений Arenadata DB (Greenplum), Arenadata Hadoop, ADQM (ClickHouse), Postgres Pro
ETL	SAP PO/PI SAP DS Informatica Power Center	Решение на базе продуктов ADS (Nifi, Kafka), Airflow и фреймворков КРОК (ELT, RT), Open Source – Pentaho
Управление данными	Alation Informatica Axon Ataccama Alteryx	Юнидата, Тринидата
Бизнес-аналитика (BI)	Tableau Power BI Qlik	Форсайт, LuxMs, Visiology
Хранилища технологических /производственных данных	OSIsoft PI AVEVA System Platform	Платформа «Промышленная аналитика КРОК» на базе решений Arenadata

Системы автоматизации предприятий должны работать надежно, бесперебойно и быть устойчивыми к возможным атакам. Формально, с точки зрения государства, объекты АПК не относятся к критической информационной инфраструктуре (КИИ), однако информационная безопасность в АПК стратегически важна.

Проблемы, которые происходят в результате кибератак, могут повлиять как на производителей, так и на потребителей, и случаи их возникновения ежегодно увеличиваются. За последние месяцы российский бизнес и государственные структуры подверглись беспрецедентным по своему размаху и интенсивности хакерским атакам. Так, в середине марта 2022 года АПХ «Мираторг» сообщил о кибератаке на информационные системы холдинга, в результате которой были нарушены функции ряда подразделений. Хозяйствующие субъекты, входящие в состав холдинга, были не в состоянии оформлять производственные и транспортные эВСД в течение нескольких суток. Месяцем ранее хакеры взломали управление оборудованием агрохаба «Селятино» в Московской области [22] и пытались испортить 40 тысяч тонн замороженной мясной и рыбной продукции. Оборудование имело доступ в сеть интернет для удаленного мониторинга за работой установок. Были зафиксированы и другие инциденты, когда, получив удаленный доступ, злоумышленники пытались повлиять на технологический процесс.

Один из самых существенных рисков, с которым могут столкнуться компании АПК – это остановка ИТ-сервисов, и, как следствие, ключевых бизнес-процессов организаций. На практике пользователи могут наблюдать некорректную работу ПО, недоступность корпоративных и интернет-ресурсов и т. д. Например, при выходе из строя второго фактора аутентификации сотрудники не могут подключиться к рабочим системам. И это еще не самые опасные ситуации. К примеру, если на птицефабрике будут взломаны ИТ-системы вентиляции в птичниках, то все поголовье в течение нескольких часов погибнет. Поэтому принимать меры по кибербезопасности своих систем предприятиям АПК необходимо как можно скорее.

Специалисты ИТ-компаний и эксперты отрасли рекомендуют выстраивать комплексную систему защиты информации (рисунок 1), включающую современные программные и аппаратные средства защиты, все регламенты и политики безопасности, а также подключать к задачам компетентный персонал, обученный администрированию и поддержке систем в актуальном состоянии [23]. Объекты промышленной автоматизации должны быть оснащены компонентами централизованного мониторинга, а также системами обнаружения и предотвращения вторжений [24, 25]. Доступ с удаленных рабочих мест необходимо осуществлять с помощью настройки VPN-клиента, двухфакторной аутентификации, антивирусной защиты, средств контроля абонентских устройств и действий пользователей. Данный набор инструментов и алгоритмов действий позволит создать замкнутую безопасную среду, в которой все объекты на сетевом уровне взаимодействуют через защищенные и контролируемые каналы связи.

Инновации в области сетевых технологий позволяют не только обеспечивать расширенную защиту от угроз, но и гибко масштабировать и изменять информационную сеть предприятия, а также адаптировать цифровую экосистему к меняющимся требованиям бизнеса, таким как поддержка удаленной и гибридной работы.

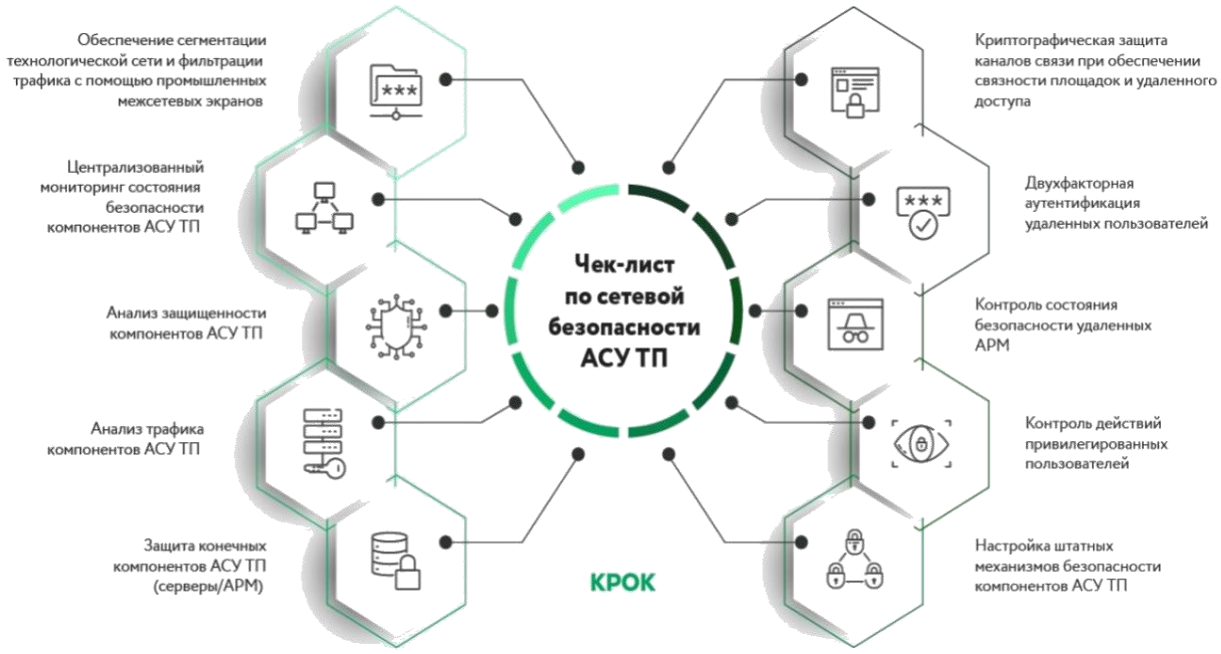


Рисунок 1. Список контрольных мероприятий по сетевой безопасности АСУТП

Figure 1. List of control measures for network security SCADA

Предприятия АПК РФ столкнулись с проблемой ухода с российского рынка более десятка иностранных вендоров информационной безопасности. Среди них крупные бренды – Cisco, IBM, Imperva, Fortinet, Microsoft, Norton, Avast и др. [26] Тем не менее, в России информационной безопасностью занимаются несколько десятков отечественных вендоров, в том числе «Код безопасности», Лаборатория Касперского и IT Bastion, поэтому найти альтернативные предложения – вполне реальная задача. Главное – подобрать грамотных ИТ-специалистов, которые помогут определить «узкие» места, обозначить необходимые шаги для блокирования потенциальных рисков в рамках технологических окон, найти оптимальные замещенные решения, провести анализ совместимости информационных систем и обойти возможные технические сложности.

До недавнего времени на рынке информационных систем, которые использует агропромышленный бизнес, были в основном зарубежные игроки, несмотря на внушительный реестр отечественного программного обеспечения. Сейчас ситуация меняется, и у многих российских вендоров появился шанс заявить о себе и успешно заменить иностранные аналоги.

Развитие агропромышленного комплекса – основополагающее направление в любой экономике, так как является важным стратегическим фактором, оказывающим влияние на социально-экономическую стабильность общества в целом. Комплексное и эффективное развитие АПК невозможно без применения передовых цифровых технологий. Цифровая трансформация будет способствовать развитию отечественной робототехники и всего ИТ-рынка.

Заключение

Темпы роста цифровизации АПК за последние годы, и ее доля в ВВП России пока отстают от ведущих экономик мира. В настоящее время в РФ посредством выполнения национальной программы «Цифровая экономика РФ» и ведомственного проекта «Цифровое сельское хозяйство» Минсельхоза России, а также за счет создания условий для опережающего развития и импортозамещения, растет количество инвестиционных проектов строительства и реконструкции объектов АПК. Новейшее оборудование и технологии требуют высокой степени автоматизации и применения передовых цифровых решений, в связи с чем значительно набирает обороты цифровая трансформация пищевых производств и, в целом, всех сфер АПК.

Литература

1 Williamson O.E. The economics and sociology of organization: Promoting a dialogue // Industries, firms, and jobs. Routledge, 2017. P. 159-186.

2 Щербина Т.А. Цифровая трансформация сельского хозяйства РФ: опыт и перспективы // Россия: тенденции и перспективы развития. 2019. №. 14-1. С. 450-453.

3 Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство». М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 48 с.

4 Водянников В.Т., Субаева А.К. Техническое перевооружение сельского хозяйства в условиях цифровизации // Агроинженерия. 2021. № 1 (101). С. 58–62. doi: 10.26897/2687–1149–2021–1–58–62.

5 Климентьев М. Рачительный экспорт и обоюдоострая национализация. Путин выступил на совещании по АПК. URL: https://tass.ru/ekonomika/14287797

6 Эдер А.В. Экономическая целесообразность внедрения ИТ-решений на предприятиях пищевой промышленности // Все о мясе. 2018. № 4. С. 26–29.

7 Вартанова М.Л., Дробот Е.В. Перспективы цифровизации сельского хозяйства как приоритетного направления импортозамещения // Экономические отношения. 2018. № 1. С. 1–18. doi: 10.18334/eo.8.1.38881

8 Медведева А. Обзор агротех-решений на российском рынке: выбираем систему для управления агробизнесом // AgroXXI. Сельхозтехника. 2020. URL: https://www.agroxxi.ru/selhoztehnika/stati/obzor-agroteh-reshenii-na-rossiiskom-rynke-vybiraem-sistemu-dlja-upravlenija-agrobiznesom.html

9 Ильина А.А., Кудряшов А.А. Модель цифровой платформы АПК // Экономика, предпринимательство и право. 2020. Т. 10. № 1. С. 99–108.

10 Губанов Р.С. Анализ приоритетных инвестиционных проектов, реализуемых в отраслях агропромышленного комплекса // Экономические отношения. 2018. № 3. С. 389–398. doi: 10.18334/eo.8.3.39317

11 Российский АПК получит 153 млрд рублей из федерального бюджета // Федеральный бизнес журнал. URL: https://business-magazine.online/fn_63069.html

12 Латухина К. Путин назвал пять мер поддержки аграриев // Российская газета RG.RU. URL: https://rg.ru/2022/04/05/putin-nazval-piat-mer-podderzhki-agrariev-glavnoe.html

13 Вартанова М.Л., Дробот Е.В. Авангардные новации цифровой трансформации российского сельского хозяйства // Продовольственная политика и безопасность. 2018. № 1. С. 27–35. doi: 10.18334/ppib.5.1.40107

14 Романова Л.В., Шашкова И.Г. Развитие агропромышленного комплекса в условиях цифровой экономики // Фундаментальные исследования. 2020. №. 11. С. 152-156.

15 Эдер А.В., Киселев А.А. Успешное внедрение ERP системы // Мясная индустрия. 2021. № 8. С. 11.

16 Эдер А.В., Прудников Д.А. MES система оперативного управления производством – базовый модуль цифровой экосистемы предприятий АПК // Мясные технологии. 2022. № 1 (229). С. 50–51.

17 Архипов А.Г., Косогор С.Н., Моторин О.А., Горбачев М.И. и др. Цифровая трансформация сельского хозяйства России: офиц. изд. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 80 с.

18 Мельникова Ю. Над Россией разошлись облака // Новости цифровой трансформации, телекоммуникаций, вещания и ИТ. 2022. URL: https://www.comnews.ru/content/219229/2022–03–14/2022 w11/nad-rossiey-razoshlis-oblaka

19 Савельева М.И., Захаров А.Н. Инновация, роботизация и глобальная цифровизация – отражение развития отечественного АПК // Все о мясе. 2021. № 6. С. 58–64. doi: 10.21323/2071–2499–2021–6–58–64

20 Савельева М.И. Государственная аграрная политика в России // Все о мясе. 2019. № 3. С. 53–60. doi: 10.21323/ 2071–2499–2019–3–53–60

21 Цифровизация агропромышленного комплекса: задачи, перспективы, решения. URL: https://www.croc.ru/ events/digitalization-of-the-agro-industrial-complex/

22 Селиверстова Н. Хакеры взломали оборудование агрохаба «Селятино» // Агенство экономической информации ПРАЙМ. URL: https:// 1prime.ru/state_regulation/20220228/836207752.html

23 Winter S.G. Pursuing the evolutionary agenda in economics and management research // Cambridge Journal of economics. 2017. V. 41. №. 3. P. 721-747. doi: 10.1093/cje/bex009

24 McIntyre D.P., Srinivasan A. Networks, platforms, and strategy: Emerging views and next steps // Strategic management journal. 2017. V. 38. №. 1. P. 141-160. doi: 10.1002/smj.2596

25 Гришина Н.В. Организация комплексной системы защиты информации. М.: Гелиос АРВ, 2007. 256 с.

26 Крупин А. Курс на импортозамещение: выбираем российские аналоги иностранного ПО // 3DNews. Daily Digital Digest. 2022. URL: https:// 3dnews.ru/1062353/russian-sofware-guide

References

1 Williamson O.E. The economics and sociology of organization: Promoting a dialogue. Industries, firms, and jobs. Routledge, 2017. pp. 159-186.

2 Shcherbina T.A. Digital transformation of agriculture in the Russian Federation: experience and prospects. Russia: trends and development prospects. 2019. no. 14-1. pp. 450-453. (in Russian).

3 Departmental project "Digital Agriculture". Moscow, FGBNU "Rosinformagrotech", 2019. 48 p. (in Russian).

4 Vodyannikov V.T., Subaeva A.K. Technical re-equipment of agriculture in the context of digitalization. Agroengineering. 2021. no. 1 (101). pp. 58–62. doi: 10.26897/2687-1149-2021-1-58-62 (in Russian).

5 Klimentiev M. Rational export and double-edged nationalization. Putin spoke at a meeting on the agro-industrial complex. Available at: https://tass.ru/ekonomika/14287797 (in Russian).

6 Eder A.V. Economic feasibility of implementing IT solutions at food industry enterprises. All about meat. 2018. no. 4. pp. 26–29. (in Russian).

7 Vartanova M.L., Drobot E.V. Prospects for the digitalization of agriculture as a priority for import substitution. Economic relations. 2018. no. 1. pp. 1–18. doi:10.18334/eo.8.1.38881 (in Russian).

8 Medvedeva A. Overview of agrotech solutions on the Russian market: choosing a system for managing agribusiness. AgroXXI. Agricultural machinery. 2020. Available at: https://www.agroxxi.ru/selhoztehnika/stati/obzor-agroteh-reshenii-na-rossiiskom-rynke-vybiraem-sistemu-dlja-upravlenija-agrobiznesom.html (in Russian).

9 Ilyina A.A., Kudryashov A.A. Model of the digital platform of the agro-industrial complex. Economics, entrepreneurship and law. 2020. vol. 10. no. 1. pp. 99–108. (in Russian).

10 Gubanov R.S. Analysis of priority investment projects implemented in the branches of the agro-industrial complex. Economic relations. 2018. no. 3. pp. 389–398. doi:10.18334/eo.8.3.39317 (in Russian).

11 The Russian agro-industrial complex will receive 153 billion rubles from the federal budget. Federal Business Journal. Available at: https://business-magazine.online/fn_63069.html (in Russian).

12 Latukhina K. Putin named five measures to support farmers. Rossiyskaya Gazeta RG.RU. Available at: https://rg.ru/2022/04/05/putin-nazval-piat-mer-podderzhki-agrariev-glavnoe.html (in Russian).

13 Vartanova M.L., Drobot E.V. Avant-garde innovations in the digital transformation of Russian agriculture. Food policy and security. 2018. no. 1. pp. 27–35. doi:10.18334/ppib.5.1.40107 (in Russian).

14 Romanova L.V., Shashkova I.G. Development of the agro-industrial complex in the digital economy. Fundamental research. 2020. no. 11. pp. 152-156. (in Russian).

15 Eder A.V., Kiselev A.A. Successful implementation of the ERP system. Meat industry. 2021. no. 8. pp. 11. (in Russian).

16 Eder A.V., Prudnikov D.A. MES system of operational management of production - the basic module of the digital ecosystem of agricultural enterprises. Myasnye tekhnologii. 2022. no. 1 (229). pp. 50–51. (in Russian).

17 Arkhipov A.G., Kosogor S.N., Motorin O.A., Gorbachev M.I. et al. Digital transformation of Russian agriculture: official. ed. Moscow, FGBNU "Rosinformagrotech", 2019. 80 p. (in Russian).

18 Melnikova Y. Clouds have parted over Russia. News of digital transformation, telecommunications, broadcasting and IT. 2022. Available at: https://www.comnews.ru/content/219229/2022–03–14/2022 w11/nad-rossiey-razoshlis-oblaka (in Russian).

19 Savelyeva M.I., Zakharov A.N. Innovation, robotization and global digitalization - a reflection of the development of the domestic agro-industrial complex. All about meat. 2021. no. 6. pp. 58–64. doi: 10.21323/2071–2499–2021–6–58–64 (in Russian).

20 Savelyeva M.I. State agrarian policy in Russia. All about meat. 2019. no. 3. pp. 53–60. doi: 10.21323/2071–2499–2019–3–53–60 (in Russian).

21 Digitalization of the agro-industrial complex: tasks, prospects, solutions. Available at: https://www.croc.ru/events/digitalization-of-the-agro-industrial-complex/ (in Russian).

22 Seliverstova N. Hackers hacked the equipment of the agricultural hub "Selyatino". Economic Information Agency PRIME. Available at: https://1prime.ru/state_regulation/20220228/836207752.html (in Russian).

23 Winter S.G. Pursuing the evolutionary agenda in economics and management research. Cambridge Journal of economics. 2017. vol. 41. no. 3. pp. 721-747. doi: 10.1093/cje/bex009

24 McIntyre D.P., Srinivasan A. Networks, platforms, and strategy: Emerging views and next steps. Strategic management journal. 2017. vol. 38. no. 1. pp. 141-160. doi: 10.1002/smj.2596

25 Grishina N.V. Organization of an integrated information security system. Moscow, Helios ARV, 2007. 256 p. (in Russian).

26 Krupin A. The course towards import substitution: choosing Russian analogues of foreign software. 3DNews. Daily Digital Digest. 2022. Available at: https://3dnews.ru/1062353/russian-software-guide (in Russian).

Сведения об авторах

Александр В. Эдер к.т.н., директор по отраслевым решениям, ЗАО «КРОК инкорпорейтед», ул. Волочаевская, д. 5, 1, Москва, 111033, Россия, alexander.eder@mail.ru
https://orcid.org/

Information about authors

Alexander V. Eder Cand. Sci. (Engin.), industry solutions director, Croc Incorporated JSC (ZAO), 5/1, Volochaevskaya St., Moscow, 111033, Russia, alexander.eder@mail.ru
https://orcid.org/

Вклад авторов

Александр В. Эдер написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Alexander V. Eder 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 20/04/2022	**После редакции** 10/05/2022	**Принята в печать** 01/06/2022

Received 20/04/2022	**Accepted in revised** 10/05/2022	**Accepted** 01/06/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-394-399 Оригинальная статья/Research article
УДК 636.085 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Оценка современного состояния отечественного рынка комбикормов в условиях новой экономической реальности

Игорь Е. Кузнецов [1] igor90011@icloud.com
Евгения И. Закурдаева [1] zackurdae-vaevgenia@yandex.ru
Константин А. Бражников [1] uopioe@yandex.ru
Карина В. Матухнова [1] karinamatyxnova@gmail.com
Дарья А. Ступникова [1] stupnikova.darya@mail.ru

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

Аннотация. В статье раскрыто текущее состояние отечественного рынка комбикормовой промышленности Российской Федерации, приведены данные по объемам производства и ценовой политики в области комбикормов и премиксов. Обозначены основные проблемы, связанные с обеспечением стабильного развития комбикормовой промышленности в условиях мировой нестабильности. Объемы производства продукции отрасли ежегодно возрастают. По данным Росстата, в 2021 г. объем производства комбикормов в России составил 31,9 млн т – примерно на 1,1 млн т, или на 3,4%, больше, чем годом ранее. При этом, в общей структуре производства на долю комбикормов для сельскохозяйственной птицы пришлось 49,0% от общего объема производства (15 719,6 тыс. т), на долю комбикормов для свиней и КРС соответственно 41,9% (13 421,3 тыс. т) и 8,4% (2 680,3 тыс. т), для прочих животных – 0,7% (239,5 тыс. т). Стратегических запасов по кормовым добавкам в стране практически нет, а вот запасы зерна пока стабильны. Основные сложности, с которыми комбикормовая отрасль уже сталкивается, это не до конца понятные статусы импортеров кормовых добавок. Проведенное исследование позволило сформировать общее представление о современном состоянии и тенденциях развития отечественного комбикормового производства и его сырьевых ресурсах. От качества и оперативности принятия управленческих решений названных проблем зависит не только стабильно-прогрессивное будущее отечественной комбикормовой промышленности, но и обеспечение продовольственной безопасности страны.

