

ISSN 2226-910X
E-ISSN 2310-1202

**ВЕСТНИК ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Вестник ВГУИТ

Proceedings of VSEI

**PROCEEDINGS OF THE VORONEZH STATE UNIVERSITY
OF ENGINEERING TECHNOLOGIES**

2023

№

1

16+

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»



**ВЕСТНИК
ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

ВЕСТНИК ВГУИТ

2023, Том. 85, № 1

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В 1938 ГОДУ
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД

**Воронеж
2023**

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

2023, Vol. 85, No. 1

SCIENTIFIC AND THEORETICAL JOURNAL

FOUNDED IN 1938
COMES 4 TIMES PER YEAR

**Voronezh
2023**

**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 ВИНТИ 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'Аквила (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 Succinto 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 государственный 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 плодородия, 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 «Луциан Блага» (Сибу, 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 университет (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 государственный 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 САВВОИЧ 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'Аквила (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-математических 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 06.03.2023. Подписано в печать 20.03.2023
Выход в свет: 30.03.2023
Формат 70×100 1/8.
Усл. печ. л. 43.06 Тираж 1500 экз. Заказ.
Цена – свободная.

© ФГБОУ ВО
«Воронеж. гос. ун-т инж.
технол.», 2023

**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, VASILIIY 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. Gorbakov. (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 06.03.2023. Signed to print 20.03.2023

The publication: 30.03.2023

Format 70×100 1/8.

Conditional Print l. 43,06 Circulation 1500 copies.

Price - Free.

© FSBEI HE

“Voronezh State University
of Engineering
Technologies”, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Антипов С.Т., Емельянов А.Б., Батурина Е.В., Казарцев Д.А., Бабенко Д.С., Поснова Г.В.	17
Применение ускоренной сушки для изучения форм связи влаги в плодах смородины	
Коновалов Д.Н., Лазарев С.И., Луа П., Полянский К.К. Исследования кинетических и сорбционных характеристик мембран ОФАМ-К и ОПМН-П в процессе электронано-фильтрационного разделения водного раствора сульфата калия	24

ПИЩЕВАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

Жуковская С.В., Бабаева М.В., Казарцев Д.А., Громова Е.А. Развитие отечественного рынка сидра	33
Новожилов М.П., Гроховский В.А., Шокина Ю.В., Попов М.М., Бензик И.Н., Косарева Е.А.	38
Разработка рецептуры кулинарного продукта на основе вторичного пищевого сырья	
Еременко В.Н., Синько О.В., Агеева К.С. Принципы рационального питания в жизни студента	48
Соболева О.А., Минина В.И., Воробьева Е.Е., Милентьева И.С., Астафьева Е.А.	54
Физиологическая роль катехинов зеленого чая	
Омельчук В.И., Калиновская Т.В., Гаврилов А.В. Обоснование выбора сырья и рецептурных ингредиентов для производства молочных десертов на основе деминерализованной сыворотки	64
Быковская Е.И., Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А., Говядова А.И. Анализ показателей качества цельнозернового хлеба на хмелевых заквасках	71
Федорова А.М., Руссаков Д.М., Милентьева И.С., Позднякова А.В., Альтшулер О.Г.	79
Рентгенодифракционный анализ мальтодекстринов, полученных при кислотном и ферментном гидролизе крахмалов	
Молчанова Е.Н., Бердимуратова М. Панировочные системы: I. Виды, свойства, качество	87
Рубан Н.В., Солопова А.В., Половинкина Д.И., Солопова М.В., Быстров Д.И., Суворов О.А.	99
Разработка пирожного «молочный ломтик» и включение в состав ферментированной пептидо-содержащей молочной сыворотки: систематический обзор	
Белокурова Е. В., Саргсян М.А., Попов Е.С., Алексеева Т.В. Подбор биополимерных носителей для иммобилизации на их поверхности эссенциальных элементов	106
Терёхина А.В., Щербаков М.Н. Исследование жирнокислотного состава растительных масел	111
Шмалько Н.А., Никитин И.А., Велина Д.А., Пономарева Л.Ф., Терентьев С.Е. Проверка гипотезы нормальности числа падения овсяной муки по малым выборкам	118
Шмалько Н.А., Никитин И.А., Муталибзода Ш., Гончаров А.В., Кузнецова Е.В.	127
Выборочное распределение наблюдений числа падения кукурузной муки	
Андросова Н.В., Тошев А.Д., Лагуткина Л.Ю. Разработка рецептуры пшеничного хлеба с повышенным содержанием пищевых волокон	138
Ражина Е.В., Смирнова Е.С., Горелик О.В., Степанов А.В., Павлова Я.С. Анализ функционально-технологического потенциала использования топинамбура при производстве продуктов питания	143
Корнеева О.С., Яковлева С.Ф., Матвиенко Н.А., Фролова Л.Н., Мотина Е.А., Шуваева Г.П.	149
Перспективные методы интенсификации процесса экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки	
Ковалева Т.С., Яковлев А.Н., Агафонов Г.В., Яковлева С.Ф. Проблема качества и безопасности алкогольной продукции	156
Котельников А.В., Золотокопова С.В., Неваленная А.А. Биотестирование овощных снеков	162
Рубан Н.В., Колосова А.С., Рысева Л.И., Астахова В.А., Половинкина Д.И. Трансформация рецептуры фитнес коврижки на основе зеленой гречки, обогащенной рапсовым белковым изолятом: систематический обзор	167
Василенко В.Н., Фролова Л.Н., Кочкин И.Ю., Еремин И.Д., Жильцова С.И., Дорохин Р.В.	174
Разработка продуктивных псевдокапсулированных комбикормов для радужной форели, выращиваемой в Центральном федеральном округе Российской Федерации	
Бояринаева И.В., Подволоцкая А.Б., Степочкина В.Д., Рочин Е.О. Исследование биохимической активности заквасочных композиций, обогащенных пропионовокислыми бактериями, на различном сырье	180

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Котляр Н.В., Попов С.В., Николаева Ж.В., Хабибрахманова О.В. Снижение затрат энергоресурсов на установке деасфальтизации гудрона	187
Воронов М.В., Попов С.В., Хабибрахманова О.В., Юлин А.Д. Исследование возможных вариантов технологических схем установок газофракционирования широкой фракции легких углеводородов	194
Беденко Е.Е., Береговский А.А., Попов С.В., Хабибрахманова О.В. Оптимизация технологических режимов колонны деизопентанизатора подготовки сырьевого потока установки низкотемпературной изомеризации ПГИ-ДИГ/280-НК	204
Кравцова М.В., Бежеская Е.В., Гукина О.А., Мешайкина А.В. Исследование влияния вспомогательных веществ на технологические параметры сырья и стабильность действующего вещества в процессе изготовления твердой лекарственной формы	212
Нифталиев С.И., Горбунова Е.М., Тимкова А.В., Ким К.Б., Данилов В.Н. Сорбция аммония волокнистым сорбентом ВИОН КН-1	221
Ямилинец С.Ю., Губанова И.В., Козлова М.Д., Кондратов А.П. Капиллярный эффект слоев резиноканевого композита	233
Толстов А.М., Наумова Ю.А. О перспективах применения полимерных материалов для сорбентов предназначенных для очистки воды от нефтепродуктов	240
Стрелков В.А., Першин Е.А., Фарберова Е.А., Ширкунов А.С., Рябов В.Г. Исследование возможности использования нефтяного кокса в производстве дробленых углеродных сорбентов	249

CONTENTS

PROCESSES AND APPARATUSES OF FOOD ENGINEERING

- Antipov S.T., Emelyanov A.B., Baturina E.V., Kazartsev D.A., Babenko D.S., Posnova G.V.** 17
Application of drying acceleration to study the forms of moisture bond in currant fruits
- Konovalov D.N., Lazarev S.I., Lua P., Polyansky K.K.** 24
Studies of the kinetic and sorption characteristics of OFAM-K and OPMN-P membranes in the process of electron-nanofiltration separation of an aqueous solution of potassium sulfate