Ключевые слова: комбикормовая промышленность, тенденции развития, производительность, ценообразование, проблемы импортозамещения, животноводство, птицеводство, премиксы, импорт, экспорт.

Assessment of the current state of the domestic mixed fodder market under the new economic reality

Igor. E. Kuznetsov [1] igor90011@icloud.com
Evgeniya I. Zakurdaeva [1] zackurdae-vaevgenia@yandex.ru
Konstantin A. Brazhnikov [1] uopioe@yandex.ru
Karina V. Matukhnova [1] karinamatyxnova@gmail.com
Daria A. Stupnikova [1] stupnikova.darya@mail.ru

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

Abstract. The article reveals the current state of the domestic market of the feed industry of the Russian Federation, provides data on production volumes and pricing policy in the field of feed and premixes. The main problems associated with ensuring the stable development of the feed industry in the conditions of global instability are outlined. The production volumes of the industry are increasing every year. According to Rosstat, in 2021, the volume of feed production in Russia amounted to 31.9 million tons, which is about 1.1 million tons, or 3.4%, more than a year earlier. At the same time, in the overall structure of production, the share of compound feed for poultry accounted for 49.0% of the total production volume (15,719.6 thousand tons), the share of compound feed for pigs and cattle, respectively, 41.9% (13,421.3 thousand . t) and 8.4% (2,680.3 thousand tons), for other animals - 0.7% (239.5 thousand tons). There are practically no strategic stocks of feed additives in the country, but grain stocks are still stable. The main difficulties that the feed industry is already facing are the statuses of importers of feed additives that are not fully understood. The study made it possible to form a general idea of the current state and development trends of domestic feed production and its raw materials. Not only the stable and progressive future of the domestic feed industry, but also the provision of the country's food security depends on the quality and efficiency of making managerial decisions on these problems.

Keywords: feed industry, development trends, productivity, pricing, import substitution problems, animal husbandry, poultry farming, premixes, import, export.

Для цитирования
Кузнецов И.Е., Закурдаева Е.И., Бражников К.А., Матухнова К.В., Ступникова Д.А. Оценка современного состояния отечественного рынка комбикормов в условиях новой экономической реальности // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 394–399. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-394-399

For citation
Kuznetsov I.E., Zakurdaeva E.I., Brazhnikov K.A., Matukhnova K.V., Stupnikova D.A. Assessment of the current state of the domestic mixed fodder market under the new economic reality. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 394–399. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2-394-399

© 2022, Кузнецов И.Е. и др. / Kuznetsov I.E. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Комбикормовая промышленность России является стабильно развивающейся отраслью, которая входит в аграрно-промышленный комплекс страны. Она была сформирована в результате интенсивного развития животноводства и увеличения объемов выращивания зерновых культур, ставших основным сырьем в производстве комбикормов.

В современной мировой и отечественной экономике продовольственная безопасность является важнейшим ориентиром развития. Ключевым фактором отраслевого роста в последние годы является доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденной Указом Президента России № 20 от 21 января 2020 г. Именно она предполагает развитие производства комбикормов, кормовых добавок для животных, минеральных добавок, в том числе за счет внедрения конкурентоспособных отечественных технологий, основанных на новейших достижениях науки. Кроме того Доктрина диктует норму самообеспечения сельскохозяйственной продукцией, сырьем и продовольствием.

Объемы производства продукции отрасли ежегодно возрастают (рисунок 1). По данным Росстата, в 2021 г. объем производства комбикормов в России составил 31,9 млн т – примерно на 1,1 млн т, или на 3,4%, больше, чем годом ранее. При этом, в общей структуре производства на долю комбикормов для сельскохозяйственной птицы пришлось 49,0% от общего объема производства (15 719,6 тыс. т), на долю комбикормов для свиней и КРС соответственно 41,9% (13 421,3 тыс. т) и 8,4% (2 680,3 тыс. т), для прочих животных – 0,7% (239,5 тыс. т).

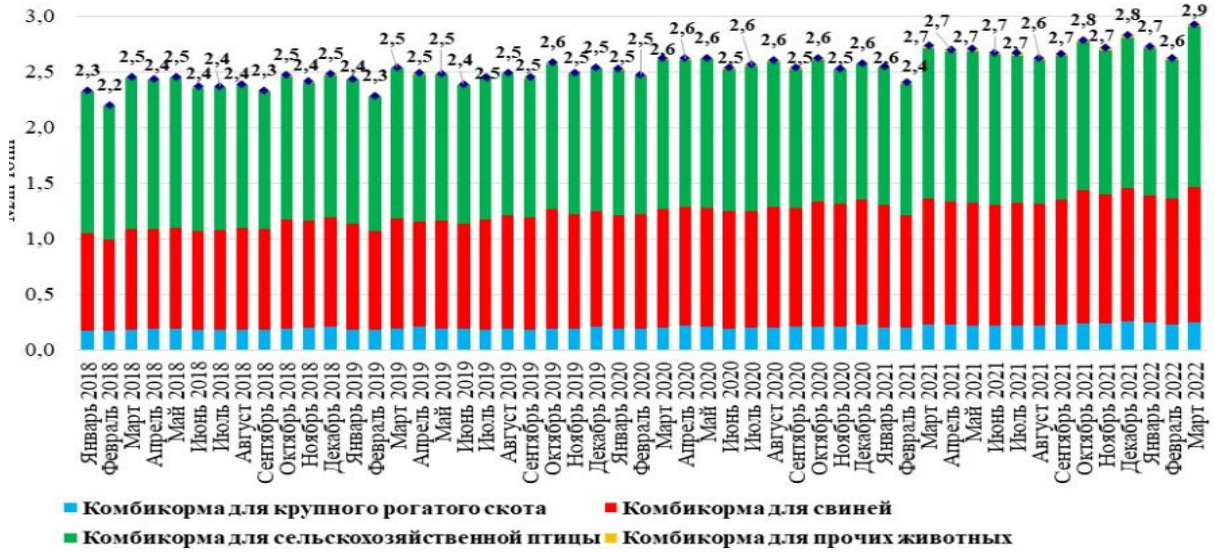


Рисунок 1. Динамика производства комбикормов в РФ 2018–2022 годах

Figure 1. Dynamics of compound feed production in the Russian Federation in 2018–2022

Максимальные темпы отмечены в производстве комбикормов для крупного рогатого скота, объем выпуска которых в 2021 г. составил 2 680,3 тыс. т. Это на 9,2% (на 226,7 тыс. т) больше, чем в 2020 г. В январе-марте 2022 г. объем производства находился на уровне 716,5 тыс. т, что, по расчетам, на 14,8% (на 92,5 тыс. тонн) больше, чем в январе-марте 2021 г.

Объем производства комбикормов для свиней в нашей стране в 2021 г. находился на уровне в 13 421,3 тыс. т. Это на 4,5% (на 579,4 тыс. т.) больше, чем за предыдущий год. В январе-марте 2022 г. объем производства составил 3 493,0 тыс. т. По отношению к аналогичному периоду годичной давности, производство возросло на 7,6% (на 246,4 тыс. т).

Самые низкие темпы прироста в 2021 г. показал объем производства комбикормов для сельскохозяйственной птицы, составивший 15 719,6 тыс. т., что на 2,2% (на 341,5 тыс. т) превышает значения предыдущего периода. В январе-марте 2022 г. производство достигло показателя 4 008,3 тыс. т, что на 6,2% (на 233,0 тыс. т) больше, чем за аналогичный период 2021 г.

Выпуск комбикормов для прочих сельскохозяйственных животных увеличивался ускоренными темпами и в 2021 г. достиг объема производства в 239,5 тыс. т. Это на 47,0% (на 76,5 тыс. т) больше, чем в 2020 г. В январе-марте 2022 г. производство составило 47,3 тыс. т., что на 14,2% (на 6,7 тыс. т) превысило уровень аналогичного периода прошлого года.

При этом, как отмечают эксперты, сложившиеся цены на комбикорма в настоящее время находятся на самом высоком уровне за последние годы. Несмотря на то, что их устойчивый рост отмечался уже начиная с 2020 г., однако в первом квартале 2022 г. рост цен значительно усилился (рисунок 2).

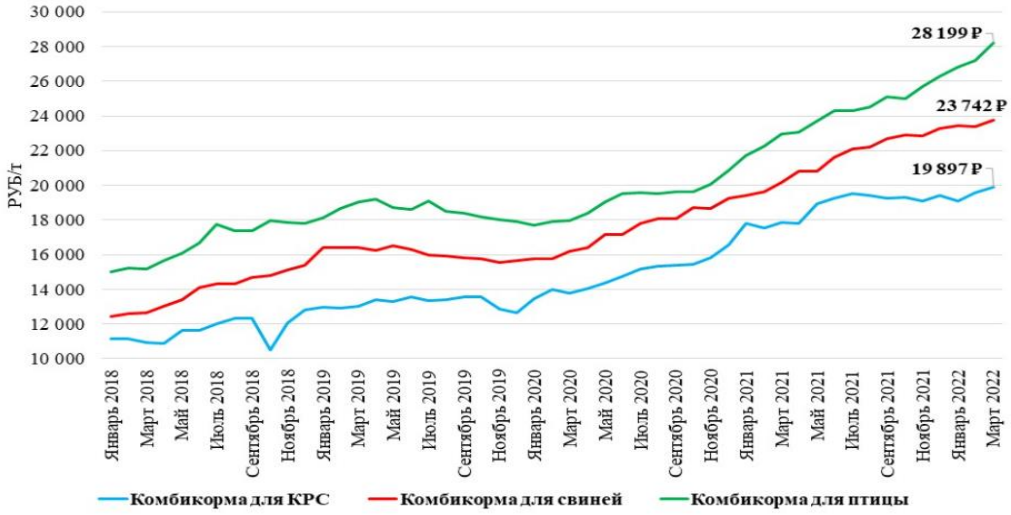


Рисунок 2. Динамика цен на комбикорма в РФ 2018–2022 гг.

Figure 2. Dynamics of prices for compound feed in the Russian Federation 2018–2022

Цены на комбикорма для КРС в марте 2022 г. находились на отметках 19897 р./т. По отношению к февралю этого же года они выросли более чем на 1,7%. С начала года (при сравнении с показателями за январь) рост цен составил 4,1%. За год, по отношению к марту 2021 г., цены увеличились на 11,3%.

Цены на комбикорма для свиней в марте 2022 г. составили 23742 р./т. В сравнении с февралем 2022 г. они выросли на 1,5%. Но уже по отношению к началу года рост цен составил 1,3%. За год, по отношению к марту 2021 г., цены выросли на 17,8%.

Уровень цен на комбикорма для сельскохозяйственной птицы в марте 2022 г. достиг отметок в 28199 руб./т. Прирост цен к февралю 2022 г. составил 3,6%. В сравнении с началом этого же года цены увеличились на 5,1%. По отношению к аналогичному периоду прошлого года цены выросли на 22,9%.

В настоящее время в условиях санкций и нестабильности на международном логистическом рынке многие компании, которые ранее осуществляли перевозки грузов в Россию, независимо от способа доставки груза (земля, вода) и места отгрузки, практически перестали оказывать нашей стране транспортные услуги. Однако РФ продолжает работать, адаптируя обычные режимы к сложившейся ситуации, в том числе с логистическими компаниями Китая. Некоторые европейские поставщики продолжают исполнять текущие контракты, но согласно экспертным оценкам, делать вывод, что в нашей стране достаточно товарных запасов на складах для бесперебойной работы, достаточно сложно. В лучшем случае у отечественных предприятий есть прочный запас на два месяца. Таким образом, японская модель работы с иностранными поставщиками just in time, как оказалось, имеет определенные риски.

Стратегических запасов по кормовым добавкам в стране практически нет, а вот запасы зерна пока стабильны. Основные сложности, с которыми комбикормовая отрасль уже сталкивается, это не до конца понятные статусы импортеров кормовых добавок: поставщики могут достаточно часто менять свои решения о возможности поставки своей продукции продукции в нашу страну. Причем они, как правило, не принимают самостоятельных решений, а следуют общеевропейскому курсу. Поэтому сложившуюся ситуацию можно оценить как достаточно сложную и не всегда предсказуемую. Чтобы минимизировать новые риски, помимо тех, что сохраняются в плане логистики еще из-за COVID-ограничений, необходима твердая политическая воля на макро-, мезо- и микроуровнях экономики.

Вместе с тем, отметим, что отрасль, получившая импульс развития отечественного производства и активного осваивания данного рыночного сегмента с 2013 г., продолжает развиваться, учитывая следующие факторы: устойчивый рост спроса со стороны животноводческих хозяйств, меры государственной поддержки отечественных кормопроизводителей, входящих в состав сельскохозяйственных организаций, значительный рост цен на импорт.

Отметим, что наблюдающееся в последнее время несоответствие темпов наращивания объемов выработки комбикормов темпам роста потребности в них животноводства приводит к неблагоприятной рыночной конъюнктуре, возникновению напряженности на потребительском рынке и, в конечном итоге, к необоснованному росту цен. Для наиболее полного удовлетворения спроса на сбалансированные по питательной ценности комбикорма и кормовые смеси необходимы всесторонняя поддержка предприятий данной отрасли органами власти, формирование единой политики и стратегии ее развития, создание оптимальной системы доставки кормов до конечных потребителей, научное обоснование подходов к интеграции и кооперации хозяйствующих субъектов, основанных на принципах взаимовыгодного сотрудничества.

На основе проведенного анализа состояния комбикормовой промышленности в России можно выделить ряд ключевых причин, которые в настоящее время сдерживают развитие отрасли. Кроме зависимости от импортных поставок, негативное влияние на состояние отечественного производства комбикормов оказывает несовершенство нормативно-законодательной базы, что не позволяет нивелировать «теневой» рынок, а также значительные объемы фальсифицированной продукции. В состав рецептуры качественных комбикормов входят премиксы (0,3–1,0%), на которые приходится от 1 до 30% от веса белково-витаминно-минеральных добавок. При этом, на национальный рынок они преимущественно поставляются из-за рубежа.

Сегодня необходимо проведение исследований имеющихся проблем и постоянный мониторинг, чтобы выявлять основные моменты, ключевые факторы и сложившиеся тенденции для принятия эффективных управленческих решений как в тактическом, так и в стратегическом плане. Практическая значимость научного исследования состоит в том, что основные результаты и выводы могут быть использованы руководством отраслевых ведомств при составлении и реализации планов стратегического развития кормового производства в стране и отдельных регионах. Кроме того, ознакомление с данной информацией может быть полезным работникам интеллектуальной сферы, в частности, научно образовательным учреждениям, для более четкого представления ситуации о состоянии и развитии комбикормовой промышленности. Это позволит выработать основу для подготовки и проведения специализированных исследований, связанных с выявлением системных проблем и разработкой комплексных решений в производственной, управленческой, организационной, финансовой, социально-экономической и административно – правовой сфере.

Как считают ученые и практики, по наиболее вероятному сценарию развития объемы производства комбикормов будут ежегодно увеличиваться на 1 млн т (3–5% в год), и в 2025 г. достигнут показателя в 35 млн т. Для развития отрасли по «оптимистичному» сценарию государству и лидерам отрасли необходимо развивать программу по импортозамещению, внедрять инновационные отечественные технологии производства необходимых кормовых добавок, поддерживать строительство новых производственных мощностей, а также оптимизировать использование текущих.

Заключение

Проведенное исследование позволило сформировать общее представление о современном состоянии и тенденциях развития отечественного комбикормового производства и его сырьевых ресурсах. От качества и оперативности принятия управленческих решений названных проблем зависит не только стабильно-прогрессивноебудущее отечественной комбикормовой промышленности, но и обеспечение продовольственной безопасности страны.

Литература

1 Дорохов А.С., Чилингарян Н.О. Состояние и перспективы развития комбикормовой промышленности в Российской Федерации // Аграрный вестник Урала. 2020. № 07 (198). С. 75–84.

2 Цены в России. 2018: статистический сборник. М.: Росстат, 2020. С. 700.

3 Афанасьев В.А. Современное состояние и перспективы развития комбикормовой промышленности Российской Федерации // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2012. № 3 (34). С. 116–124.

4 Фоминых А.В., Миколайчик И.Н., Овчинникова Ю.И., Овчинников Д.Н. Совершенствование технологий и технических средств производства комбикормов и БМВД для сельскохозяйственных животных и птицы // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2017. №. 7. С. 53-58.

5 Богомолова И.П., Василенко И.Н., Силва С.Д.П.Д. Научное исследование динамики и тенденций развития отечественной комбикормовой промышленности // Вектор экономики. 2016. № 6(6). С. 46.

6 Состояние и перспективы развития российской комбикормовой промышленности. URL: https://www.tsenovik.ru/

7 bizness/articles/mkorm/sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-rossiyskoy-kombikormovoy-promyshlennosti-situation-and-developmen/

8 Российский рынок комбикормов - некоторые тенденции. URL: https://ab-centre.ru/news/rossiyskiy-rynok-kombikormov---nekotorye-tendencii

9 Вервейко Б.Н., Кучеров В.А. Пять лет на рынке комбикормов // Птицеводство. 2013. №. 2. С. 33-36.

10 Сущеня О.А. Особенности формирования и развития регионального рынка комбикормов республики Беларусь // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. №. 4. С. 31-35.

11 Богомолов А.В. Современное состояние отечественного рынка комбикормов // Экономика. Инновации. Управление качеством. 2017. №. 1. С. 11а-12.

12 Shrinivasa D.J., Mathur S.M. Compound feed production for livestock // Curr Sci. 2020. V. 118. P. 553-559. doi: 10.18520/cs/v118/i4/553-559

13 Čolović R., Puvača N., Cheli F., Avantaggiato G. et al. Decontamination of mycotoxin-contaminated feedstuffs and compound feed // Toxins. 2019. V. 11. №. 11. P. 617. doi: 10.3390/toxins11110617

14 Negash D. Review on compound animal feed processing in Ethiopia: Condition, challenges and opportunities // Journal of Nutrition and Health. 2017. V. 3. №. 2.

15 Zegeye D.M. Nutritional evaluation of insect's pupae-larvae and its utilization in poultry compound feed // The Open Agriculture Journal. 2020. V. 14. №. 1. doi: 10.2174/1874331502014010001

16 Marković Z., Stanković M., Rašković B., Dulić Z. et al. Comparative analysis of using cereal grains and compound feed in semi-intensive common carp pond production // Aquaculture international. 2016. V. 24. №. 6. P. 1699-1723. doi: 10.1007/s10499-016-0076-z

17 Dejene M., Bediye S., Alemu D., Kitaw G. et al. Livestock feed marketing in Ethiopia: Challenges and opportunities for livestock development // Journal of Agricultural Science and Technology. A. 2014. V. 4. №. 2A.

18 Godliauskienė R., Tamošiūnas V., Naujalis E. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins/furans and dioxin-like polychlorinated biphenyls in food and feed in the Lithuanian market // Toxicological & Environmental Chemistry. 2017. V. 99. №. 1. P. 65-77. doi: 10.1080/02772248.2016.1174704

19 Velasco-Escudero M., Montoya-Ospina R. Regulatory aspects of compound feed in aquaculture // Feed and Feeding Practices in Aquaculture. Woodhead Publishing, 2015. P. 127-138. doi: 10.1016/B978-0-08-100506-4.00005-2

20 Li Z.F., Gong W., Wang J., Wang G. et al. Evaluation of effects of frozen fresh fish and artificial compound feed on muscle quality and health status of Micropterus salmoides // Chinese Journal of Animal Nutrition. 2017. V. 29. №. 11. P. 4180-4188.

21 Pisciottano I.D.M., Guadagnuolo G., Soprano V., Esposito M. et al. A survey of Δ9-THC and relevant cannabinoids in products from the Italian market: A study by LC–MS/MS of food, beverages and feed // Food Chemistry. 2021. V. 346. P. 128898. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128898

References

1 Dorokhov A.S., Chilingaryan N.O. Status and prospects for the development of the feed industry in the Russian Federation. Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. no. 07 (198). pp. 75–84. (in Russian).

2 Prices in Russia. 2018: statistical collection. Moscow, Rosstat, 2020. pp. 700. (in Russian).

3 Afanasiev V.A. The current state and prospects for the development of the feed industry of the Russian Federation. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2012. no. 3 (34). pp. 116–124. (in Russian).

4 Fominykh A.V., Mikolaichik I.N., Ovchinnikova Yu.I., Ovchinnikov D.N. Improvement of technologies and technical means for the production of mixed fodder and BMVD for farm animals and poultry. Feeding farm animals and feed production. 2017. no. 7. pp. 53-58. (in Russian).

5 Bogomolova I.P., Vasilenko I.N., Silva S.D.P.D. Scientific study of the dynamics and trends in the development of the domestic feed industry. Vector of the economy. 2016. no. 6(6). pp. 46. (in Russian).

6 Status and prospects for the development of the Russian feed industry. Available at: https://www.tsenovik.ru/bizness/articles/mkorm/sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-rossiyskoy-kombikormovoy-promyshlennosti-situation-and-developmen/ (in Russian).

7 Russian feed market - some trends. Available at: https://ab-centre.ru/news/rossiyskiy-rynok-kombikormov---nekotorye-tendencii (in Russian).

8 Verveiko B.N., Kucherov V.A. Five years on the compound feed market. Poultry farming. 2013. no. 2. pp. 33-36. (in Russian).

9 Sushchenya O.A. Peculiarities of Formation and Development of the Regional Feed Market of the Republic of Belarus. Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2017. no. 4. pp. 31-35. (in Russian).

10 Bogomolov A.V. The current state of the domestic feed market. Economics. Innovation. Quality control. 2017. no. 1. pp. 11a-12. (in Russian).

11 Shrinivasa D.J., Mathur S.M. Compound feed production for livestock. Curr Sci. 2020. vol. 118. pp. 553-559. doi: 10.18520/cs/v118/i4/553-559

12 Čolović R., Puvača N., Cheli F., Avantaggiato G. et al. Decontamination of mycotoxin-contaminated feedstuffs and compound feed. Toxins. 2019. vol. 11. no. 11. pp. 617. doi: 10.3390/toxins11110617

13 Negash D. Review on compound animal feed processing in Ethiopia: Condition, challenges and opportunities. Journal of Nutrition and Health. 2017. vol. 3. no. 2.

14 Zegeye D.M. Nutritional evaluation of insect's pupae-larvae and its utilization in poultry compound feed. The Open Agriculture Journal. 2020. vol. 14. no. 1. doi: 10.2174/1874331502014010001

15 Marković Z., Stanković M., Rašković B., Dulić Z. et al. Comparative analysis of using cereal grains and compound feed in semi-intensive common carp pond production. Aquaculture international. 2016. vol. 24. no. 6. pp. 1699-1723. doi: 10.1007/s10499-016-0076-z

16 Dejene M., Bediye S., Alemu D., Kitaw G. et al. Livestock feed marketing in Ethiopia: Challenges and opportunities for livestock development. Journal of Agricultural Science and Technology. A. 2014. vol. 4. no. 2A.

17 Godliauskienė R., Tamošiūnas V., Naujalis E. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins/furans and dioxin-like polychlorinated biphenyls in food and feed in the Lithuanian market. Toxicological & Environmental Chemistry. 2017. vol. 99. no. 1. pp. 65-77. doi: 10.1080/02772248.2016.1174704

18 Velasco-Escudero M., Montoya-Ospina R. Regulatory aspects of compound feed in aquaculture. Feed and Feeding Practices in Aquaculture. Woodhead Publishing, 2015. pp. 127-138. doi: 10.1016/B978-0-08-100506-4.00005-2

19 Li Z.F., Gong W., Wang J., Wang G. et al. Evaluation of effects of frozen fresh fish and artificial compound feed on muscle quality and health status of Micropterus salmoides. Chinese Journal of Animal Nutrition. 2017. vol. 29. no. 11. pp. 4180-4188.

20 Pisciottano I.D.M., Guadagnuolo G., Soprano V., Esposito M. et al. A survey of Δ9-THC and relevant cannabinoids in products from the Italian market: A study by LC–MS/MS of food, beverages and feed. Food Chemistry. 2021. vol. 346. pp. 128898. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128898

Сведения об авторах

Игорь Е. Кузнецов студент, кафедра управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, igor90011@icloud.com

Евгения И. Закурдаева студент, кафедра управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, zackurdae-vaevgenia@yandex.ru

Константин А. Бражников студент, кафедра управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, uopioe@yandex.ru

Карина В. Матухнова студент, кафедра управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, karinamatyxnova@gmail.com

Дарья А. Ступникова студент, кафедра управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, stupnikova.darya@mail.ru

Information about authors

Igor. E. Kuznetsov student, management, organization of production and industrial economics department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, igor90011@icloud.com

Evgeniya I. Zakurdaeva student, management, organization of production and industrial economics department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, zackurdae-vaevgenia@yandex.ru

Konstantin A. Brazhnikov student, management, organization of production and industrial economics department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, uopioe@yandex.ru

Karina V. Matukhnova student, management, organization of production and industrial economics department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, karinamatyxnova@gmail.com

Daria A. Stupnikova student, management, organization of production and industrial economics department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, stupnikova.darya@mail.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 04/04/2022	**После редакции** 25/04/2022	**Принята в печать** 12/05/2022

Received 04/04/2022	**Accepted in revised** 25/04/2022	**Accepted** 12/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-400-406 Оригинальная статья/Research article
УДК 519.711.3:355 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Оптимизация потоков инвестиционных ресурсов для развития инновационной деятельности на предприятии

Юрий П. Анисимов [1] yura.anisimov.39@mail.ru 0000-0001-5540-6380
Ирина В. Куксова [2] iris1982@ya.ru 0000-0001-6047-8717
Евгений А. Губертов [3] st-uran@ya.ru 0000-0003-0087-3330
Александр Ю. Жильников [3] next-al-88@ya.ru 0000-0001-9833-7733
Иван С. Иголкин [3] iigolkin@vilec.ru 0000-0002-0367-5500

1 Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия
2 Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия
3 Воронежский экономико-правовой институт, Ленинский пр-т, 119, г. Воронеж, 394033, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы, связанные с оптимизации потоков инвестиционных ресурсов для развития инновационной деятельности на предприятии. Целью оптимизации потоков инвестиционных ресурсов для развития инновационной деятельности на предприятии является увеличение эффективности деятельности, выражающееся в захвате коммерческих рынков за счёт внедрения конкурентоспособной инновационной продукции и увеличения рентабельности вложений, а также в сохранении квалификации кадров и эффективном и своевременном обновлении производственных фондов. Следовательно, оптимизация инновационной и инвестиционной деятельности на предприятиях будут являться такие согласованные и взаимообусловленные стратегии направления инвестиционных ресурсов и выбора инновационных проектов, при которых предприятие сможет достичь свои стратегические цели при условиях непрерывности инновационного процесса и бесперебойности его финансирования, что позволит предприятию предлагать новые разработки и модернизированную продукцию вовремя, отвечая на требования со стороны заказчиков в более совершенной продукции. Авторы провели пофакторный интегральный инвестиционный анализ, который позволил определить степень зависимости объема инвестиций в инновационную деятельность. Практическая значимость исследования заключается в том, что результаты оценки могут служить информационной базой для принятия управленческих решений, позволяющих активизировать развитие инвестиционных процессов на предприятии.

Ключевые слова: инновации, инвестиции, денежный поток, стратегия, дисконтированный поток

Optimization of investment resource flows for the development of innovative activities at the enterprise

Yuri P. Anisimov [1] yura.anisimov.39@mail.ru 0000-0001-5540-6380
Irina V. Kuksova [2] iris1982@ya.ru 0000-0001-6047-8717
Eugene A. Gubertov [3] st-uran@ya.ru 0000-0003-0087-3330
Alexander Yu. Zhilnikov [3] next-al-88@ya.ru 0000-0001-9833-7733
Ivan S. Igolkin [3] iigolkin@vilec.ru 0000-0002-0367-5500

1 Voronezh State Technical University, st. 20-letiya Oktyabrya, 84, Voronezh, 394006, Russia
2 Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, st. Timiryazeva, 8, Voronezh, 394087, Russia
3 Voronezh Economic and Legal Institute, Leninsky Ave., 119 A, Voronezh, 394033, Russia

Abstract. The article deals with issues related to optimizing the flows of investment resources for the development of innovative activities at the enterprise. The purpose of optimizing the flows of investment resources for the development of innovative activities at the enterprise is to increase the efficiency of activities, expressed in capturing commercial markets through the introduction of competitive innovative products and increasing the profitability of investments, as well as in maintaining the qualifications of personnel and efficient and timely renewal of production assets. Consequently, the optimization of innovation and investment activities at enterprises will be such coordinated and mutually conditional strategies for directing investment resources and selecting innovative projects, in which the enterprise will be able to achieve its strategic goals under conditions of continuity of the innovation process and uninterrupted financing, which will allow the enterprise to offer new developments and upgraded products in time, responding to the requirements of customers in more perfect products. The authors conducted a factor-by-factor integral investment analysis, which allowed us to determine the degree of dependence of the volume of investments in innovation. The practical significance of the study lies in the fact that the evaluation results can serve as an information base for making managerial decisions that allow to activate the development of investment processes at the enterprise.

Keywords: innovation, investment, cash flow, strategy, discounted flow

Введение

Современный этап развития Российской Федерации характеризуется повышением уровня самостоятельности предприятий различных отраслей. В этой связи в научных разработках последних лет существенное внимание уделяется повышению эффективности управления предприятиями, в том числе за счет повышения уровня инвестиционных ресурсов для развития инновационной стратегии предприятия [1].

Для цитирования
Анисимов Ю.П., Куксова И.В., Губертов Е.А., Жильников А.Ю., Иголкин И.С. Оптимизация потоков инвестиционных ресурсов для развития инновационной деятельности на предприятии // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 400–406. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-400-406

For citation
Anisimov Yu.P., Kuksova I.V., Gubertov E.A., Zhilnikov A.Yu., Igolkin I.S. Optimization of investment resource flows for the development of innovative activities at the enterprise. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 400–406. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-400-406

© 2022, Анисимов Ю.П. и др. / Anisimov Yu.P. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Основная проблема заключается в правильности принятия решения об инвестировании конкретного проекта, которая требует детальной проработанности со стороны конкурентных преимуществ в других сферах деятельности, правильного анализа и расчета экономических показателей проекта. Стимулирование развития инновационной деятельности в регионе находится в одной из важных задач региональной политики. Определение приоритетности и очередности государственной поддержки отдельных инфраструктурных предприятий основано на комплексной оценке их потребностей и возможностей, а также оценке ожидаемого эффекта для развития региона.

Среди многочисленных работ, где основательно изучены проблемы развития инновационной деятельности, недостаточно представлены исследования, в которых раскрывались бы методические аспекты оценки инвестиционных ресурсов в контексте для развития инновационной деятельности, управленческой активности и эффективности предпринимательской деятельности [2]. Оценка инвестиционных ресурсов для развития инновационной деятельности является сложной дефиницией, для изучения которой требуется разработка определенных методологических оснований. Поэтому материалы данной статьи являются логическим продолжением предыдущих публикаций, в которых изложено содержание, методические подходы к анализу, показатели оценки инвестиционных ресурсов и эффективности инновационной деятельности предприятий.

Материалы и методы

Одна из самых сложных проблем перехода к рыночным отношениям – перераспределение полномочий и прав в сфере инвестиций [3]. Новые социально-экономические условия хозяйствования определяют и новые подходы к оценке инвестиционного потенциала предприятия, ставят задачи анализа мониторинга и поиска путей решения проблем, связанных с инвестиционной деятельностью бизнеса. Для рыночной экономики присущ определенный механизм формирования источников финансирования инвестиционного процесса. Объективные сдвиги структуры источников инвестиционных вложений при переходе к рыночной экономике связаны с децентрализацией инвестиционного процесса, распределением функций государства и предприятий в инвестиционном процессе, убыванием роли государства как непосредственного инвестора и развитием частных инвестиций, формированием инвестиционного рынка и сети его институтов, аккумулированием и перераспределением инвестиционного капитала [4]. В современных рыночных условиях привлечение инвестиций в инновационную деятельность находится в центре внимания, но, несмотря на значительный интерес к этой проблеме, в экономической науке она пока остается нерешенной.

Проблематика инновационного планирования достаточно подробно представлена в экономической литературе. При разработке инновационных планов используются методы системного анализа, экономического анализа, статистические методы, метод программно-проектного управления, метод межотраслевых балансов, методы прогнозирования и др. Основное содержание большинства документов – это выбор направлений развития, их конкретизация в рамках перечня мероприятий и целевых ориентиров без достаточного обоснования вопросов финансового обеспечения достижения заявленных ориентиров и учета формирования инвестиционных ресурсов в разрезе инновационных секторов экономики.

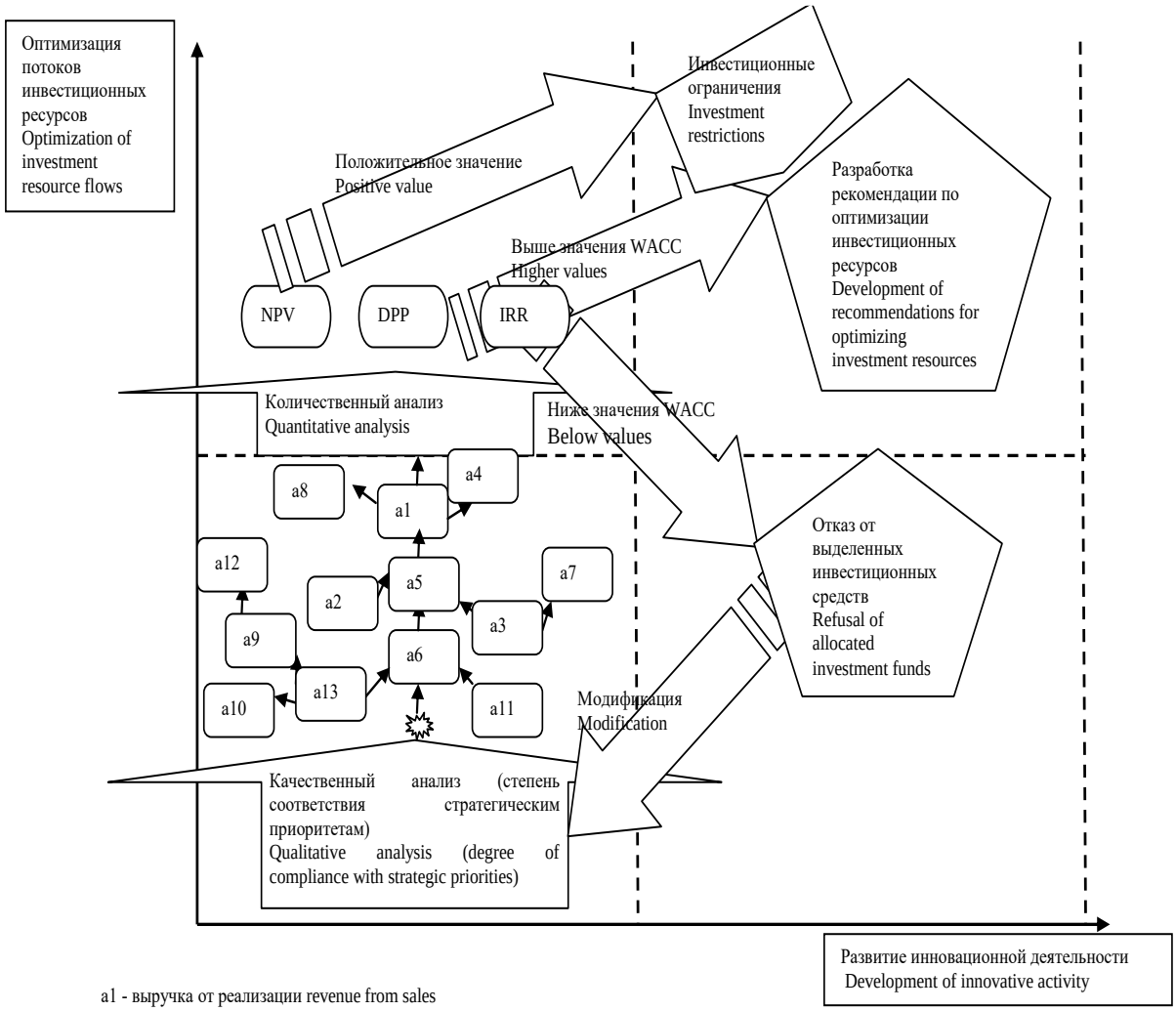
С учетом данных обстоятельств была поставлена цель настоящей работы – разработка инструментария оптимизации потоков инвестиционных ресурсов для развития инновационной деятельности на предприятии, в основу которого был положен метод построения потоковых диаграмм, позволяющий формализовать систему потоков инвестиционных ресурсов и процессы их аккумуляции, распределения и использования в многоуровневых экономических системах [5].

Непрерывный инновационный процесс требует аккумулирования значительного объёма ресурсов. Таким образом, дисбаланс нынешнего состояния промышленности и современных требований к ней приводит к тому, что обеспечение оптимизация развития инновационной и инвестиционной деятельности на предприятиях является актуальной научной задачей, решение которой имеет важное народно-хозяйственное значение. Это не только поддержание платежеспособности страны, но и увеличение доли отечественных предприятий на международных коммерческих рынках продукции и услуг. При оптимизации потоков инвестиционных ресурсов для развития инновационной деятельности на предприятии важно чётко определить, что такое инновационная деятельность и инвестиционные ресурсы, а также, что означает их оптимизация.

Оптимизация является одной из важнейших функций управления инвестиционными ресурсами, направленной на повышение их эффективности в предстоящем периоде. Важнейшими задачами, решаемыми в процессе этого этапа управления инвестиционными ресурсами, являются: выявление и реализация резервов, позволяющих снизить зависимость предприятия от внешних источников

привлечения денежных средств; обеспечение более полной сбалансированности положительных и отрицательных денежных потоков во времени и по объемам; обеспечение более тесной взаимосвязи инвестиционных ресурсов по видам хозяйственной деятельности предприятия; повышение суммы и качества чистого денежного потока, генерируемого хозяйственной деятельностью предприятия [6].

Оптимизация потоков инвестиционных ресурсов для развития инновационной деятельности на предприятии представляет собой процесс выбора наилучших форм их организации на предприятии с учетом условий и особенностей осуществления его хозяйственной деятельности. Основными объектами оптимизации выступают: положительный денежный поток; отрицательный денежный поток; остаток денежных активов; чистый денежный поток (рисунок 1).



a1 - выручка от реализации revenue from sales
a2 - собственный капитал equity capital
a3 - оборотные активы current assets
a4 - текущие обязательства current liabilities
a5 - чистая прибыль net profit
a6 - денежные средства cash
a7 - балансовая стоимость основных средств balance value of fixed assets
a8 - рентабельность продаж return on sales
a9 – индекс доходности profitability index
a10 – основные средства fixed assets
a11 – уровень активности инновационной деятельности the level of innovation activity
a12 – срок окупаемости инвестиций payback period of investments
a13 – инвестиции investment

чистая приведённая стоимость (Net Present Value, NPV) проекта;
внутренняя ставка доходности (Internal Rate of Return, IRR);
дисконтированный период окупаемости (Discounted Payback Period, DPP) проекта;
средневзвешенная стоимость капитала (Weighted Average Cost of Capital, WACC).

Рисунок 1. Процесс оптимизация потоков инвестиционных ресурсов для развития инновационной деятельности на предприятии

Figure 1. The process of optimizing the flows of investment resources for the development of innovative activities in the enterprise

Основными целями оптимизации инвестиционных ресурсов предприятия являются:

– обеспечение сбалансированности объемов денежных потоков;

– обеспечение синхронности формирования денежных потоков во времени;

– обеспечение роста чистого денежного потока предприятия.

Основными объектами оптимизации выступают:

– положительный денежный поток;

– отрицательный денежный поток;

– остаток денежных активов;

– чистый денежный поток.

Результаты и обсуждение

Информационная база исследования содержит данные, приведенные в официальных документах бухгалтерской и налоговой отчетности, подлежащих к обязательному публичному раскрытию субъектов рынка. Однако, сравнительный анализ отдельных показателей эффективности функционирования предприятий и их влияния на региональное развитие показывает, что исследуемые объекты по различным параметрам могут занимать, как лидирующие, так и замыкающие позиции. Такая неоднородность затрудняет построение итогового совокупного рейтинга по ряду параметров, что определяет необходимость разработки единого обобщенного оценочного параметра. Однако, различие в единицах измерения входящих в оценку показателей делает невозможным их арифметичекое сложение. Наиболее подходящим для решения данной задачи является интегральный инвестиционный анализ. Используя пакет прикладных программ Microsoft Excel, был проведен пофакторный интегральный инвестиционный анализ, который позволил определить степень зависимости объема инвестиций в инновационную деятельность [7, 8].