FOOD BIOTECHNOLOGY

- Zhukovskaya S.V., Babaeva M.V., Kazartsev D.A., Gromova E.A.** 33
Development of the domestic cider market
- Novozhilov M.P., Grokhovskiy V.A., Shokina Yu.V., Popov M.M., Benzik I.N., Kosareva E.A.** 38
Development of the culinary product recipe based on secondary food raw materials
- Eremenko V.N., Sinko O.V., Ageeva K.S.** 48
Principles of rational nutrition in a student's life
- Soboleva O.A., Minina V.I., Vorobyeva E.E., Milentyeva I.S., Astafieva E.A.** 54
The physiological role of green tea catechins
- Omelchuk V.I., Kalinovskaya T.V., Gavrilov A.V.** 64
Rationale for the choice of raw materials and prescription ingredients for the production of dairy desserts based on demineralized whey
- Bykovskaya E.I., Kovaleva A.E., Pyanikova E.A., Govyadova I.A.** 71
Analysis of the quality indicators of whole grain bread on hop ferments
- Fedorova A.M., Russakov D.M., Milentyeva I.S., Pozdnyakova A.V., Altshuler O.G.** 79
X-ray diffraction analysis of maltodextrins obtained by acid and enzyme hydrolysis of starch
- Molchanova E. N., Berdimuratova M.** 87
Breeding systems: I. Types, properties, quality
- Ruban N.V., Solopova A.V., Polovinkina D.I., Solopova M.V., Bystrov D.I., Suvorov O.A.** 99
Development of the «mail slice» cake and inclusion in the fermented peptide-containing milk whey: systematic review
- Belokurova E.V., Sargsyan M.A., Popov E.S., Alekseeva T.V.** 106
Selection of biopolymer carriers for immobilization of essential elements on their surface
- Terekhina A.V., Shcherbakov M.N.** 111
Investigation of the fatty acid composition of vegetable oils
- Shmal'ko N.A., Nikitin I.A., Velina D.A., Ponomareva L.F., Terentev S.E.** 118
Testing the hypothesis of the normality of the falling number of oatmeal in small samples
- Shmal'ko N.A., Nikitin I.A., Mutallibzoda Sh., Goncharov A.V., Kuznetsova E.V.** 127
Sample distribution of observations of the falling number of corn flour
- Androsova N.V., Toshev A.D., Lagutkina L.Yu.** 138
Разработка рецептуры пшеничного хлеба с повышенным содержанием пищевых волокон
- Razhina E.V., Smirnova E.C., Gorelik O.V., Stepanov A.V., Pavlova Ya.S.** 143
Analysis of the functional and technological potential of the use of Jerusalem artichoke in food production: an overview of the subject field
- Korneeva O.S., Yakovleva S.F., Matvienko N.A., Frolova L.N., Motina E.A., Shuvaeva G.P.** 149
Promising methods for intensifying the process of sucrose extraction from beet chips
- Kovaleva T.S., Yakovlev A.N., Agafonov G.V., Yakovleva S.F.** 156
The problem of quality and safety of alcohol products
- Kotelnikov A.V., Zolotokopova S.V., Nevalennaya A.A.** 162
Biotesting of vegetable snacks
- Ruban N.V., Kolosova A.S., Ryseva L.I., Astakhova V.A., Polovinkina D.I.** 167
Transformation of the formula of fitness ginger based on green buckwheat enriched with rapeseed protein isolate: a systematic review
- Vasilenko V.N., Frolova L.N., Kochkin I.Yu., Eremin I.D., Zhiltsova S.I., Dorokhin R.V.** 174
Development of productive pseudocapsulated compound feeds for rainbow trout grown in the Central Federal District of the Russian Federation
- Boyarineva I.V., Podvolotskaya A.B., Stepopochkina V.D., Rochin E.O.** 180
Investigation of the biochemical activity of starter compositions enriched with propionic acid bacteria on various raw materials