Экономико-математическая модель разработана в виде системы конечно-разностных уравнений, описывающих создание, распределение и использование инвестиционных ресурсов для развития инновационной деятельности на предприятии. Качество проведенных расчетов зависит от удобства и освоенности исследователя программногоо продукта в котором выполняются расчеты [9]. Это обусловлено следующими причинами:

1. Дискретным характером экономических данных, обусловивших выбор конечно-разностного варианта системы уравнений.

2. Ориентацией на имеющуюся систему статистических показателей. Наличие регулярно публикуемых массивов статистических данных позволяет описать процессы создания, распределения и использования инвестиционных ресурсов для развития инновационной деятельности на предприятии системой уравнений и после разработки модели выполнить оценку ее параметров, что можно сделать, только опираясь на имеющуюся статистику.

$$IR_i^{opt} = \sum_{j=1}^{j} X_{ij} \times Y_j \to \max$$

где X_j – нормированный коэффициент j-го критерия; Y_j – оценочный коэффициент, определяющий удельный вес j-го критерия.

Ключевые критерии, характеризующие оптимизацию потоков инвестиционных ресурсов для развития инновационной деятельности на предприятии, представлены на рисунке 1.

Выделение моделей выбора инвестиционных ресурсов $A\{X_1, X_2 ... X_n\}$, которым соответствует максимальное или минимальное значение соответствующего критерия оптимизации: $A_1\{NPV_{opt,} \to \max, DPP_{opt} \to \min, .IRR_{opt} \to \max\}$ Производится нормализация критериев. Исходя из того, что критерии оптимизации $A\{X_1, X_2 ... X_n\}$ имеют различную размерность и экономический смысл, необходимо произвести их нормализацию [10].

Таким образом, разработанная оптимизационная экономико-математическая модель имеет вид:

$$X_j(A) = \frac{X_b(A) - Xj^{\min}(A)}{X_j^{\max}(A) - X_j^{\min}(A)}$$

где X_b – базисное значение j коэффициента; $X_j^{\min}$ – минимальное значение j коэффициента, полученного в результате решения задачи оптимизации; $X_j^{\max}$ – максимальное значение j коэффициента, полученного в результате решения задачи оптимизации.

Потоковая диаграмма инвестиционных ресурсов $A\{X_1, X_2 ... X_n\}$, представлена на рисунке 2. В дальнейшем цикл начинает повторяться. Заметим, что для каждой организации будет свой индивидуальный комплекс мероприятий, так как каждая организация уникальна как система.

Качественный анализ позволяет описать систему финансовых потоков, формирующую инвестиционные ресурсы, но не позволяет получить количественные оценки этих ресурсов, их динамику во времени и обеспечиваемые ими темпы инновационного развития. Поэтому следующим этапом исследований предполагается разработка экономико-математической модели инвестиционного обеспечения инновационного развития [11–20].

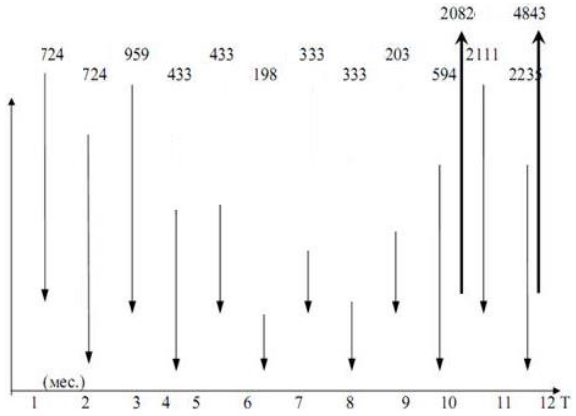


Рисунок 2. Потоковая диаграмма инвестиционных ресурсов

Figure 2. Flow chart of investment resources

Результаты анализа показали, что, задача модели, при наличии свободной денежной массы, вводить оптимизацию потоков инвестиционных ресурсов для развития инновационной деятельности на предприятии. Оптимизация происходит на основе критериев ее оценки, критерии переводятся в оценку, то есть каждый показатель оценивается по его максимальной или минимальной привлекательности. Каждому критерию в дальнейшем присуждается коэффициент его важности, который определяет его удельный вес.

Заключение

В заключение отметим, что необходимость и значимость проведения оптимизации потоков инвестиционных ресурсов для развития инновационной деятельности на предприятии подтверждаются возможностью разработки направлений и обоснования методов и инструментов воздействия с опорой на ее результаты в рамках государственной инвестиционной политики. Отметим, что помимо инвестирования в инновационную деятельность предприятиям также необходимо инвестировать в обновление и модернизацию основных производственных фондов, а также в обучение и повышение квалификации трудового капитала [11]. Методический подход, предложенный авторами, основан на применении матричного подходов, что позволяет измерить статический и динамический уровень инвестиционных ресурсов, провести типологию предприятий по уровню инновационной активности и обосновать направления стратегии развития. Создание механизма планирования оптимизации инновационной и инвестиционной деятельности предполагает выработку такого подхода, который позволит гармонизировать цели предприятий и обеспечить структурированность показателей эффективности, так как, конечная цель оптимизации денежных потоков – максимизация чистого денежного потока организации, что повышает уровень ее самофинансирования и снижает зависимость от внешних источников финансирования, а это в свою очередь повышает устойчивость финансового положения организации.

Литература

1 Bezrukova T.L., Larionov V.G., Kuksova I.V. Analytical assessment of social, environmental and economic indicators for the balanced development of the economy of the region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2019. V. 392. №. 1. P. 012058.

2 Лютиков Д.А. Ключевые аспекты управления малыми инновационными предприятиями // Вестник университета. 2015. № 9. С. 66–69.

3 Анисимов Ю.П., Журавлев Ю.В., Куксова И.В., Балабанова Л.И. и др. Пространственный анализ развития инновационного потенциала предприятий // Вестник ВГУИТ. 2019. № 1 (81). С. 391–397

4 Грибовский А.В., Ильина И.Е., Парфенова С.Л. Методика оценки малых инновационных предприятий, претендующих на государственную поддержку опытно-конструкторских и технологических работ // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2016. Т. 6. № 10А. С. 38–48.

5 Фасхиев Х.А. Модель управления инновационной деятельностью предприятия // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2013. №. 8. С. 33-44.

6 Иванов Д.В. Современные подходы к управлению инновационной деятельностью промышленного предприятия // Проблемы экономики и менеджмента. 2015. №. 1 (41). С. 53-55.

7 Mowery D.C. Military R&D and innovation // Handbook of the Economics of Innovation. North-Holland, 2010. V. 2. P. 1219–1256.

8 Грачева Н.В., Одиноченков В.В. Совершенствование управления инновационной деятельностью промышленных предприятий // Вестник Брянского государственного университета. 2014. №. 3. С. 174-182.

9 Fagerberg J., Fosaas M., Sapprasert K. Innovation: Exploring the knowledge base // Research policy. 2012. V. 41. №. 7. P. 1132–1153.

10 Carlsson B. Internationalization of innovation systems: A survey of the literature // Research policy. 2006. V. 35. №. 1. P. 56–67.

11 Бланк И.А. Основы финансового менеджмента. Т.2.; 4-е изд., стер. М.: Омега-Л, 2012. 674 с.

12 Беликова И.П. Специфика процессов управления инновационной деятельностью на предприятиях // Вестник АПК Ставрополья. 2016. №. S3. С. 35-38.

13 Шматко А.Д. Организация инновационной деятельности производственных предприятий: современные условия и существующие подходы // Вестник экономической интеграции. 2009. №. 3. С. 155-159.

14 Емельянович А.А., Кулягина Е.А., Цуркан Е.В. Повышение эффективности управления инновационной деятельностью на предприятии // Инновационное развитие экономики. 2016. №. 6-1. С. 20-24.

15 Frolova L., Zhadko K., Ilyash O., Yermak S. et al. Model for opportunities assessment to increase the enterprise innovation activity // Business: Theory and Practice. 2021. V. 22. №. 1. P. 1-11. doi:10.3846/btp.2021.13273

16 Kurpayanidi K.I. The typology of factors of increasing the innovative activity of enterprise entrepreneurs in the industry // ISJ Theoretical & Applied Science. 2018. V. 10. №. 66. P. 1. doi: 10.15863/TAS.2018.10.66.1

17 Hnatenko I., Orlova-Kurilova O., Shtuler I., Serzhanov V. et al. An approach to innovation potential evaluation as a means of enterprise management improving // International Journal of Supply and Operations Management. 2020. V. 7. №. 1. P. 112-118.

18 Blokhina O.A., Beketova O.N., Kuzmina E.E., Lebedeva O.Y. et al. Improving the technology of innovation systems management at an enterprise // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. V. 9. №. 13. P. 137-143.

19 Sherifi I., Andrushchenko H., Vankovych D., Solokha D. et al. Strategic management of industrial enterprise innovation potential development // Academy of Strategic Management Journal. 2020. V. 19. №. 6. P. 1-8.

20 Chell E., Nicolopoulou K., Karataş-Özkan M. Social entrepreneurship and enterprise: International and innovation perspectives // Entrepreneurship & Regional Development. 2010. V. 22. №. 6. P. 485-493. doi: 10.1080/08985626.2010.488396

References

1 Bezrukova T.L., Larionov V.G., Kuksova I.V. Analytical assessment of social, environmental and economic indicators for the balanced development of the economy of the region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2019. vol. 392. no. 1. pp. 012058.

2 Lyutikov D.A. Key aspects of management of small innovative enterprises. Bulletin of the University. 2015. no. 9. pp. 66–69. (in Russian).

3 Anisimov Yu.P., Zhuravlev Yu.V., Kuksova I.V., Balabanova L.I. and others. Spatial analysis of the development of the innovative potential of enterprises. Proceedings of VSUET. 2019. no. 1 (81). pp. 391–397. (in Russian).

4 Gribovsky A.V., Ilyina I.E., Parfenova S.L. Methodology for assessing small innovative enterprises applying for state support for experimental design and technological work. Economics: yesterday, today, tomorrow. 2016. vol. 6. no. 10A. pp. 38–48. (in Russian).

5 Fashiev Kh.A. Model of management of innovative activity of the enterprise. Handbook. Engineering magazine with application. 2013. no. 8. pp. 33-44. (in Russian).

6 Ivanov D.V. Modern approaches to managing the innovation activity of an industrial enterprise. Problems of Economics and Management. 2015. no. 1 (41). pp. 53-55. (in Russian).

7 Mowery D.C. Military R&D and innovation. Handbook of the Economics of Innovation. North-Holland, 2010. vol. 2. pp. 1219–1256. (in Russian).

8 Gracheva N.V., Odinochenkov V.V. Improving the management of innovative activities of industrial enterprise. Bulletin of the Bryansk State University. 2014. no. 3. pp. 174-182. (in Russian).

9 Fagerberg J., Fosaas M., Sapprasert K. Innovation: Exploring the knowledge base. Research policy. 2012. vol. 41. no. 7. pp. 1132–1153.

10 Carlsson B. Internationalization of innovation systems: A survey of the literature. Research policy. 2006. vol. 35. no. 1. pp. 56–67.

11 Blank I.A. Fundamentals of financial management. vol.2.; 4th ed., ster. Moscow, Omega-L, 2012. 674 p. (in Russian).

12 Belikova I.P. The specifics of innovation management processes at enterprises. Vestnik APK Stavropol. 2016. no. S3. pp. 35-38. (in Russian).

13 Shmatko A.D. Organization of innovation activities of manufacturing enterprises: modern conditions and existing approaches. Bulletin of economic integration. 2009. no. 3. pp. 155-159. (in Russian).

14 Emelyanovich A.A., Kulyagina E.A., Tsurkan E.V. Improving the efficiency of management of innovative activities at the enterprise. Innovative development of the economy. 2016. no. 6-1. pp. 20-24. (in Russian).

15 Frolova L., Zhadko K., Ilyash O., Yermak S. et al. Model for opportunities assessment to increase the enterprise innovation activity. Business: Theory and Practice. 2021. vol. 22. no. 1. pp. 1-11. doi:10.3846/btp.2021.13273

16 Kurpayanidi K.I. The typology of factors of increasing the innovative activity of enterprise entrepreneurs in the industry. ISJ Theoretical & Applied Science. 2018. vol. 10. no. 66. pp. 1. doi: 10.15863/TAS.2018.10.66.1

17 Hnatenko I., Orlova-Kurilova O., Shtuler I., Serzhanov V. et al. An approach to innovation potential evaluation as a means of enterprise management improving. International Journal of Supply and Operations Management. 2020. vol. 7. no. 1. pp. 112-118.

18 Blokhina O.A., Beketova O.N., Kuzmina E.E., Lebedeva O.Y. et al. Improving the technology of innovation systems management at an enterprise. International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. vol. 9. no. 13. pp. 137-143.

19 Sherifi I., Andrushchenko H., Vankovych D., Solokha D. et al. Strategic management of industrial enterprise innovation potential development. Academy of Strategic Management Journal. 2020. vol. 19. no. 6. pp. 1-8.

20 Chell E., Nicolopoulou K., Karataş-Özkan M. Social entrepreneurship and enterprise: International and innovation perspectives. Entrepreneurship & Regional Development. 2010. vol. 22. no. 6. pp. 485-493. doi: 10.1080/08985626.2010.488396

Сведения об авторах

Юрий П. Анисимов д.э.н., профессор, Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия, yura.anisimov.39@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-5540-6380

Information about authors

Yuri P. Anisimov Dr. Sci. (Econ.), professor, Voronezh State Technical University, st. 20-letiya Oktyabrya, 84, Voronezh, 394006, Russia,yura.anisimov.39@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-5540-6380

Ирина В. Куксова д.э.н., профессор, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия, iris1982@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-6047-8717
Евгений А. Губертов к.э.н., доцент, Воронежский экономико-правовой институт, Ленинский пр-т, 119, г. Воронеж, 394033, Россия,st-uran@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-0087-3330
Александр Ю. Жильников к.э.н., доцент, Воронежский экономико-правовой институт, Ленинский пр-т, 119, г. Воронеж, 394033, Россия, next-al-88@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-9833-7733
Иван С. Иголкин к.э.н., доцент, Воронежский экономико-правовой институт, Ленинский пр-т, 119, г. Воронеж, 394033, Россия, iigolkin@vilec.ru
https://orcid.org/0000-0002-0367-5500

Irina V. Kuksova Dr. Sci. (Econ.), professor, Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, st. Timiryazeva, 8, Voronezh, 394087, Russia,iris1982@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-6047-8717
Eugene A. Gubertov Dr. Sci. (Econ.), associate professor, Voronezh Economic and Legal Institute, Leninsky Ave., 119 A, Voronezh, 394033, Russia,st-uran@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-0087-3330
Alexander Yu. Zhilnikov Dr. Sci. (Econ.), associate professor, ANOO VO "Voronezh Economic and Legal Institute", Leninsky Ave., 119 A, Voronezh, 394033, Russia,next-al-88@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-9833-7733
Ivan S. Igolkin Dr. Sci. (Econ.), associate professor, ANOO VO "Voronezh Economic and Legal Institute", Leninsky Ave., 119 A, Voronezh, 394033, Russia,iigolkin@vilec.ru
https://orcid.org/0000-0002-0367-5500

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 30/03/2022 **После редакции** 28/04/2022 **Принята в печать** 25/05/2022

Received 30/03/2022 **Accepted in revised** 28/04/2022 **Accepted** 25/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-407-412 Оригинальная статья/Research article
УДК 336.2 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Оценка влияния инвестиционной привлекательности на экономическую безопасность региона

Ирина М. Подмолодина [1] podmin@mail.ru 0000-0001-6993-095X
Елена Ю. Колесникова [1] elenakoles@ya.ru 0000-0002-0190-965X
Ольга Ю. Коломыцева [1] olgakolom@ya.ru 0000-0002-6123-0227

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

Аннотация. Обеспечение экономической безопасности макрорегиона (страны, области) в значительной степени характеризуется созданием эффективной системы организации контроля за финансовой деятельностью в государстве, ограничивающей отток капитала из национальной экономики. Это требует комплексного решения юридической, политической и административной задачи защиты национальных интересов. Одним из приоритетов в системе национальной безопасности является экономическая безопасность государства, которая характеризуется наличием стабильно развивающейся экономики. Базовым индикатором «экономического здоровья» государства выступает наличие благоприятного инвестиционного климата, который характеризуется соотношением инвестиционной привлекательности и инвестиционных рисков, что находит свое проявление в масштабах, структуре и динамике инвестиционных процессов. Современные тенденции, свидетельствующие о нестабильности, неблагоприятной конъюнктуре и непрозрачности инвестиционной деятельности в российских условиях, подтверждают актуальность и своевременность настоящего исследования. Оценка влияния инвестиционной привлекательности на экономическую безопасность региона показала следующие результаты: постепенно снижается устойчивость финансовой системы региона; наблюдается колоссальная зависимость экономики региона от импорта; поддержка научного потенциала области незначительная, что выражается в низком показателе финансирования образования; показатели, связанные из социальной сферой и уровнем жизни населения значительно отличаются от пороговых значений. Недофинансирование социальной сферы – тенденция характерна для большинства регионов Российской Федерации, в том числе для экономически развитых.

Ключевые слова: экономическая безопасность, инвестиционная привлекательность, инвестиционный потенциал, инвестиционный климат, инвестиционные риски

Assessment of the impact of investment attractiveness on the economic security of the region

Irina M. Podmolodina [1] podmin@mail.ru 0000-0001-6993-095X
Elena Yu. Kolesnikova [1] elenakoles@ya.ru 0000-0002-0190-965X
Olga Yu. Kolomytseva [1] olgakolom@ya.ru 0000-0002-6123-0227

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

Abstract. Ensuring the economic security of a macro-region (country, region) is largely characterized by the creation of an effective system for organizing control over financial activities in the state, limiting the outflow of capital from the national economy. This requires a comprehensive solution to the legal, political and administrative task of protecting national interests. One of the priorities in the national security system is the economic security of the state, which is characterized by the presence of a steadily developing economy. The basic indicator of the "economic health" of the state is the presence of a favorable investment climate, which is characterized by the ratio of investment attractiveness and investment risks, which is manifested in the scale, structure and dynamics of investment processes. Modern trends that indicate instability, unfavorable market conditions and lack of transparency in investment activities in the Russian context confirm the relevance and timeliness of this study. An assessment of the impact of investment attractiveness on the economic security of the region showed the following results: the stability of the financial system of the region is gradually declining; there is a colossal dependence of the region's economy on imports; support for the scientific potential of the region is insignificant, which is reflected in the low indicator of education funding; indicators related to the social sphere and the standard of living of the population differ significantly from the threshold values. Underfunding of the social sphere is a trend typical for most regions of the Russian Federation, including economically developed ones.

Keywords: economic security, investment attractiveness, investment potential, investment climate, investment risks

Введение

Цель исследования заключается в определении влияния инвестиционного климата на экономическую безопасность региона и разработка рекомендаций по устранению угроз.

Объект исследования – процессы, факторы, элементы формирования инвестиционного климата Воронежской области.

Предметом исследования является качественная характеристика инвестиционного климата как основа обеспечения экономической безопасности Воронежской области.

Материалы и методы

Использованы общенаучные и специальные методы, которые позволяют системно решать проблемные задачи по избранного направления исследования. Теоретические и прикладные разработки базируются на положениях общей теории управления, экономического менеджмента, стратегического управления и на использовании таких методов, как: системный подход – при общем изучении аспектов влияния инвестиционного климата на экономическую безопасность

Для цитирования
Подмолодина И.М., Колесникова Е.Ю., Коломыцева О.Ю. Оценка влияния инвестиционной привлекательности на экономическую безопасность региона // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 407–412. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-407-412

For citation
Podmolodina I.M., Kolesnikova E.Yu., Kolomytseva O.Yu. Assessment of the impact of investment attractiveness on the economic security of the region. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 407–412. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-407-412

© 2022, Подмолодина И.М. и др. / Podmolodina I.M. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

региона; индукция и дедукция – при исследовании и определении содержательного наполнения дефиниций; анализ и синтез с применением абстрагирования – при исследовании инвестиционной привлекательности региона; моделирование и формализация – при разработке рекомендаций по повышению уровня экономической безопасности региона и его инвестиционной привлекательности; графический метод – при иллюстрации результатов проведенного анализа.

Информационной базой являются нормативные и законодательные акты Российской Федерации; основные научные труды отечественных и зарубежных ученых в пределах исследуемого проблемного поля; официальные материалы и оперативная информация Росстата; материалы научно-практических конференций, периодических изданий и сети Internet.