CHEMICAL TECHNOLOGY

- Kotlayr N.V., Popov S.V., Nikolaeva Zh.V., Khabibrakhmanova O.V.** Reducing energy costs at the tar deasphalting unit 187
- Voronov M.V., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V., Yulin A.D.** Study of possible options for technological schemes of gas fractionation plants for a wide fraction of light hydrocarbons 194
- Bedenko E.E., Beregovsky A.A., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V.** Optimization of technological regimes of the deisopentanizer column for the preparation of the feed stream of the low-temperature isomerization unit PGI-DIG/280-NK 204
- Kravtsova M.V., Bezheskaia E.V., Gukina O.A., Meshaikina A.V.** Study of the influence of excipients on the technological parameters of raw materials and the stability of the active substance in the process of manufacturing a solid dosage form 212
- Niftaliev S.I., Gorbunova E.M., Timkova A.V., Kim K.B., Danilov V.N.** Sorption of ammonium by fibrous sorbent VION KN-1 221
- Yamilinets S.Yu., Gubanova I.V., Kozlova M.D., Kondratov A.P.** Capillary effect of layers of rubber-fabric composite 233
- Tolstov A.M., Naumova Yu.A.** On the prospects for the use of polymeric materials for sorbents intended for water purification from oil products 240
- Strelkov V.A., Pershin E.A., Farberova E.A., Shirkunov A.S., Ryabov V.G.** Research of the possibility of using petroleum coke in the production of crushed carbon sorbents 249

Application of drying acceleration to study the forms of moisture bond in currant fruits

Sergey T. Antipov	¹	ast@vsuet.ru	 0000-0003-4299-1538
Aleksandr B. Emelyanov	¹	eokipr-mip@mail.ru	 0000-0002-8428-4279
Elena V. Baturina	¹	baturina1717@mail.ru	 0000-0002-7561-7027
Dmitriy A. Kazartsev	²	kda_79@mail.ru	 0000-0001-6567-2327
Denis S. Babenko	¹	baturina1717@mail.ru	
Galina V. Posnova	²		 Место для ввода текста.

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

² Moscow State University of technologies and management K.G. Razumovsky, Zemlyansky val str., 73, Moscow, 109004, Russia

Abstract. The article discusses issues related to the study of the forms of connection of moisture removed during the drying process in black currant fruits. A study was carried out to determine the quantitative moisture content of various forms of communication by two methods and a comparative analysis was carried out. It is shown that the existing methods for studying the forms of moisture-material bonding have significant drawbacks and generally give a qualitative assessment of the state of moisture in the material or are very laborious and require long-term laboratory studies. The efficiency of the approach to determining the forms of moisture connection in black currant fruits is shown on the basis of graphical-analytical analysis of the drying kinetics, which allows qualitatively and quantitatively assessing the state of moisture in the fruits. With the help of a graphical editor, the curves of the drying kinetics of black currant fruits were processed and the dependences of the quantity called "drying acceleration" characterizing the rapidity of the change in the drying rate of currant fruits on the moisture content of the product were obtained. The analysis of the obtained curves is carried out, indicating the presence of extrema and points of inflection to the corresponding critical moisture content, as well as the presence of areas with a slowdown or acceleration of the drying rate change, allowing to establish the intervals of moisture removal with different binding energies. The approach under consideration makes it possible to give a quantitative and qualitative assessment of the physical state of moisture not only in currant fruits, but also in other food products, as well as reduce the time for analysis and improve the accuracy of the results.

Keywords: currant fruits, drying acceleration, moisture content, drying.

Introduction

In the study and optimization of the parameters of the drying process of currant fruits, the study of the forms of moisture connection is of great theoretical and practical importance. In the process of drying, currant fruits under the influence of heat and moisture significantly change their size and physical properties. These changes are due to the molecular nature of the connection between moisture and the dry skeleton of the substance. The process of removing moisture from currant fruits, which are a colloidal capillary-porous body, depends on the nature of the molecular bond of the liquid contained in the fruit and is accompanied by a violation of its connection with the dry skeleton of the substance, which requires a certain amount of energy [1–3].

According to P. A. Rebinder, each form of connection between moisture and matter has its own energy [2]. Currant fruits contain capillary, osmotically bound, adsorptively bound moisture of polymolecular and monomolecular layers. In order

to remove moisture of one form or another from the fruit, you need to spend a certain amount of energy, depending on the binding energy of moisture and the amount of moisture of this form in the product.

To optimize energy consumption for the drying process, temperature regimes and the development of methods for controlling the drying process, reliable mathematical models are needed, which should form the basis of modern automation tools. It should be noted that the development of reliable mathematical models is impossible without knowledge of the state of moisture in the product being dried: bond forms, ratios of different forms, bond energies, etc [4, 5]. The complexity of the problem lies in the fact that in the fruits of currants of various varieties, as well as those grown in different climatic conditions, the moisture ratio of different forms of connection will not be the same. Factors of the production stages preceding drying, for example, blanching, long-term storage, etc., can also affect the relationship between moisture in currant fruits.

Для цитирования

Антипов С.Т., Емельянов А.Б., Батурина Е.В., Казарцев Д.А., Бабенко Д.С., Поснова Г.В. Применение ускоренной сушки для изучения форм связи влаги в плодах смородины // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 17–23. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-17-23

For citation

Antipov S.T., Emelyanov A.B., Baturina E.V., Kazartsev D.A., Babenko D.S., Posnova G.V. Application of drying acceleration to study the forms of moisture bond in currant fruits. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 17–23. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-17-23

Therefore, the study of the forms of moisture connection in currant fruits and the development of accurate and accelerated methods for determining the physical state and properties of water in them is of great theoretical and practical importance and is relevant.

The existing methods for studying the forms of the connection between moisture and material have significant drawbacks and generally provide a qualitative assessment of the state of moisture in the material or are very laborious and require long-term laboratory studies.

In this regard, the purpose of this work is to determine the qualitative and quantitative assessment of the forms of moisture connection in black currant fruits based on graphic processing of the drying kinetics.

The object of the study was the kinetics of the drying process of black currant fruits: the dependence of the change in moisture content on the drying time and curves of the drying rate of currant fruits, as well as the results of thermal analysis of currant fruits. The subject of research is the forms of moisture connection in currant fruits removed during drying.

Materials and methods

The kinetics of drying black currant fruit was investigated in a vacuum dryer with a microwave energy supply [6]. The installation consists of a sealed vacuum chamber with a cover equipped with a viewing window, a control panel, a microwave energy supply device and a system for evacuating and removing vapors. The working vacuum was created by a rotary oil pump.

For the experiment, the fruits of the black currant variety "Izyumnaya" were used. Fruit for drying was used as a whole without peeling and cutting.

Studies of the kinetics of black currant fruit were carried out in a stationary mode with constant process parameters in a given range of values. For the experiment, the process parameters were kept constant in the range of values: product layer height from 0.005 to 0.025 m; Microwave power from 160 to 750 W; the pressure in the drying chamber is from 50 to 100 kPa. Sampling was carried out at intervals of 5 minutes. The moisture content of currant fruits was determined by drying to constant weight on a moisture meter at a temperature of 378 K.

The processing of experimental data on the kinetics of drying, the construction and approximation of the dependences of moisture content on time, and carrying out were carried out using the Mathcad program.

The curves of the drying rate of currant fruits were plotted by graphical differentiation of the drying curves in the KOMPAS-Graph program.

The study of the physical state and properties of water in currant fruits was also carried out on a device for simultaneous thermal analysis, model STA 449 F3 Jupiter with a sample holder (DSC/TG) type S in an aluminum crucible with a punctured lid (an empty aluminum crucible with a punctured lid was used as a reference), measurements were carried out in a nitrogen environment of class 5.0.

Results and Discussion

Using the method of planning an experiment, studies of the kinetics of microwave drying of black currant fruits in an experimental drying installation were carried out [6].