Обсуждение

Экономическая безопасность государства и региона во многом определяется на основе оценки отдельных составляющих экономической безопасности. Ими являются финансовая, интеллектуальная и кадровая, технико-технологическая, политико-правовая, информационная, силовая, экологическая составляющие. Особое место среди элементов экономической безопасности региона принадлежит инвестиционному фактору, на величину которого оказывают влияние множество показателей из различных сфер деятельности [1].

По результатам оценки инвестиционного потенциала Воронежской области мы видим, как снижение, так и рост отдельных элементов.

Анализ инвестиционного климата Воронежской области показал, что регион находится в зоне минимального инвестиционного риска. В то же время составляющие – социальный и экологический риски более стабильны и не имеют резких изменений на протяжении 2014–2018 гг.; криминальный риск весомо снизился, показывая положительную тенденцию; а вот экономический риск увеличился, обосновываясь рядом факторов и причин.

Факторы, определяющие инвестиционные риски имеют весомое влияние и на экономическую безопасность региона [2].

Изменения инвестиционной привлекательности Воронежской области соответствующим образом отразилось на инвестиционной активности региона. В частности, инвестиции в основной капитал предприятий весомо не изменились за период 2014–2018 гг., а индексы физического объема инвестиций в основной капитал, в процентах к предыдущему году – постепенно снижаются (таблица 1).

Основными объектами привлечения инвестиций в регионе остаются предприятия, связанные с производством и распределением электроэнергии, газа и воды (в которые направляются средства в размере от 16,0% до 37,9% всех инвестиций региона в разные периоды), предприятия аграрного бизнеса и сельского хозяйства (9,5–19,7%), транспортные компании и фирмы связи (9,7–26,2%), а также обрабатывающие производства (11,1–21,0%).

Изменения инвестиционной привлекательности Воронежской области соответствующим образом отразилось на инвестиционной активности региона. В частности, инвестиции в основной капитал предприятий весомо не изменились за период 2014–2018 гг., а индексы физического объема инвестиций в основной капитал, в процентах к предыдущему году – постепенно снижаются (таблица 1).

Основными объектами привлечения инвестиций в регионе остаются предприятия, связанные с производством и распределением электроэнергии, газа и воды (в которые направляются средства в размере от 16,0 до 37,9% всех инвестиций региона в разные периоды), предприятия аграрного бизнеса и сельского хозяйства (9,5–19,7%), транспортные компании и фирмы связи (9,7–26,2%), а также обрабатывающие производства (11,1–21,0%).

Инвесторы активно используют производственный, инфраструктурный, институциональный, потребительский и ресурсно-сырьевой потенциалы региона, при этом игнорируя социальные направления развития области – здравоохранение (0,9–1,4%) и образование (1,7–3,5), фактически не развивая их и усиливая социальные и криминальные риски.

В результате такого распределения инвестиций и невысокой активности инвесторов (увеличение инвестиций в основной капитал на 16,2% за 5 лет) формируется определенная экономическая безопасность региона (таблица 2).

1. Способность экономики региона к устойчивому росту. Объем валового регионального продукта на душу населения за 5 лет не достигает 80% от среднего показателя по стране, что говорит о низкой эффективности производительности труда и деятельности отечественных предприятий, вырабатывающих дополнительную стоимость – в результате чего темп роста ВРП к предыдущему году постепенно снижается (таблица 2).

Благодаря ежегодному притоку инвестиций развитие промышленности в области стабильно. В 2016 году, вливания практически 57 млрд. руб. инвестиций в промышленные предприятия (что составило 21,0% всех инвестиций региона)

способствовали выходу из кризиса обрабатывающих компаний и дали импульс для дальнейшего роста [3, 4].

Рост инвестиций в аграрный бизнес – с 22,8 до 55,0 млрд руб. в год [увеличение в 1,4 раза] (таблица 1) способствует развитию сельского хозяйства, который обеспечивает рост ВРП региона, формирует и предоставляет рабочие места, способствует устойчивому росту экономики региона.

Высокий уровень инвестирования в основной капитал (29,6–33,5%), в частности в новые технологии и оборудование, способствует обновлению основных фондов промышленных предприятий и относительно низкому степени их износа – 45,9% в 2018 году.

Подытожив вышесказанное можно сделать вывод о высоком уровне способности экономики Воронежской области к устойчивому росту [5, 6].

Таблица 1.

Показатели инвестиционной деятельности в Воронежской области, %

Table 1.

Indicators of investment activity in the Voronezh region, %

Предприятия отраслей | Industry enterprises	2014	2015	2016	2017	2018
Основные показатели инвестиционной деятельности | Key investment performance indicators					
Инвестиции в основной капитал – всего, млн. руб. Fixed capital investments – total, rub mln.	240272,2	264659,8	270992,1	283652,3	279212,5
Индексы физического объема инвестиций в основной капитал, в процентах к предыдущему году Indices of the physical volume of investments in fixed assets, as a percentage of the previous year	106,7	100,7	100,1	96,5	88,9
Структура инвестиций в основной капитал предприятий, % Structure of investments in fixed assets of enterprises, %					
Сельское хозяйство | Agriculture	9,5	9,7	17,7	19,1	19,7
Обрабатывающие производства | Manufacturing industries	16,2	11,1	21,0	19,6	13,7
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды Production and distribution of electricity, gas and water	37,9	30,5	27,4	16,0	22,2
Транспорт и связь | Transport and communications	9,7	26,2	13,2	17,2	16,6
Операции с недвижимым имуществом | Real estate operations	13,6	12,1	9,8	10,7	7,2
Образование | Education	2,4	1,9	1,7	2,6	3,5
Здравоохранение | Health care	1,4	0,9	0,9	1,1	1,2
Другие статьи затрат | Other cost items	9,3	7,6	8,3	13,7	15,9

2. Устойчивость финансовой системы региона в условиях общего финансового кризиса в Российской Федерации, который усиливается западными санкциями с 2014 года – нарушена. Несмотря на это, и дефицит бюджета в 2016 году, к 2017 и 2018 годам регион выходит на профицит консолидированного фонда, а темп роста индекса потребительских цен значительно снижается (таблица 2). Следовательно, можно говорить о высокой устойчивости финансовой системы [7–20].

3. Зависимость экономики региона от импорта колоссальное и в разы превышает норму, фактически половина продукции, что оборачивается на рынке – импортная. Следовательно, экономических и законодательных мер, направленных на защиту отечественного производителя недостаточно, что снижает уровень экономической безопасности.

4. Поддержка научного потенциала области, несмотря на его весомость и ценность человеческого капитала в условиях развивающейся экономики – незначительная, что выражается в низком показателе финансирования образования.

5. Уровень и качество жизни населения. Следует отметить, что показатели, связанные из социальной сферой значительно отличаются и не отвечают пороговым показателям. Недофинансирование социальной сферы – тенденция характерна для большинства регионов Российской Федерации, в том числе для экономически развитых.

Несмотря на нормальный уровень потребительского потенциала коэффициент покупательной способности доходов населения региона ниже нормы и снижается. Это связано с неравномерностью распределения доходов, невысоким уровнем денежных доходов на душу населения и постоянно растущей стоимостью фиксированного набора потребительских товаров и услуг (таблица 2). О социальном неравенстве свидетельствует и постоянно высокий показатель Джини – 0,42 (при норме 0,35; в странах ЕС – 0,31).

Таблица 2.

Результаты оценки экономической безопасности Воронежской области

Table 2.

Results of assessing the economic security of the Voronezh region

Индикаторы Indicators	Пороговое значение Threshold value	2014	2015	2016	2017	2018
1. Способность экономики региона к устойчивому росту | The ability of the region's economy to sustainably grow						
Объем валового регионального продукта (ВРП) на душу населения, в% от среднего по стране Gross regional product (GRP) per capita, % of the national average	100,0	76,0	76,9	74,2	73,0	70,0
Темп роста ВРП к предыдущему году (в сопоставимых ценах), в% GRP growth rate compared to the previous year (in comparable prices), %	105,0	117,2	112,1	101,4	106,7	105,5
Индекс физического объема промышленности к предыдущему году, % Index of physical volume of industry versus the previous year, %	105,0	108,0	103,7	104,4	106,7	105,5
Индекс физического объема продукции сельского хозяйства к предыдущему году, % Index of physical volume of agricultural production to the previous year, %	105,0	109,4	121,8	103,3	97,3	113,0
Инвестиции в основной капитал, в% к ВРП Fixed capital investment, % of GRP	25,0	33,5	32,8	33,2	32,7	29,6
Степень износа основных фондов промышленных предприятий, % Depreciation rate of fixed assets of industrial enterprises, %	60,0	42,0	44,1	47,2	44,7	45,9
2. Устойчивость финансовой системы | Financial stability						
Дефицит (–), профицит (+) консолидированного бюджета, в% к ВРП Deficit (–), surplus (+) of the consolidated budget, % of GRP	3,5	1,0	1,0	1,1	1,0	1,3
Индекс потребительских цен (к декабрю предыдущего года), % Consumer price index (to December of the previous year), %	105,0	112,0	113,6	105,5	101,5	101,0
3. Зависимость экономики региона от импорта | Dependence of the region's economy on imports						
Соотношение импорта к экспорту, % Import to export ratio, %	20,0	70,0	52,8	71,8	99,0	58,9
4. Поддержка научного потенциала | Scientific potential support						
Численность занятых в науке, в% к занятым в экономике The number of people employed in science, % of those employed in the economy	1,00	1,01	1,00	0,94	0,97	0,99
Расходы на образование, в% к ВРП Expenditures on education, in% of GRP	10,0	2,4	1,9	1,7	2,6	3,6
5. Уровень и качество жизни населения | The level and quality of life of the population						
Расходы на здравоохранение, в% к ВРП The level and quality of life of the population	10,0	2,1	2,1	2	0,9	1,1
Расходы на культуру в% к ВРП Expenditures on culture in% of GRP	6,00	0,36	0,38	0,38	0,39	0,44
Обеспеченность жильем, кв. м на 1 человека Housing provision, sq. m for 1 person	20,0	27,7	28,3	28,8	29,4	30,1
Коэффициент покупательной способности доходов населения региона Coefficient of purchasing power of income of the population of the region	3,49	2,27	2,36	2,21	2,13	2,16
Коэффициент концентрации доходов Джини Gini Income Concentration Ratio	0,35	0,41	0,40	0,41	0,41	0,42
Количество преступлений на 1000 человек населения, единиц The number of crimes per 1000 people of the population, units	20,0	14,5	16,9	14,7	14	12,6
Продолжительность жизни, лет | Life expectancy, years	70,0	70,8	71,7	72,1	73,0	73,2
Темп роста реальных доходов населения, % | Growth rate of real incomes of the population, %	105,0	100,0	101,1	93,6	97,4	100,1
Уровень безработицы, % | Unemployment rate, %	7,0	3,8	3,7	3,6	3,7	3,7
Уровень занятости, % | Employment rate, %	60,0	74,3	75,5	78,7	80,0	81,0
6. Демография | Demography						
Коэффициент рождаемости, ‰ | Fertility rate, %	8,0	10,9	11,1	10,7	9,6	9,2

Среди положительных показателей следует отметить низкий уровень безработицы – 3,6–3,8% (тогда как средний по РФ достигает 7,0%), высокий уровень занятости – более 80% в 2018 году, а также высокий показатель обеспеченности жильем – более 30 м^2 на 1 человека.

6. В регионе наблюдаются негативные демографические процессы: уровень рождаемости снижается, в частности за 2014–2018 гг. – на 1,7 п.п. и приближается к граничному значению; уровень смертности стабильно высок.

Заключение

Оценка влияния инвестиционной привлекательности на экономическую безопасность региона показала следующие результаты:

– постепенно снижается устойчивость финансовой системы региона;

– наблюдается колоссальная зависимость экономики региона от импорта;

– поддержка научного потенциала области незначительная, что выражается в низком показателе финансирования образования;

– показатели, связанные из социальной сферой и уровнем жизни населения, значительно отличаются от пороговых значений. Недофинансирование социальной сферы – тенденция характерна для большинства регионов Российской Федерации, в том числе для экономически развитых.

Среди положительных трендов следует отметить низкий уровень безработицы – 3,6–3,8%, высокий уровень занятости – более 80%, высокий показатель обеспеченности жильем – более 30 м^2 на 1 человека.

Литература

1 Галимова И.И., Пасынкова О.М., Чайковская Л.Н. Оценка инвестиционной привлекательности Воронежской области // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 2. С. 285–289.

2 Давыдова Ю.В. Методология оценки экономической безопасности региона // Московский экономический журнал. 2017. № 3. С. 58.

3 Информация для анализа показателей состояния экономической безопасности Российской Федерации. URL: https://gks.ru/free_doc/new_site/besopasn/pok-besopasn.htm

4 Podmolodina I.M., Voronin V.P., Kolomytseva O.Y., Kolesnikova E.Y. Foreign Trade Aspects of Economy Security in the Context of Russia's WTO Membership // Russian Conference on Digital Economy and Knowledge Management (RuDEcK 2020). Atlantis Press, 2020. P. 532-537.

5 Овчинникова Т.И., Беляева Г.В., Коломыцева О.Ю., Колесникова Е.Ю. Система инновационного развития агропромышленного комплекса в целях обеспечения экономической безопасности региона // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 4 (74). С. 313–319.

6 Подмолодина И.М. Проблемы социально-экономического развития Воронежской области // Материалы LVIII отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2019 год. 2020. С. 111.

7 Подмолодина И.М., Воронин В.П., Коломыцева О.Ю., Колесникова Е.Ю. Совершенствование менеджмента индустриального развития как основы продовольственной безопасности: комплексный подход // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 3 (85). С. 289–295.

8 Соколов А.П. Сущность экономической безопасности региона // Проблемы развития современного общества. 2015. С. 108-109.

9 Яковлев А.Е., Соколова Г.Н. Особенности обеспечения экономической безопасности регионов //Дискуссия. 2014. №. 2 (43). С. 59-62.

10 Кораблева А.А., Карпов В.В. Индикаторы экономической безопасности региона // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. 2017. №. 3 (23). С. 36-42.

11 Золотарева Е.Л., Золотарев А.А. Обеспечение экономической безопасности региона // Региональный вестник. 2019. №. 23. С. 65-66.

12 Галимуллина Н.А., Байрушин Ф.Т., Байрушина Ф.Ф. Экономическая безопасность региона // Актуальные проблемы социального, экономического и информационного развития современного общества. 2016. С. 213-216.

13 Копытов А.В., Макеева Ф.С. Сравнительный анализ методик оценки экономической безопасности регионов // Вестник евразийской науки. 2014. №. 1 (20). С. 17.

14 Tsvetkov V.A., Dudin M.N., Lyasnikov N.V. Analytical approaches to estimate economic security of the region // Ekonomika Regiona Economy of Regions. 2019.№. 1. P. 1.

15 Kazakova N.A., Bolvachev A.I., Gendon A.L., Golubeva G.F. Monitoring economic security in the region based on indicators of sustainable development // Studies on Russian Economic Development. 2016. V. 27. №. 6. P. 638-648. doi: 10.1134/S1075700716060058

16 Khairullov D.S., Saipullaev U.A. Management of social and economic security of the region // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2014. V. 5. №. 12. P. 177. doi: 10.5901/mjss.2014.v5n12p177

17 Rudenko M. N. Economic security of regions // J. Advanced Res. L. & Econ. 2017. V. 8. P. 2568.

18 Andruseac G. Economic security–new approaches in the context of globalization // CES Working Papers. 2015. V. 7. №. 2. P. 232-240.

19 Akhmetshin E.M., Pavlyuk A.V., Kokorev A.S., Lazareva T.G. et al. Assessment of the economic security of the region (on the example of Chelyabinsk region) // Journal of applied economic sciences. 2018. V. 13. №. 8. P. 2309-2322.

20 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.

References

1 Galimova I.I., Pasynkova O.M., Chaikovskaya L.N. Assessment of the investment attractiveness of the Voronezh region. Proceedings of VSUET. 2019. vol. 81. no. 2. pp. 285–289. (in Russian).

2 Davydova Yu.V. Methodology for assessing the economic security of the region. Moscow economic journal. 2017. no. 3. pp. 58. (in Russian).

3 Information for the analysis of indicators of the state of economic security of the Russian Federation. Available at: https://gks.ru/free_doc/new_site/besopasn/pok-besopasn.htm (in Russian).

4 Podmolodina I.M., Voronin V.P., Kolomytseva O.Y., Kolesnikova E.Y. Foreign Trade Aspects of Economy Security in the Context of Russia's WTO Membership. Russian Conference on Digital Economy and Knowledge Management (RuDEcK 2020). Atlantis Press, 2020. pp. 532-537.

5 Ovchinnikova T.I., Belyaeva G.V., Kolomytseva O.Yu., Kolesnikova E.Yu. The system of innovative development of the agro-industrial complex in order to ensure the economic security of the region. Proceedings of VSUET. 2017. vol. 79. no. 4 (74). pp. 313–319. (in Russian).

6 Podmolodina I.M. Problems of socio-economic development of the Voronezh region. Materials of LVIII of the reporting scientific conference of teachers and researchers of VSUET for 2019. 2020. pp. 111. (in Russian).

7 Podmolodina I.M., Voronin V.P., Kolomytseva O.Yu., Kolesnikova E.Yu. Improving industrial development management as a basis for food security: an integrated approach. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 3 (85). pp. 289–295. (in Russian).

8 Sokolov A.P. The essence of the economic security of the region. Problems of development of modern society. 2015. pp. 108-109. (in Russian).

9 Yakovlev A.E., Sokolova G.N. Features of ensuring the economic security of regions. Discussion. 2014. no. 2(43). pp. 59-62. (in Russian).

10 Korableva A.A., Karpov V.V. Indicators of the region's economic security. Bulletin of the Siberian Institute of Business and Information Technologies. 2017. no. 3 (23). pp. 36-42. (in Russian).

11 Zolotareva E.L., Zolotarev A.A. Ensuring the economic security of the region. Regional Bulletin. 2019. no. 23. pp. 65-66. (in Russian).

12 Galimullina N.A., Bayrushin F.T., Bayrushina F.F. Economic security of the region. Actual problems of social, economic and information development of modern society. 2016. pp. 213-216. (in Russian).

13 Kopytov A.V., Makeeva F.S. Comparative analysis of methods for assessing the economic security of regions. Bulletin of the Eurasian Science. 2014. no. 1 (20). pp. 17. (in Russian).

14 Tsvetkov V.A., Dudin M.N., Lyasnikov N.V. Analytical approaches to estimate economic security of the region. Ekonomika Regiona Economy of Regions. 2019. no. 1. pp. 1.

15 Kazakova N.A., Bolvachev A.I., Gendon A.L., Golubeva G.F. Monitoring economic security in the region based on indicators of sustainable development. Studies on Russian Economic Development. 2016. vol. 27. no. 6. pp. 638-648. doi: 10.1134/S1075700716060058

16 Khairullov D.S., Saipullaev U.A. Management of social and economic security of the region. Mediterranean Journal of Social Sciences. 2014. vol. 5. no. 12. pp. 177. doi: 10.5901/mjss.2014.v5n12p177

17 Rudenko M. N. Economic security of regions. J. Advanced Res. L. & Econ. 2017. vol. 8. pp. 2568.

18 Andruseac G. Economic security–new approaches in the context of globalization. CES Working Papers. 2015. vol. 7. no. 2. pp. 232-240.

19 Akhmetshin E.M., Pavlyuk A.V., Kokorev A.S., Lazareva T.G. et al. Assessment of the economic security of the region (on the example of Chelyabinsk region). Journal of applied economic sciences. 2018. vol. 13. no. 8. pp. 2309-2322.

20 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.

Сведения об авторах

Ирина М. Подмолодина д.э.н., профессор, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, podmin@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6993-095X

Елена Ю. Колесникова к.э.н., доцент, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, elenakoles@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-0190-965X

Ольга Ю. Коломыцева к.э.н., доцент, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, olgakolom@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-6123-0227

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

Irina M. Podmolodina Dr. Sci. (Econ.), professor, economic security and financial monitoring department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, podmin@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6993-095X

Elena Yu. Kolesnikova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, economic security and financial monitoring department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, elenakoles@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-0190-965X

Olga Yu. Kolomytseva Cand. Sci. (Econ.), associate professor, economic security and financial monitoring department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, olgakolom@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-6123-0227

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 01/04/2022	**После редакции** 20/04/2022	**Принята в печать** 30/05/2022
Received 01/04/2022	**Accepted in revised** 20/04/2022	**Accepted** 30/05/2022

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-413-420 Оригинальная статья/Research article
УДК 330.59 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Сберегательное поведение как интегральный элемент экономического поведения индивида

Наталья В. Шишкина [1] natalia.schischkina@ya.ru
Татьяна В. Сабетова [1] tsabetova@mail.ru 0000-0002-4414-284X
1 Воронежский ГАУ, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия

Аннотация. В неблагоприятный период развития экономики страны особое внимание исследователей привлекают к себе различные виды субъективного экономического поведения, в числе которых трудовое, предпринимательское, кредитное Сберегательное же поведение, как считается, более актуально для периодов благополучия. Однако степень его воздействия на другие виды поведения столь велика, что его нельзя оставлять без внимания лицам, принимающим решения в государственном и корпоративном управлении. В статье проведен анализ существующих взаимосвязей разных видов экономического поведения индивидов, места среди них сберегательного поведения и его влияния на другие типы. Конкретные формы и результаты наблюдаемых взаимосвязей во многом определяются типами и особенностями сберегательного поведения. В статье сделана попытка классификации типов сберегательного поведения с целью облегчения выявления и прогнозирования их влияния на другие виды экономического поведения. В частности, предложено два основания для классификации сберегательного поведения: мотивация к накоплению и доля дохода, направляемая на сбережение. При принятии различных решений на всех уровнях управления необходимо четко осознавать, что сам факт формирования сбережений, равно как и их размер может оказывать влияние на широкий круг действий индивида в других сферах экономического поведения.

Ключевые слова: конфликт, метод, проектная группа, управление конфликтом, стиль управления

Saving Behavior as an Integral Element of the Individual's Economic Behavior

Natalia V. Shishkina [1] natalia.schischkina@ya.ru
Tatiana V. Sabetova [1] tsabetova@mail.ru 0000-0002-4414-284X
1 Voronezh State Agricultural University, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia

Abstract. In an unfavorable period of development of the country's economy, various types of subjective economic behavior, including labor, entrepreneurial, credit, savings behavior, are considered to be more relevant for periods of well-being. However, the degree of its impact on other types of behavior is so great that it cannot be ignored by decision makers in public governance and corporate management. The article analyzes the existing relationships between different types of economic behavior of individuals, the place among them of savings behavior and its impact on other types. The specific forms and results of the observed relationships are largely determined by the types and characteristics of savings behavior. The article attempts to classify the types of savings behavior in order to facilitate the identification and prediction of their impact on other types of economic behavior. In particular, two bases for the classification of savings behavior are proposed: the motivation to save and the share of income directed to savings. When making various decisions at all levels of management, it is necessary to clearly realize that the very fact of the formation of savings, as well as their size, can influence a wide range of actions of an individual in other areas of economic behavior.

Keywords: conflict, method, project team, conflict management, management style

Введение

Сберегательное поведение традиционно трактуется как набор решений и действий индивида, касающихся определения источников, непосредственного формирования, выбора способов хранения и приумножения, а также направлений дальнейшего использования сбережений [2]. Его рассматривают как часть финансового поведения [1], а оно, в свою очередь, является одним из направлений экономического поведения, наряду с трудовым, предпринимательским, потребительским и другими.

В состав элементов финансового поведения, помимо сберегательного, входит инвестиционное, кредитное, страховое и ряд других групп экономического поведения. В настоящее время, в неблагоприятный период развития экономики страны особое внимание исследователей и чиновников привлекают к себе другие виды поведения, в частности, кредитное. Сберегательное же поведение, как считается, более актуально для периодов благополучия. Однако представляется, что данная точка зрения является слишком упрощенной и не учитывает тесной взаимосвязи между всеми типами экономического поведения субъекта.

Для цитирования
Шишкина Н.В., Сабетова Т.В. Сберегательное поведение как интегральный элемент экономического поведения индивида // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 413–420. doi: 10.20914/2310-1202-2022-2-413-420

For citation
Shishkina N.V., Sabetova T.V. Saving Behavior as an Integral Element of the Individual's Economic Behavior. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 413–420. (in Russian). doi: 10.20914/2310-1202-2022-2-413-420

© 2022, 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

Методы исследования

Прежде всего, необходимо установить точки прямого соприкосновения и пересечения сберегательного поведения с другими видами экономического поведения. Хотя при условном делении всех видов экономического поведения на группы, обеспечивающие доход индивида (например, трудовое, предпринимательское, иждивенческое), и группы, определяющие способы распоряжения этим доходом (потребительское, сберегательное), объект нашего исследования оказывается в группе, относящейся к распоряжению доходами, это деление представляется не вполне однозначным. Во-первых, есть минимум два вида экономического поведения – кредитное и инвестиционное – которые одновременно относятся к обеим группам. Во-вторых, сберегательное поведение на отдельных его этапах настолько тесно связано с другими типами поведения, что практически становится с ними одним целым.

В работе использованы общенаучные методы: анализа и синтеза, наблюдения, а также монографический.

Обсуждение

Если опираться на представленное выше определение сберегательного поведения, то в нем можно выделить четыре основных этапа, происходящих с логической, а зачастую и в хронологической последовательности:

1. Поиск источников для сбережений и получение из них дохода.

2. Непосредственное формирование сбережений, то есть отделение той части дохода, которая не будет направлена на текущее потребление.

3. Хранение сбережений с применением различных способов по выбору индивида.

4. Последующее распоряжение сбережениями, их использование.

Сразу сделаем важную оговорку: хотя с точки зрения макроэкономики отсутствует принципиальная разница между сбережением и кредитованием – и то, и другие рассматривается как формы потребления, по времени существенно не совпадающие с моментом получения дохода, – для целей нашего исследования мы будем их различать, так как мотивы сберегательного и кредитного поведения разнятся очень существенно.

Итак, на первом этапе сберегательное поведение настолько сильно связано с видами экономического поведения, ориентированными на получение дохода, что может становиться даже их мотивом. Например, индивид ориентирован на формирование достаточно значительных сбережений (например, желает накопить средства для крупной покупки), однако при этом не хочет снижать уровень текущего потребления. Это может служить весомой причиной поиска источника дополнительного дохода: трудового, предпринимательского, преступного, социального. Здесь же может присутствовать тесная связь с инвестиционным поведением: достаточно частой является ситуация, когда сбережения пополняются за счет дохода, полученного на уже имеющиеся сбережения (яркий пример – капитализация процентов на банковских вкладах). Особенно такая взаимосвязь двух видов поведения характерна как раз для кризисных периодов в макроэкономической конъюнктуре [3], когда доходы индивида падают и формировать сбережения другими способами становится затруднительно.

На втором этапе наиболее тесна связь сберегательного, кредитного и потребительского поведения индивида. По сути, они всегда находятся в обратно пропорциональной зависимости, так как, принимая совокупный доход индивида или домохозяйства за единицу, сумма сбережений, кредитования и текущего потребления всегда равняется этой единице. Наиболее часто принимаемые на данном этапе решения касаются доли дохода, выделяемой на потребление, куда можно отнести и обслуживание уже полученных ранее кредитов. Однако в практике работы банков с физическими лицами довольно широко распространены случаи взаимодействия всех трех видов поведения. Так, индивид, уже имеющий сбережения, решив выделить в текущем периоде (обычно измеряемом как месяц, то есть период получения трудового дохода) дополнительную сумму на потребление, не использует срочный вклад с еще не истекшим сроком и не извлекает нужную сумму из инвестиционного пакета (например, в форме продажи акций, облигаций, долей в ПИФах и т. п.), а обращается к кредитным ресурсам короткого периода действия, часто – в форме осуществления трат с кредитной карты.

На третьем этапе сберегательное поведение тесно связано с инвестиционным, хотя полностью отождествлять их нельзя. Причиной того является факт, что далеко не все сбережения россиян имеют организованную форму и доступны для реинвестирования в экономику в прямой (покупка акций, долей и т. п.) и портфельной (банковские вклады, ПИФы, страховые продукты и др.) формах. По оценкам экспертов, до сих пор около 20–25% сбережений населения страны существуют в наличной денежной форме на руках у граждан, а в периоды повышенной волатильности финансовых рынков и роста недоверия к финансовым организациям эта доля дополнительно возрастает. Тем не менее, после принятия решения о том, какую долю индивид собирается хранить в наличной, а какую в организованной форме, последняя сразу становится

объектов его инвестиционного поведения. Учитывая же, что инвестиции совершаются ради получения дохода, а не только как форма хранения сбережений, сразу возникает вопрос о дальнейшем использовании данного дохода, что обеспечивает связь сберегательного и инвестиционного поведения снова с потребительским, а также с видами поведения, обеспечивающими доходы индивида. Например, индивид, имея инвестиционный доход, может отказаться от части трудового или предпринимательского дохода, не испытывая в нем большой потребности.

Наконец, на четвертом этапе снова наиболее ярко проявляется связь сберегательного и потребительского поведения, хотя дополнительно может вовлекаться кредитное поведение, например, в ситуациях, когда на крупную покупку средства частично были накоплены, а частично взяты в кредит.

Результаты

Конкретные формы и результаты наблюдаемых взаимосвязей во многом определяются типами и особенностями сберегательного поведения. В силу разнообразия решений в этой сфере четкая классификация сберегательного поведения затруднена, однако мы можем предложить несколько ее оснований и соответствующие группировки.

Так, считаем важным делить индивидов и их сберегательное поведение по причинам, то есть мотивам, которые подталкивают их делать сбережения. Очевидно, что при данной трактовке следует, в первую очередь, выделять индивидов, делающих и не делающих сбережения. Подчеркнем, что это решение не коррелирует напрямую с другими видами поведения, в том числе с инвестиционным. Например, индивид, не формирующий сбережения, вполне может осуществлять инвестиционные решения и действия с суммами, сформированными не им, а, скажем, полученными им в наследство. С другой стороны, делить граждан, делающих сбережения, по периодичности и регулярности внесения сумм в избранный формат сбережений, считает нерациональным, так как периодичность является вторичным фактором, производным от мотивов для формирования сбережений в целом.

По мотивации к сбережению (накоплению) поведение можно подразделять на три укрупненных типа, в каждом из которых могут присутствовать конкретные нюансы:

1. Целевое сбережение, предполагающее накопление более или менее определенной суммы на конкретную покупку или иное действие, которое может предполагать либо точно определять дату, когда накопление должно быть завершено. Даже если точная дата не определена, индивид определяет ее в качестве одной из целевых характеристик процесса накопления. Особенностями такого поведения являются:

– всегда ограничено во времени, не предполагает постоянного формирования сбережений в течение всей жизни;

– индивид планирует конкретную сумму, которая должна быть накоплена, хотя она может корректироваться в зависимости от изменений стоимости предполагаемой покупки;

– в зависимости от предыдущего решения и доходов индивида часто определяется сумма регулярных взносов в избранный формат сбережения (во вклад, в копилку и т. п.);

– зачастую стимулирует индивида откладывать достаточно существенную часть своего дохода.

Данный вид сбережения обладает наибольшим сходством с кредитованием, где также имеет место потребление, отстоящее во времени от момента получения дохода, известны общая сумма и обычно планируются периодические (ежемесячные) платежи. Тем не менее, имеется и ряд практических отличий:

– в процессе индивид может варьировать условия сбережения в зависимости от внешних и внутренних обстоятельств, что гораздо труднее сделать в отношении кредита, условия которого обычно довольно жесткие;

– в процессе индивид может поменять цель и вообще отказаться от поставленной цели, что невозможно при кредитовании;

– в процессе индивид сам пользуется инвестиционным доходом на накопления, либо делит его с финансовой организацией, а при кредите весь доход (проценты) поступают в распоряжение финансовой организации.

2. Сбережение «на черный день» (иначе его можно назвать страховым сбережением) является чистым сбережением ради сбережения, без формулировки объекта и времени отложенного потребления. Такой тип сберегательного поведения может принимать разнообразные конкретные формы с объяснением их мотивации: «на старость», «на похороны (типично среди пенсионеров зрелого возраста)», «а вдруг заболею я или ребенок», «на случай увольнения», «на непредвиденный ремонт квартиры, дачи, автомобиля», «а вдруг сломается что-то из техники и придется экстренно покупать» и т. п. Особенностями такого поведения являются:

– в подавляющем большинстве случаев такое сбережение не предполагает накопления крупных (по меркам дохода рассматриваемого домохозяйства) сумм;

– именно такие сбережения чаще других хранятся в наличной форме, так как большинство

видов мотивации к их созданию предполагает, что они должны быть под рукой мгновенно после возникновения экстренной ситуации;

– доля средств, направляемых на такие сбережения из текущего дохода, в существенной степени зависит от жизненного опыта лица, принимающего соответствующее решение: уже пережитые травмирующие события могут активизировать такое поведение до гипертрофированных форм, если же такие события были пережиты без долгосрочных последствий, может, напротив, происходить отказ от такого варианта поведения.

Тем не менее, наиболее типичной является ситуация, когда в результате такого типа поведения формируются небольшие (для большинства домохозяйств – от десятков до нескольких сотен тысяч рублей) нецелевые накопления, спорадически расходуемые и затем пополняемые, обычно нерегулярно, а по мере возникновения дополнительных возможностей. Исключение составляют случаи патологического страхового сбережения, вызванные психологическими травмами. Конечно, накопленные суммы могут быть помещены в организованные формы сбережений, но дополнительный доход не является основной целью формирования накоплений. Видоизменению данного типа сберегательного поведения может способствовать поведение страховое, однако полное замещение невозможно. Страховое покрытие возможно лишь для конкретного перечня ситуаций, тогда как накопления могут быть использованы максимально широко.

3. Инвестиционное сбережение, основной целью которого является последующее вложение накопленным сумм и извлечение дополнительного дохода. Такие накопления формируются исключительно в организованной форме, предполагающей либо собственные инвестиционные решения, либо передачу таких решений финансовым организациям (от банковских вкладов до трастового обслуживания). К особенностям такого поведения можно отнести:

– предполагает накопление крупным в сравнении с доходами домохозяйства сумм (так как именно они позволяют получать существенный по оценке инвестора доход);

– часто накопление идет ритмично, заранее планируемыми суммами или долями от полученного дохода;

– перспективы использования на потребление, даже существенно отложенное по времени, почти полностью отсутствуют, инвестор как максимум ориентирован на расходование лишь получаемого дополнительного дохода;

– такие сбережения нередко пополняются суммами дополнительных, в том числе непредвиденных доходов лица, принимающего решения (наследство, выгодная продажа части имущества, подарки, а также некоторые виды трудовых доходов – премии, оплата сверхурочных и т. п.).

Конкретика данного типа поведения находится в существенной зависимости от состояния финансового рынка и уровня развития сектора финансовых услуг для физических лиц. С одной стороны, такое поведение предполагает хотя бы минимальный уровень финансовой грамотности индивида, а с другой стороны, рост привлекательности, то есть доходности наиболее распространенных типов инвестиций сбережений населения (например, банковских вкладов) активизирует сберегательную активность лиц, склонных именно к такому типу поведения.

Вторым основанием для классификации сберегательного поведения следует признать долю дохода индивида или домохозяйства, направляемую на формирование сбережений. С макроэкономической точки зрения нормальным считается распределение совокупного дохода между текущим и отложенным потреблением (состоящим из кредита и накоплений) в пропорции 90% и 10%, соответственно. Однако фактически такое оптимальное соотношение редко наблюдается как на уровне национальной или региональной экономики, так и в домохозяйствах. Поэтому следует выделять три интервала доли доходов, направляемых на сбережение, определяющие существенно различающиеся типы сберегательного поведения индивидов (домохозяйств):

1. 1–5% – данную долю можно назвать незначительной, так как потеря такой части расходов практически никак не влияет на уровень потребления и потребительские привычки, а следовательно, может пройти незамеченной для индивида. Такое сбережение может принимать множество форм:

- осознанное – откладывается небольшая, но заранее запланированная сумма;
- целевое, в том числе с применением современных технологий и финансовых продуктов, таких как Сбербанк Копилка и аналогичные;
- спонтанное – откладываются излишки на счете или в наличии на момент получения следующей суммы доходов (зарплаты и т. п.);
- игровое – наполнение копилки и т. п.

Не следует считать, что такое накопление не оказывает никакого ощутимого влияния на финансы домохозяйства. Оно может в итоге приводить к формированию если не крупных, то значимых для конкретного домохозяйства сумм, помогать совершать важные, в том числе

экстренные покупки, уменьшать кредитную нагрузку, замещая собой заемные средства и т. п. Более того, в ряде случаев выделение именно такой доли дохода в сбережения представляется если не оптимальным, то вполне оправданным:

- при высоких регулярных доходах, когда риски экстренных ситуаций невелики, а текущего дохода хватает на приобретение всего необходимого, включая не только бытовую технику, но и автомобили – крупные отчисления в сбережения в этом случае просто не нужны;
- при очень низких доходах, не позволяющих домохозяйству обеспечить достаточное потребление при отчислении в сбережения значительных сумм;
- при стабильной ситуации с доходами, занятостью и всеми другими аспектами экономической жизни;
- при наличии гарантированной внешней поддержке домохозяйства на экстренный случай (например, пенсионер имеет работающих и хорошо обеспеченных детей, которые при необходимости помогут ему материально [4]).

Такая доля сбережений чаще всего соответствует страховому типу сберегательного поведения, хотя встречаются и другие варианты.

2. 5–25% – несмотря на широкий интервал, назовем его оптимальным или сбалансированным, во-первых, потому, что в него попадает упомянутое выше значение в 10%, а во-вторых, потому, что в данном случае конкретная доля определяется как возможностями домохозяйства с точки зрения доходов, так и потребностями, точнее, планируемыми способами дальнейшего распоряжения накопленными средствами.

В любом случае указанный интервал доли сбережений в совокупном доходе домохозяйства предполагает:

- определенное влияние на уровень текущего потребления: индивиду приходится отказываться от каких-либо желаемых покупок, однако не от оплаты жизненно необходимых товаров и услуг, равно как и важных для поддержания и сохранения текущего уровня доходов (например, от оплаты медицинских услуг, дополнительного образования или развития детей);
- средний темп роста накоплений и формирование значительных для домохозяйства сумм в течение многолетних периодов сохранения аналогичного сберегательного поведения;
- возможность поддержания такого сберегательного поведения в течение любого временного периода, в том числе всей жизни;
- в кризисных ситуациях, особенно связанных со снижением доходов семьи, данный тип сберегательного поведения допускает сокращение доли сбережений, однако в большинстве случаев она остается в заявленных рамках, например, снижаясь с обычных 20 до 10 или 5%;
- в качестве варианта поддержания данного сберегательного поведения, которое за ряд лет превращается в устойчивую привычку у склонных к нему индивидов, в кризисных условиях можно отметить пополнение сбережений за счет полученного на них инвестиционного дохода при исчезновении возможностей их пополнения из трудовых или предпринимательских доходов.

Данная доля может соответствовать любому из трех рассмотренных выше типов сберегательного поведения, хотя психологически к нему наиболее склонны те же личности, которые реализуют инвестиционное сберегательное поведение.

3. Свыше 25% – гипертрофированное сберегательное поведение. Более того, доля может доходить до 50 и даже 70% дохода, существенно искажая потребительское поведение и уровень жизни.

Следует указать, что такое сберегательное поведение обычно коррелирует только с накопительным типом, то есть носит временный характер, когда желание накопить на желаемую вещь заставляет индивида отказаться от ряда других трат. Тем не менее, в отдельных случаях возможны и другие варианты. При этом более или менее длительный отказ от значительной доли текущего потребления (продолжительностью 3–5 лет и более) возникает лишь в ряде особых случаев:

- высокая важность планируемой покупки в сочетании с большой ее стоимостью (скажем, единственное жилье);
- уровень дохода индивида, существенно превышающий доходы его окружения, в сочетании с нежеланием выделяться или выходить из сложившегося круга общения;
- наличие крупных нелегальных доходов или иных доходов, которые индивид предпочитает скрывать;
- рыночный дисбаланс, делающий невозможным расходование всей суммы доходов индивида (своего рода синдром подпольного миллионера);
- психологическая склонность к гипертрофированному сберегательному поведению (данная особенность психики не обязательно является патологией, особенно если не наносит ущерба потреблению жизненно важных и социально значимых благ).

На сравнительно коротких временных интервалах – от нескольких месяцев до 2–3 лет – доля сбережений даже на уровне свыше 50%

дохода не является редкой и не требует особых причин для возникновения. Такая ситуация часто возникает либо в условиях резкого повышения доходов или получения доходов из нового, непривычного для индивида источника, либо при достаточно высокой привлекательности покупки, на которую сбережения планируется направить впоследствии.

Заключение

При принятии различных решений на уровне государственного и корпоративного управления необходимо четко осознавать, что, несмотря на все различия в вариантах сберегательного поведения, сам факт формирования сбережений может оказывать влияние на широкий круг действий индивида в других сферах экономического поведения:

1. Наиболее тесной представляется связь сберегательного и инвестиционного поведения, так как в подавляющем большинстве случаев инвестиционные решения принимаются в отношении ранее сформированных сбережений.

2. Также важна связь сберегательного и кредитного поведения, так как в большинстве случаев наличие сбережений приводит к устранению потребности в кредитовании, хотя ранее уже было отмечено, что данное утверждение не всегда верно в отношении кредитования на короткие сроки.