The kinetics of drying currant fruit at different values of microwave power is shown in Figure 1. The kinetics of drying currant fruit at various values of vacuum pressure is shown in Figure 2.

As is known [2, 3, 7–9], the change in the moisture content and temperature of the material during the drying process is divided into two periods: constant speed and falling speed.

The drying rate is understood as the change in moisture content per unit time $dU/d\tau$. Graphically differentiating the drying curves of currant fruit, curves of the drying rate of currant fruit were obtained (Figure 3, 4), showing the change in the rate of moisture removal at different moisture content of the product. The drying rate is numerically equal to the tangent of the angle of inclination of the tangent to the drying curve $U = f(\tau)$. When analyzing the drying speed graphs, it is necessary to read them in reverse order, since the moisture content of the material decreases during the drying process. This method allows for a qualitative analysis and determination of the critical moisture content that separates the period of constant drying rate and decreasing. Those, you can determine the quantitative and qualitative content of free moisture in the product and the quantitative of the bound moisture. In some cases, the curves of the drying rate make it possible to determine the second critical point in the form of an inflection point of the curve, which corresponds to the second critical moisture content, which is practically not visible on the curves of moisture content versus time. However, it is difficult to accurately determine the second critical point, which does not allow identifying the boundaries of polymolecularly bound moisture.

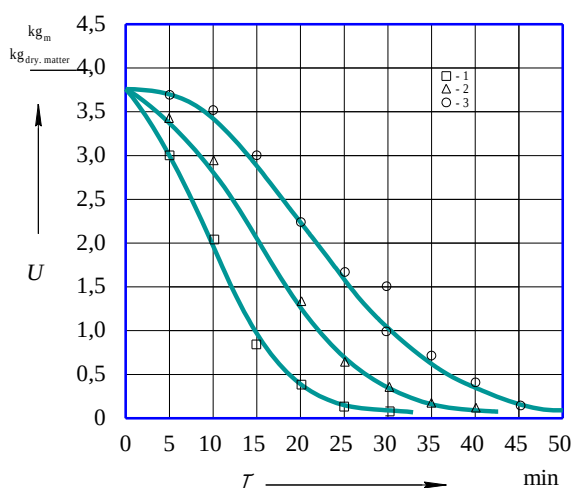


Figure 1. Drying curves of black currant fruit: 1 – $h=0,015$ м, $p=75$ кПа, $P=750$ W; 2 – $h=0,015$ м, $p=75$ кПа, $P=455$ W; 3 – $h=0,015$ м, $p=75$ кПа, $P=160$ W

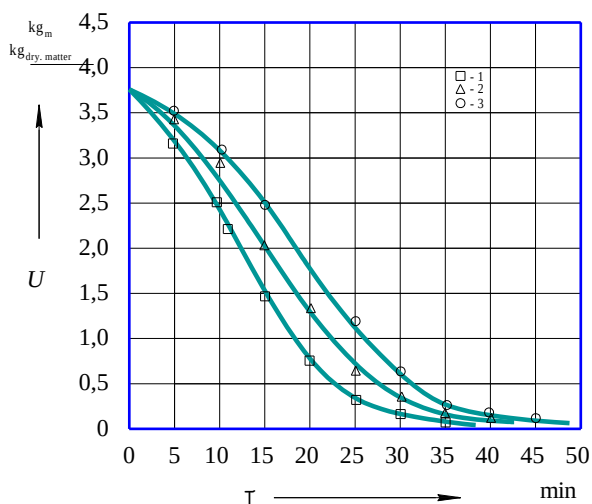


Figure 3. Drying curves of black currant fruit: 1 – $h=0,015$ м, $p=50$ кПа, $P=455$ Вт; 2 – $h=0,015$ м, $p=75$ кПа, $P=455$ W; 3 – $h=0,015$ м, $p=100$ кПа, $P=455$ W