3. Страховое поведение наиболее сильно пересекается со страховым типом сберегательного поведения, однако они вполне могут дополнять друг друга, что не отменяет их взаимодействия.

4. Взаимное влияние сберегательного и потребительского поведения очевидна в силу того, что сбережения формируются за счет вывода части дохода из текущего потребления и наоборот. Для понимания данного взаимодействия особенно важна вторая из представленных нами классификаций сберегательного поведения, а также причины выбора доли доходов, направляемых на сбережение.

5. На трудовое, а отчасти и предпринимательское поведение (особенно если включать в последнее самозанятость) оказывает влияние как сам факт наличия, так и размер, а также доходность накоплений. Наличие финансовой подушки безопасности, например, может продлевать период поиска работы и выбора оптимальной из вакансий. Крупные сбережения, приносящие доход, покрывающий хотя бы наиболее насущные расходы индивида могут стать основанием для его решения отказаться от основной работы, дополнительной или сверхурочной занятости, а также стимулировать его желание сменить занятость на частичную, надомную, либо просто уйти в другой вид деятельности, менее доходный, но в большей степени отвечающий индивидуальным потребностям и предпочтениям.

6. Наконец, сберегательное поведение само по себе может меняться, оно не является встроенным и постоянным свойством психики. Например, гипертрофированное целевое сберегательное поведение по истечении его срока и после приобретения желаемого может повториться при высокой степени удовлетворенности покупкой. Страховое и минимальное сберегательное поведение после накопления достаточно значимой суммы и в случае начала получения дохода на нее может преобразоваться в инвестиционное оптимальное поведение и т. д.

Более того, в рамках первой классификации один и тот же индивид или домохозяйство может реализовывать не только один, но и два, и даже все три вида поведения одновременно, например:

– иметь небольшие наличные сбережения на непредвиденный экстренный случай (обычно несколько десятков тысяч рублей дома);

– иметь и регулярно пополнять сбережения в организованной и инвестированной форме (банковские вклады, ценные бумаги, траст);

– в отдельные краткосрочные периоды (несколько месяцев) дополнительно формировать накопления для какой-либо покупки, формируя их в наличной форме или в форме краткосрочных финансовых продуктов.

Не следует трактовать выявленные взаимосвязи как однозначные и непреложные. Далеко не всегда наличие или отсутствие накоплений приводит к описанным изменениям в других видах экономического поведения, либо вообще к любым изменениям. Однако возможность указанных изменений необходимо принимать в расчет как в сфере государственного управления проблемами благосостояния населения, так и в сфере управления персоналом.

Литература

1 Абрамян Г.А. Сберегательное поведение как составная часть финансового поведения населения // Таврический научный обозреватель. 2016. № 2(7). С. 37–40.

2 Маллаева М.И., Ниналалова Ф.И. Сберегательное поведение домашних хозяйств в условиях современной России // Экономика и управление: научно-практический журнал. 2020. № 6 (156). С. 128–131.

3 Сабетова, Т.В. Развитие современных методов аккумулирования сбережений домохозяйств в России // Политэкономические проблемы развития современных агроэкономических систем. Сборник научных статей 4-й Международной научно-практической конференции. 2019. С. 200–206.

4 Шаламов Г.А. и др. Особенности сберегательного поведения населения в современных условиях // Евразийское пространство: экономика, право, общество. 2021. № 4. С. 56–59.

5 Alshebami A.S., Seraj A.H.A. The Antecedents Of Saving Behavior And Entrepreneurial Intention Of Saudi Arabia University Students // Educational Sciences: Theory and Practice. 2021. V. 21. № 2. P. 67–84.

6 Amari M., Salhi B., Jarboui A. Evaluating The Effects Of Sociodemographic Characteristics And Financial Education On Saving Behavior // International Journal of Sociology and Social Policy. 2020. V. 40. № 11–12. P. 1423–1438.

7 Bekbossinova A., Dzhunusov A.M., Simanavičienė Z. Factors Influence Of Saving Behavior Of Rural And Urban Self-Employed People In The Context Of Kazakhstan Pension System // Central Asian Economic Review. 2021. № 6 (141). P. 6–17.

8 Gilenko E., Chernova A. Saving Behavior And Financial Literacy Of Russian High School Students: An Application Of A Copula-Based Bivariate Probit-Regression Approach // Children and Youth Services Review. 2021. V. 127. P. 106122.

9 Grigoryan E. Impact Of Socioeconomic Factors On The Saving Behavior Of The Ra Resident Households // Messenger of Armenian State University of Economics. 2021. № 5. P. 22–34.

10 Kolmakov A.E., Lokhtina T.N., Kulesh M.I. Changes in household saving and borrowing behavior during the economic crisis // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. V. 751. №. 1. P. 012150.

11 Park E., Kwon S. J. What motivations drive sustainable energy-saving behavior?: An examination in South Korea // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. V. 79. P. 494-502. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.150

12 Van Ooijen R., Alessie R., Kalwij A. Saving behavior and portfolio choice after retirement // De Economist. 2015. V. 163. №. 3. P. 353-404. doi: 10.1007/s10645-015-9254-z

13 Yue T., Long R., Chen H. Factors influencing energy-saving behavior of urban households in Jiangsu Province // Energy Policy. 2013. V. 62. P. 665-675. doi: 10.1016/j.enpol.2013.07.051

14 Heckman S.J., Hanna S.D. Individual and institutional factors related to low-income household saving behavior // Journal of Financial Counseling and Planning. 2015. V. 26. №. 2. P. 187-199. doi: 10.1891/1052-3073.26.2.187

15 Asebedo S.D., Wilmarth M.J., Seay M.C., Archuleta K. et al. Personality and saving behavior among older adults //Journal of Consumer Affairs. 2019. V. 53. №. 2. P. 488-519. doi: 10.1111/joca.12199

16 Zhang Y., Wang Z., Zhou G. Antecedents of employee electricity saving behavior in organizations: An empirical study based on norm activation model // Energy Policy. 2013. V. 62. P. 1120-1127. doi: 10.1016/j.enpol.2013.07.036

17 Copur Z., Gutter M.S. Economic, sociological, and psychological factors of the saving behavior: Turkey case // Journal of Family and Economic Issues. 2019. V. 40. №. 2. P. 305-322. doi: 10.1007/s10834-018-09606-y

18 Hori S., Kondo K., Nogata D., Ben H. The determinants of household energy-saving behavior: Survey and comparison in five major Asian cities // Energy Policy. 2013. V. 52. P. 354-362. doi: 10.1016/j.enpol.2012.09.043

19 Shrestha B., Tiwari S.R., Bajracharya S.B., Keitsch M.M. et al. Review on the Importance of Gender Perspective in Household Energy-Saving Behavior and Energy Transition for Sustainability // Energies. 2021. V. 14. №. 22. P. 7571. doi: 10.3390/en14227571

20 Ding Z., Wang G., Liu Z., Long R. Research on differences in the factors influencing the energy-saving behavior of urban and rural residents in China–A case study of Jiangsu Province // Energy policy. 2017. V. 100. P. 252-259. doi: 10.1016/j.enpol.2016.10.013

References

1 Abramyan G.A. Savings behavior as an integral part of the population's financial behavior. Tauride Scientific Reviewer. 2016. no. 2(7). pp. 37–40. (in Russian).

2 Mallaeva M.I., Ninalalova F.I. Saving behavior of households in modern Russia. Economics and management: scientific and practical journal. 2020. no. 6 (156). pp. 128–131. (in Russian).

3 Sabetova, T.V. Development of modern methods of accumulating household savings in Russia. Political economic problems of the development of modern agroeconomic systems. Collection of scientific articles of the 4th International Scientific and Practical Conference. 2019. pp. 200–206. (in Russian).

4 Shalamov G.A. and others. Features of the savings behavior of the population in modern conditions. Eurasian space: economics, law, society. 2021. no. 4. pp. 56–59. (in Russian).

5 Alshebami A.S., Seraj A.H.A. The Antecedents Of Saving Behavior And Entrepreneurial Intention Of Saudi Arabia University Students. Educational Sciences: Theory and Practice. 2021. vol. 21. no. 2. pp. 67–84.

6 Amari M., Salhi B., Jarboui A. Evaluating The Effects Of Sociodemographic Characteristics And Financial Education On Saving Behavior. International Journal of Sociology and Social Policy. 2020. vol. 40. no. 11–12. pp. 1423–1438.

7 Bekbossinova A., Dzhunusov A.M., Simanavičienė Z. Factors Influence Of Saving Behavior Of Rural And Urban Self-Employed People In The Context Of Kazakhstan Pension System. Central Asian Economic Review. 2021. no. 6 (141). pp. 6–17.

8 Gilenko E., Chernova A. Saving Behavior And Financial Literacy Of Russian High School Students: An Application Of A Copula-Based Bivariate Probit-Regression Approach. Children and Youth Services Review. 2021. vol. 127. pp. 106122.

9 Grigoryan E. Impact Of Socioeconomic Factors On The Saving Behavior Of The Ra Resident Households. Messenger of Armenian State University of Economics. 2021. no. 5. pp. 22–34.

10 Kolmakov A.E., Lokhtina T.N., Kulesh M.I. Changes in household saving and borrowing behavior during the economic crisis. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. vol. 751. no. 1. pp. 012150.

11 Park E., Kwon S. J. What motivations drive sustainable energy-saving behavior?: An examination in South Korea. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. vol. 79. pp. 494-502. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.150

12 Van Ooijen R., Alessie R., Kalwij A. Saving behavior and portfolio choice after retirement. De Economist. 2015. vol. 163. no. 3. pp. 353-404. doi: 10.1007/s10645-015-9254-z

13 Yue T., Long R., Chen H. Factors influencing energy-saving behavior of urban households in Jiangsu Province. Energy Policy. 2013. vol. 62. pp. 665-675. doi: 10.1016/j.enpol.2013.07.051

14 Heckman S.J., Hanna S.D. Individual and institutional factors related to low-income household saving behavior. Journal of Financial Counseling and Planning. 2015. vol. 26. no. 2. pp. 187-199. doi: 10.1891/1052-3073.26.2.187

15 Asebedo S.D., Wilmarth M.J., Seay M.C., Archuleta K. et al. Personality and saving behavior among older adults. Journal of Consumer Affairs. 2019. vol. 53. no. 2. pp. 488-519. doi: 10.1111/joca.12199

16 Zhang Y., Wang Z., Zhou G. Antecedents of employee electricity saving behavior in organizations: An empirical study based on norm activation model. Energy Policy. 2013. vol. 62. pp. 1120-1127. doi: 10.1016/j.enpol.2013.07.036

17 Copur Z., Gutter M.S. Economic, sociological, and psychological factors of the saving behavior: Turkey case. Journal of Family and Economic Issues. 2019. vol. 40. no. 2. pp. 305-322. doi: 10.1007/s10834-018-09606-y

18 Hori S., Kondo K., Nogata D., Ben H. The determinants of household energy-saving behavior: Survey and comparison in five major Asian cities. Energy Policy. 2013. vol. 52. pp. 354-362. doi: 10.1016/j.enpol.2012.09.043

19 Shrestha B., Tiwari S.R., Bajracharya S.B., Keitsch M.M. et al. Review on the Importance of Gender Perspective in Household Energy-Saving Behavior and Energy Transition for Sustainability. Energies. 2021. vol. 14. no. 22. pp. 7571. doi: 10.3390/en14227571

20 Ding Z., Wang G., Liu Z., Long R. Research on differences in the factors influencing the energy-saving behavior of urban and rural residents in China–A case study of Jiangsu Province. Energy policy. 2017. vol. 100. pp. 252-259. doi: 10.1016/j.enpol.2016.10.013

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

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

Tatiana V. Sabetova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, management and marketing in AIC 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

Наталья В. Шишкина написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Татьяна В. Сабетова обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Contribution

Natalia V. Shishkina wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Tatiana V. Sabetova review of the literature on an investigated problem

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 05/04/2022	**После редакции** 28/04/2022	**Принята в печать** 30/05/2022

Received 05/04/2022	**Accepted in revised** 28/04/2022	**Accepted** 30/05/2022

Приветствуется подача статей онлайн! Адрес: http://vestnik.vsuet.ru/

Требования к оформлению материалов для журнала «Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий»

Редакция просит авторов в подготовке рукописей руководствоваться изложенными ниже правилами. Рукописи, оформленные без соблюдения данных правил, редакцией рассматриваться не будут.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РУКОПИСЕЙ И ЗАЯВЛЕНИЕ НА РАССМОТРЕНИЕ

Представление рукописи в журнал *«ВЕСТНИК ВГУИТ»* для печати предполагает, что:
1) описанная в ней работа ранее не была опубликована;

2) она не рассматривается для публикации в ином издательстве;

3) ее публикация была одобрена всеми авторами и так или иначе взаимосвязанными организациями, в которых эта работа проводилась;

4) в случае принятия к публикации эта статья не будет опубликована где-либо еще в той же форме, на английском или на любом другом языке, в том числе и в электронном виде.

Представление статьи проводят через официальный сайт издания путем прохождения регистрации (http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/user/register).

В состав электронной версии статьи должны входить:

1. Рукопись статьи оформленная строго в шаблоне редакции в формате Word 2007–2016. Word 2003 – **НЕ Принимается**
2. табличный материал в виде отдельного файла (**только при условии** когда объем одной таблицы превышает полную страницу журнальной статьи)
3. иллюстрации **в исходном формате данных с возможностью редактирования (программах для черчения/рисования/создания диаграмм и прочее, ТО ЕСТЬ НЕ сохранен в формате с потерей качества)** предпочтение, при этом отдается векторным форматам: **eps, svg, ai, pdf,** растровый формат изображений (с сжатием): форматы **png, jpeg и пр.** не прикреплять**.** Минимальное разрешение рисунков и графиков **600 dpi. Это требование необходимо для повышения типографского качества печатной версии издания.**

Если авторов несколько, то необходимо указать автора, которому будет адресована корреспонденция, и его контактные данные: адрес, номер телефона/факса, а также адреса электронной почты всех авторов.

ВНИМАНИЕ: Авторы несут полную ответственность за достоверность и оригинальность информации, предоставленной в рукописи. Все рукописи проходят проверку на наличие заимствований в системе «Антиплагиат». Оригинальность рукописи должна быть не менее 80%, в противном случае рукопись будет возвращена без права опубликования. При обнаружении нарушения авторских прав или плагиата будет проведена ретракция опубликованных статей в соответствии с правилами COPE.

ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ

Статьи в журнале *«ВЕСТНИК ВГУИТ»* издаются на русском языке с реферат на английском языке. По согласованию с редакцией допускается публикация статьи и на английском языке.

Вся статья (текст, таблицы, примечания, заголовки, иностранные вставки, список литературы, подрисуночные подписи и др.) набирается на компьютере в соответствии со стилями форматирования **шаблона журнала** для MS Word **2007-2016**.

Версия статьи выполненная средствами MS Word 2003 **НЕ принимаются**.

Объем статьи, включая список литературы и подрисуночные подписи, не должен превышать: для работ, имеющих общее значение 5–20 страниц текста, для кратких сообщений до 3 стр.

Приветствуется подача статей онлайн! Адрес: http://vestnik.vsuet.ru/

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ СТАТЬИ

I. *ОСНОВНОЙ ТЕКСТ СТАТЬИ*

Рукописи оригинальных исследований представляются по общепринятой международной схеме (IMRAD format - Introduction, Methods, Results and Discussion) и в статье должны найти отражение следующие рубрики:

Введение - кратко излагается современное состояние вопроса и обосновывается актуальность исследования. Дается критическая оценка литературы, имеющей отношение к рассматриваемой проблеме. Данная оценка разграничивает нерешенные вопросы. Ставятся четко сформулированные цели и задачи, поясняющие дальнейшее исследование в конкретной области;

Материалы и методы - дается достаточно подробное описание работы, для ее возможного воспроизведения. Методы, опубликованные ранее, должны сопровождаться ссылками: автором описываются только относящиеся к теме изменения.

Результаты - описываются в логической последовательности в виде отдельных фрагментов, разделенных подзаголовками, без элементов обсуждения, без повторения методических подробностей, без дублирования цифровых данных, приведен-ных в таблицах и рисунках.

Обсуждение - в разделе проводится детальный анализ полу-ченных данных в сопоставлении с данными ли-тературы, что служит обоснованием выводов и заключений авторов.

Заключение - подводятся основные итоги работы, приводятся рекомендации и указание на дальнейшие возможные направления исследований.

Для обзорных статей должны быть указаны *Введение* и в соответствии со стандартом PRISMA указать **стратегию поиска литературы** (http://www.prisma-statement.org).

Таблицы объема больше одной страницы указывать как **Приложение в виде отдельного файла**, так как они не будут опубликованы в печатной версии, а будут прикладываться в виде отдельного файла к электронной версии.

Названия и содержание рисунков (все подписи внутри) и таблиц (столбцов и строк) должны быть приведены как на русском, так и на английском языках.

Графический материал представляется в исходном формате данных с возможностью редактирования (программах для черчения/рисования/создания диаграмм и прочее, ТО ЕСТЬ НЕ сохранен в формате с потерей качества) предпочтение, при этом отдается векторным форматам: eps, svg, ai, pdf, исключение фотографии в растровом формате (с сжатием): png, jpeg и пр. Минимальное разрешение рисунков и графиков **600 dpi.**

Файлы Excel -- внедрены в текст статьи, с возможностью редактирования.

II. *БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES*

Список литературы оформляется согласно Приложению 1, 2.

Цитируемая литература должна содержать не менее 10 источников, и не менее 5 ссылок на иностранные источники. В списке литературы должны быть опубликованы работы за последние пять лет, в том числе в журналах, индексируемых в базах данных ***ScienceDirect, Web of Science, Scopus, Science Index***. Лишь в случае необходимости допустимы ссылки на более ранние труды. Справочная литература не старше 10 лет.

В список литературы **НЕ включаются** учебные пособия, нормативные и архивные материалы, статистические сборники, газетные заметки без указания автора, монографии, авторефераты и диссертации. В цитируемой литературе желательно указывать источники с **DOI.**

Вместо ссылок на материалы диссертаций и авторефератов диссертаций, рекомендуется ссылаться на оригинальные статьи по теме диссертационной работы, так как сами диссертации рассматриваются как рукописи и не являются печатными источниками.

Самоцитирование **НЕ более** 2-х ссылок.

Приветствуется подача статей онлайн! Адрес: http://vestnik.vsuet.ru/

III. ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА

Статьи, принимаемые к публикации в журнале *«ВЕСТНИК ВГУИТ»*, должны излагать наиболее существенные, законченные и еще ранее неопубликованные результаты научных исследований.

О публикационной этике и этических нормах для публикации в журнале *«ВЕСТНИК ВГУИТ»* см.: http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/about/editorialPolicies#custom-2

Журнал «Вестник ВГУИТ» выходит 4 раза в год: № 1 – март; № 2 – июнь; № 3 – сентябрь; № 4 – декабрь.

Статья должна быть тщательно проверена и подписана всеми авторами.

К статье должны прилагаться сопроводительные документы:

- сопроводительное письмо;
- экспертное заключение;
- положительная рецензия ведущего ученого в данной области или члена редакционной коллегии серии, заверенная подписью и печатью.

Вопрос об опубликовании статьи, ее отклонении решает редакционная коллегия журнала и ее решение является окончательным. В случае возвращения статьи для исправления датой представления считается день получения исправленного текста. Срок доработки - не более 1 месяца.

Материалы, не соответствующие данным требованиям оформления, к публикации не принимаются. Рукописи авторам не возвращаются.

Плата с аспирантов и докторантов за публикацию рукописей не взимается.

IV. КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Информацию о стоимости публикации можно узнать в редакции журнала. Также редакция оказывает платные услуги профессионального перевода реферата и ключевых слов на английский язык.

По всем интересующим Вас вопросам обращаться в редакцию журнала по контактам:

Дерканосова Анна Александровна - кандидат технических наук, доцент кафедры Сервиса и ресторанного бизнеса, начальник Центра коллективного пользования «Контроль и управления энергоэффективными проектами»

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
Телефон: 8 920 432 16 57
E-mail: post@vestnik-vsuet.ru, aa-derk@yandex.ru
Адрес 394000, г. Воронеж, пр. Революции, 19, ауд. 11.

Соответствие рубрик/разделов журнала Вестник ВГУИТ
Номенклатуре научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени.

1.1 Процессы и аппараты пищевых производств

1.2 Пищевая биотехнология

- **05.18.01** Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства
- **05.18.04** Технология мясных молочных и рыбных продуктов и холодильных производств
- **05.18.05** Технология сахара и сахаристых продуктов чая табака и субтропических культур
- **05.18.06** Технология жиров эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов
- **05.18.07** Биотехнология пищевых продуктов и биологически активных веществ
- **05.18.12** Процессы и аппараты пищевых производств
- **05.18.15** Товароведение пищевых продуктов и технология общественного питания

2. Химическая технология

- **05.17.01** Технология неорганических веществ
- **05.17.04** Технология органических веществ
- **05.17.06** Технология и переработка полимеров и композитов
- **05.17.07** Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ
- **05.17.08** Процессы и аппараты химических технологий

3. Экономика и управление

- **08.00.05** Экономика и управление народным хозяйством

Приветствуется подача статей онлайн! Адрес: http://vestnik.vsuet.ru/

Приложение 1

ПОРЯДОК ОПИСАНИЯ ССЫЛОК НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

СТАТЬЯ В ЖУРНАЛЕ:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Буянова И.В., Имангалиева Ж.К. Агрегат для тонкого измельчения творога // Вестник Международной академии холода. 2016. № 3. С. 23–26.

(кол-во авторов более 4):

Семенов Е.В., Бабакин Б.С., Воронин М.И., Белозёров А.Г. и др. Математическое моделирование процесса охлаждения хладоносителя системой замороженных шаров // Вестник Международной академии холода. 2016. № 4. С. 74–79.

СТАТЬЯ В ЖУРНАЛЕ С DOI:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Илюхина Н.В., Колоколова А.Ю. Закономерности ингибирования культуры *Salmonella* // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 209–212. doi: 10.20914/2310-1202-2018-4-209-212

(кол-во авторов более 4):

Шарова Н.Ю., Принцева А.А., Манжиева Б.С., Выборнова Т.В. и др. Ферменты гидролитического действия в технологиях переработки некондиционного крахмалсодержащего сырья // Пищевая промышленность. 2019. № 4. С. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ:

Содержание и технологии образования взрослых: проблема опережающего образования: сб. науч. тр. / Институт образования взрослых Рос. акад. образования; под ред. А.Е. Марона. М.: ИОВ, 2007. 118 с.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, ФОРУМОВ, СОВЕЩАНИЙ, СЕМИНАРОВ:

Цветкова И.И., Сводцева И.А. Индикаторный подход к оценке кадровой безопасности в системе экономической безопасности предприятия // Устойчивое развитие социально-экономической системы Российской Федерации: мат. XVII науч.-практ. конф., Гурзуф, Ялта, 04 декабря 2015 г. Симферополь: Ариал, 2016. С. 110–112.

КНИГА, МОНОГРАФИЯ:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Румянцева З.П. Менеджмент организаций. М.: Инфра-М, 2015. 432 с.

(кол-во авторов более 4):

Антипова Л.В., Сторублевцев С.А., Успенская М.Е., Попова Я.А. и др. Комплексная переработка кроликов: традиции и инновации: монография. Воронеж, 2017. 377 с.

ДИССЕРТАЦИЯ

Пономаренко Ю.А. Нетрадиционные корма и биологически активные вещества в рационах цыплят-бройлеров и кур-несушек: дис… д-ра с.-х. наук. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2017. 437 с.

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ:

Ушакова А.С. Разработка комплексной технологии переработки сушеного плодово-ягодного сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кемерово: Кемер. технол. ин-т пищевой пром., 2017. 22 с.

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ:

порядок описания:

Заглавие официального документа: сведения, относящиеся к заглавию (указ, постановление), Дата принятия документа / Название издания. Год издания. Количество страниц.

пример:

ГОСТ 5900–2014. Изделия кондитерские. Определение массовой доли влаги и сухих веществ. М.: Стандартинформ, 2015. 8 с.

ПАТЕНТ:

порядок описания:

Обозначение вида документа, номер, название страны, индекс международной классификации изобретений. Название изобретения / И.О.Фамилия изобретателя, заявителя, патентовладельца; Наименование учреждения-заявителя. Регистрационный номер заявки; Дата подачи; Дата публикации, сведения о публикуемом документе.

пример:

Пат. № 2689672, RU, A23L 5/00. Способ комплексной переработки семян сои с выделением белоксодержащих фракций / Четверикова И.В., Шевцов А.А., Ткач В.В., Сердюкова Н.А. № 2018107149; Заявл. 26.02.2018; Опубл. 01.07.2019. Бюл. № 19.

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕСУРС:

порядок описания:

Фамилия И.О. автора (если указаны). Название ресурса. Место издания: Издательство, год издания (если указаны). Адрес локального сетевого ресурса.

пример:

Лапидус Л.В. Центр компетенций цифровой экономики. Ассоциация граждан и организаций по содействию развитию корпоративного образования. URL: http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/

Приветствуется подача статей онлайн! Адрес: http://vestnik.vsuet.ru/

Приложение 2

ПОРЯДОК ОПИСАНИЯ ССЫЛОК НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ:

СТАТЬЯ ИЗ ЖУРНАЛА:

порядок описания:

Фамилия И.О. автора (транслитерация). Перевод названия статьи на английский. Перевод названия источника на английский язык. Год, том, номер, страницы (от-до). Указание на язык статьи (in Russian) после описания статьи.

пример:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 3. pp. 23–26. (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozerov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 4. pp. 74–79. (in Russian).

СТАТЬЯ С DOI:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Ilyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of Salmonella Culture. Bulletin of the Voronezh State University. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212 (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials. Food Industry. 2019. no. 4. pp. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058 (in Russian).

СТАТЬЯ ИЗ ЭЛЕКТРОННОГО ЖУРНАЛА:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. Journal of Computer Mediated Communication. 1999. vol. 5. no. 2. Available at: http://www. ascusc.org/ jcmc/vol5/ issue2/

СТАТЬЯ ИЗ ПРОДОЛЖАЮЩЕГОСЯ ИЗДАНИЯ (СБОРНИКА ТРУДОВ):

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. Experimental study of the strength of joints “steel-composite”. Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”. 2006. no. 593. pp. 125–130. (in Russian).

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise. Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation. Simferopol, Arial, 2016. pp. 110–112. (in Russian).

КНИГИ (МОНОГРАФИИ, СБОРНИКИ):

(кол-во авторов от 1 до 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations: a monograph. Moscow, Infra-M, 2015. 432 p. (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Antipova L.V., Storublevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Ya.A. et al. Complex processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p. (in Russian).

ДИССЕРТАЦИЯ ИЛИ АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ:

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials. Kemerovo, Kemer. Technol. Institute of Food Industry, 2017. 22 p. (in Russian).

ГОСТ:

State Standard 5900–2014. Confectionery products. Determination of the mass fraction of moisture and dry matter. Moscow, Standartinform, 2015. 8 p. (in Russian).

ПАТЕНТ:

Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions. Patent RF, no. 2689672, 2019.

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕСУРС:

Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. Available at: http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki / (in Russian).

List of requirements of drowing up materials in «Proceedings of the Voronezh state university of engineering technologies»

Editorial Board asks the authors to stick to the following rules in writing the papers, otherwise they may be rejected. Submitting the manuscripts for the review.

Submitting the article for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" includes: the paper has not been previously published; it is not being considered for publication in another publishing house; its publication has been approved by all authors and interlinked organizations in which this work was carried out; in case of the approval for publication the paper will not be published elsewhere in the same form, in English or any other language, including electronic form.

Submission form (application) for the publication of an article in a journal, filled up in accordance with the rules, should be sent to the following address: **19, Revolution av., 11 Voronezh 394000 Russia** and the electronic version of the paper with an attached manuscript file to an e-mail address vestnikvgta@mail.ru**.** Should specify the name of the first author of the article in the subject.

The electronic version of the paper should include: a file containing the text of the article, illustrations, tabular material in a separate file (if the amount of one table exceeds full page) and illustration (files in original format), preference is given to vector formats: eps, svg, ai, pdf.

If there are several authors, you must specify contact details of the authors to whom correspondence shall be addressed: address, phone / fax numbers and e-mail addresses.

The manuscript must be accompanied by a review from a specialist in this field, certified by signature and stamp.

Online application form is also available. The author can use the official website of the journal by completing registration at http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/user/register).

All articles received by the editorial board of the journal "Proceedings of the VSUET", are subject to mandatory unilateral anonymous ("blind") review (the authors do not know the names of reviewers of the manuscript, and will receive a letter with comments, signed by the chief editor).

After passing the review procedure and the approval of an article for publication, the authors' names and their listed order cannot be changed (addition, deletion, rearrangement). When submitting the final version of the article, please make sure that the list of authors is a complete and listed in a proper order.

ATTENTION: The author is solely responsible for the accuracy and originality of the information provided in the article. All manuscripts are checked for the presence of borrowings using "Antiplagiat" system. All manuscripts are tested with ANTIPLAGIAT for testing electronic documents for originality and reveal plagiarisms. The manuscript must comprise at least 80% of originality; otherwise the manuscript will be returned without the right to be published. Upon detection of copyright infringement or plagiarism in already published articles, they will be invalidated in accordance with the rules of COPE.

Requirements for structure of the paper

Articles in the journal "Proceedings of the VSUET" are published in Russian with English summary. In agreement with the editors, the publication may be done entirely in English.

By agreement, the editors accept publication of the article in English.

Full article (tables, text, footnotes, headers, inserts in a foreign language, references, captions, etc..) must be typed on a computer: in accordance with journal template formatting styles for MS Word 2007-2016..

The volume of the article, including references and captions must not exceed: for work of a common significance: from 5 to 20 pages, for news reports to 3 pages.

The manuscript should be structured to the following plan:

- *Type of article (original article, review article, short message or letter);*
- *UDC (Universal Decimal classification);*
- *DOI - numeric identifier (provided by the editors available for an extra fee);*
- *Full title of the article;*

- *First name (full), patronymic name (initials) and surname (full) of the author (s) e-mail;*
- *Name of the department (for a university) / laboratory (for Scientific Research Institute), the full name of the workplace, city, country;*
- *Abstract;*
- *Keywords;*
- *For reference (filled automatically);*
- *Structured text of the article;*
- *Thanks / acknowledgements;*
- *List of resources used (bibliography);*
- *Information about the authors;*
- *Contribution;*
- *Conflict of interest.*

The English version of the article title, first name, patronymic initial and last name of the authors, the full names of all workplaces, structured summaries and keywords must be given below a resume and keywords in Russian.

The editors reserve the right to correct the translation. It is recommended to take the help of a professional translator to avoid mistakes in compiling the English version of resume.

REQUIREMENTS TO THE CONTENT

I THE TITLE PAGE INCLUDES:

Article type

UDK

DOI:

TITLE OF THE ARTICLE. Title of work should be as short as possible (no more than 120 characters), and should accurately reflect its content. It is important to avoid titles in the form of interrogative sentences, as well as titles with an ambiguous meaning. Must use only standard abbreviations (acronyms).Must not use acronyms in the title. Full term should precede the first use of the acronym in the text.

FIRST NAME (FULL), PATRONYMIC (INITIAL) AND SURNAME (FULL) OF AUTHOR (S).

For example: **Aleksey D. Ivanov[1],**

Ivan A. Petrov[2]

FULL NAME OF ALL ORGANIZATIONS to which the authors are related. If the authors work in different institutions, the relationship of each author with his organization should be shown by using uppercase numbers, for example:

Example: Department (Laboratory), University (scientific research institute), city, country.

II. THE MAIN TEXT OF THE ARTICLE

The manuscripts of original research are submitted under the standard international scheme (IMRAD format - Introduction, Methods, Results and Discussion) and article should reflect the following headings:

Introduction - outlines the current state of the problem and the urgency of the study. It is necessary to give a critical assessment of the literature related to the issue. This assessment differentiates outstanding issues. Clear defined goals and objectives must be determined, explaining further research in a particular area;

Materials and methods - a fairly detailed description of the work is given. Previously published methods should be accompanied by a reference note: the author describes the changes related to the subject.

The results and discussion - the results should be clear and concise. Give a convincing explanation of the results and their significance so as the reader can not only independently assess the methodological advantages and disadvantages of the study, but also replicate if necessary.

Conclusion summarizes the main results of the research. The author gives recommendations and guidance on possible areas of further research.

The name and contents of figures and tables (rows and columns) should be given as in both Russian and English languages.

III ACKNOWLEDGEMENTS:

(when available - in Russian and English). The author should list persons, organizations, foundations, etc., who contributed help for a research, work and so on. (E.g. financial aid, language (linguistic) aid assistance in writing articles or editing proofreading , etc.)

IV. *REFERENCES*

Cited bibliography must contain at least 10 sources. Self-citations are allowed no more than 20 percent. At least 50 percent of the sources from the bibliography should be published in the last five years, including in the journals indexed in databases ***ScienceDirect, Web of Science, Scopus, Science Index***. Only in case of need the references to earlier works are allowed. The bibliography does not include textbooks, regulatory and archival materials, statistical collections, newspaper notes without the author's name, monographs, abstracts and theses. In the cited literature, it is desirable to specify the sources with **DOI**.

Bibliography (list of resources) is presented in two ways:

1. Russian along with foreign sources in accordance with GOST 7.0.5-2008 (All Union State standard).

2. Transliterated in the Latin alphabet with the translation of source publications into English for the international identification system.

Style of links (references):

In the article, the number of a link is enclosed in square brackets and placed in line with the text. You can give the names of the authors, but the number(s) of the references must always be present. The reference numbers (numbers in brackets) shall be in the reference list in the order in which they appear in text.

Example:

«... as shown [3; 6] or Barnaby and Jones [8] obtained a different result ... "

The author is solely responsible for the accuracy of bibliographic sources, including the English translation.

1. Russian version - in accordance with ***Appendix 1, 2***

References in the Russian version of the article are given in the original language. All references should be made uniformly: only a dot (full stop) without dashes between the parts of description. Symbols № and & are not used; for a number you should use Latin letter N with no point after it; double slash separates the description of a larger document, which refers to the fragment. You should not put dot (full stop) before the double slash // but spaces before and after the double slash // are required.

2. The English (REFERENCES) - in accordance with Harvard standard:

References in English are primarily necessary to track cited authors and journals. The correct description of the sources used in reference lists is the guarantee that the quoted publication will be taken into account when assessing the scientific work of its authors, and thus the organization, region and country. Quoting a journal determines its scientific level, the credibility, the effectiveness of its Editorial Board, etc.

The names of sources and works are specified in full, without abbreviations. The titles of monographs, collections of articles and conferences are transliterated into Latin alphabet, followed by an English translation in brackets. The website *http://www.translit.ru/* can be used for free transliteration of Russian text in Latin letters (version of BSI).

In the bibliography **(English version), it is not allowed** to use separating characters ***«//», «–»*** and ***«№»***

Instead of references to materials of theses and abstracts, it is recommended to include references to the original articles on the subject of the thesis, as the theses themselves are viewed as the manuscripts and are not printed sources.

VI. BASIC ETHICAL PRINCIPLES

Articles accepted for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" must reveal the most significant, complete and previously unpublished research results.

To learn more on publication ethics and ethical standards for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" please visit the website.: *http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/about/editorialPolicies#custom-2*

The magazine «the Messenger ВГУИТ» leaves 4 times a year: № 1 – March; № 2 – June; № 3 – September; № 4 – December.

The article must be thoroughly checked and signed by all the authors. Name, middle name, last name, address, science degree, position, place of work, telephone number (office and home) E-mail, the person communicate to are pointed out on a separate sheet of paper.

Accompanying deeds should be applied on paper:

- The transmittal letter;
- An extract from the report of faculty meeting with paper recommendation for printing;
- The positive review of the leading scientist in the given area or a member of an editorial board of the series, authenticated by the signature and printing.

The question on paper publication, its deviation is solved by an editorial board of the log and ee the solution is definitive. In case of refund of paper for correction by representation date it is considered day of reception of the corrected text. Finishing term - no more than 1 month.

The materials mismatching given demands of registration, to the publication are not accepted. Manuscripts are not refunded to authors.

The pay for the publication of manuscripts is not raised from post-graduate students

VII. CONTACT INFORMATION

scientific and public journal "Proceedings of the VSUET"

If you have any questions, please contact the editorial office:

Anna A. Derkanosova - Ph.D., associate professor of department of Service and restaurant business, Head of the Centre for collective use "Control and management of energy efficient projects"

FSBEE HE "Voronezh state university of engineering technologies"

Tel.: 8 920 432 16 57

E-mail: vestnikvgta@mail.ru, aa-derk@yandex.ru

Address: 19, Revolution av., 11 Voronezh 394000 Russia

Appendix 1

ORDER OF DESCRIPTION OF LINKS IN RUSSIAN

JOURNAL ARTICLE:

(number of authors from 1 to 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese // Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. № 3. P. 23–26.

(number of authors more than 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozerov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls // Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. № 4. P. 74–79.

ARTICLE WITH DOI:

(number of authors from 1 to 4):

Ilyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of *Salmonella* Culture // Bulletin of the Voronezh State University. 2018.V. 80. № 4. P. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212

(number of authors more than 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials // Food Industry. 2019. № 4. P. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS:

The content and technology of adult education: the problem of advanced education: collection of scientific papers / Institute for Adult Education Ros. Acad. education; under the editorship of A.E. Marona. M.: JOB, 2007.118 p.

MATERIALS OF CONFERENCES, FORUMS, MEETINGS, SEMINARS:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise // Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation: mat. XVII scientific and practical. conf., Gurzuf, Yalta, December 4, 2015. Simferopol: Arial, 2016. P. 110–112.

BOOK, MONOGRAPH:

(number of authors from 1 to 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations. M.: Infra-M, 2015.432 p.

(number of authors more than 4):

Antipova L.V., Storulevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Y.A. et al. Integrated processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p.

DISSERTATION:

Ponomarenko Yu.A. Unconventional feeds and biologically active substances in the diets of broilers and laying hens: dis ... Dr. S.-kh. sciences. Sergiev Posad: VNITIP, 2017.443 p.

SUMMARY OF THE DISSERTATION

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials: abstract of the diss....cand. tech. sciences. Kemerovo: Kemer. technol. Institute of Food Industry, 2017.22 p.

REGULATORY DOCUMENTS:

description order:

Title of an official document: information related to the title (decree, resolution), Date of adoption of the document / Title of publication. The year of publishing. Number of pages.

example:

GOST 5900–2014. Confectionery. Determination of the mass fraction of moisture and solids. M.: Standartinform, 2015. 8 p.

PATENT:

description order:

Designation of the type of document, number, name of the country, index of international classification of inventions. Title of invention / name of inventor, applicant, patent holder; Name of applicant institution. Registration number of the application; Date of application; Date of publication, information about the published document.

example:

7 Pat. no. 2689672, RU, A23L 5/00. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions / Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. no. 2018107149; Appl. 26.02.2018; Publ. 01.07.2019. Bull. Number 19.

ELECTRONIC RESOURCE:

Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. URL: http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/

Appendix 2

ENGLISH LANGUAGE DESCRIPTION PROCEDURE:

JOURNAL ARTICLE:

description order:

Surname I.O. author (transliteration). Translation of the title of the article into English. Translation of the source name into English. Year, volume, number, pages (from-to). An indication of the language of the article (in Russian) after the description of the article.

example**:**

(number of authors from 1 to 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 3. pp. 23–26. (in Russian).

(number of authors more than 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozerov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 4. pp. 74–79. (in Russian).

ARTICLE WITH DOI:

(number of authors from 1 to 4):

Ilyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of Salmonella Culture. Bulletin of the Voronezh State University. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212 (in Russian).

(number of authors more than 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials. Food Industry. 2019. no. 4. pp. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058 (in Russian).

ARTICLE FROM ELECTRONIC JOURNAL:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. Journal of Computer Mediated Communication. 1999. vol. 5. no. 2. Available at: http://www. ascusc.org/ jcmc/vol5/ issue2/

ARTICLE FROM CONTINUING PUBLICATIONS (PROCEEDINGS):

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. Experimental study of the strength of joints “steel-composite”. Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”. 2006. no. 593. pp. 125–130. (in Russian).

CONFERENCE MATERIALS:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise. Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation. Simferopol, Arial, 2016. pp. 110–112. (in Russian).

BOOK, MONOGRAPH:

(number of authors from 1 to 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations: a monograph. Moscow, Infra-M, 2015. 432 p. (in Russian).

(number of authors more than 4):

Antipova L.V., Storublevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Ya.A. et al. Complex processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p. (in Russian).

DISSERTATION OR SUMMARY OF THE DISSERTATION:

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials. Kemerovo, Kemer. Technol. Institute of Food Industry, 2017. 22 p. (in Russian).

GOST:

State Standard 5900–2014. Confectionery products. Determination of the mass fraction of moisture and dry matter. Moscow, Standartinform, 2015. 8 p. (in Russian).

PATENT:

Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions. Patent RF, no. 2689672, 2019.

ELECTRONIC RESOURCE:

Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. Available at: http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki / (in Russian).