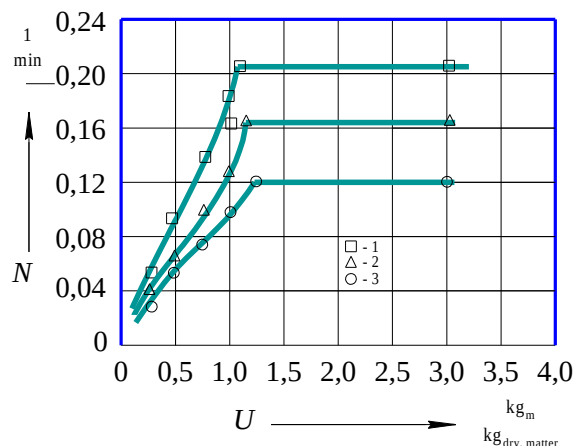


Figure 2. Curves of the drying rate of black currant fruits: 1 – $h=0,015$ м, $p=75$ кПа, $P=750$ W; 2 – $h=0,015$ м, $p=75$ кПа, $P=455$ W; 3 – $h=0,015$ м, $p=75$ кПа, $P=160$ W

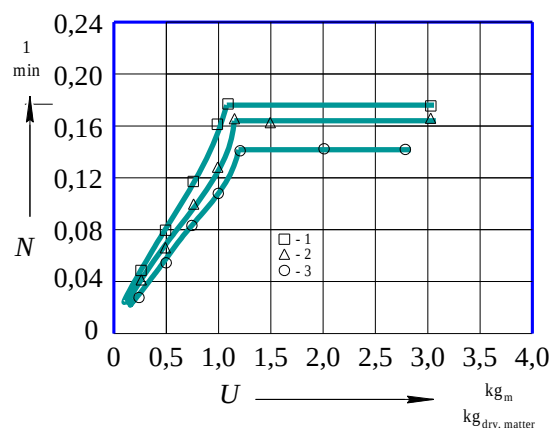


Figure 4. Curves of the drying rate of black currant fruits: 1 – $h=0,015$ м, $p=50$ кПа, $P=455$ W; 2 – $h=0,015$ м, $p=75$ кПа, $P=455$ W; 3 – $h=0,015$ м, $p=100$ кПа, $P=455$ W

Then, for a further and deeper analysis of the kinetics of the drying process of currant fruits, we use a value that determines the rate of change in the drying rate, that is, the first derivative of the drying rate with respect to moisture content $\frac{dN}{dU}$ or the second derivative of moisture. The term «drying acceleration» is applicable to this value [10].

To find the derivative of the drying rate in terms of moisture content $\frac{dN}{dU}$ for currant fruits, we use graphical differentiation. The $\frac{dN}{dU}$ value is numerically equal to the tangent of the angle of inclination of the tangent to the drying rate curve. This will allow us to determine the points of inflection and concavity of the function $f(U)$, which give a more complete and accurate idea of the critical moisture content when removing physicochemically bound moisture.

The error in measuring and plotting points on the graph during graphical differentiation was no more than 0.1 mm, and the error in determining the angle of inclination of the tangent at a point on the curve was no more than 1'. This gives grounds that the obtained results of processing experimental data on the kinetics of drying currant fruits are highly accurate. Based on the results of the graphical differentiation of the drying curves, graphs of «drying accelerations» (Figures 5 and 6) were constructed at various values of the microwave power and vacuum pressure.

The resulting graphs clearly show the periods of increasing and decreasing "drying acceleration". These graphs as well as the drying speed graphs should be read from right to left.

In the first period of drying, when the process speed is constant $N_1 = \text{const}$ on the obtained graphs, the sections have a horizontal rectilinear

character, and the value of the function takes a zero value, that is, the rate of change in the drying speed («drying acceleration») is zero.

The negative value of the «acceleration of drying» of currant fruits indicates that this function decreases with a change in the moisture content of the material, which means that the rate of change in the drying rate decreases. This is explained by an increase in the value of the energy of binding of moisture with the dry skeleton of currant fruits with a decrease in the moisture content in them.

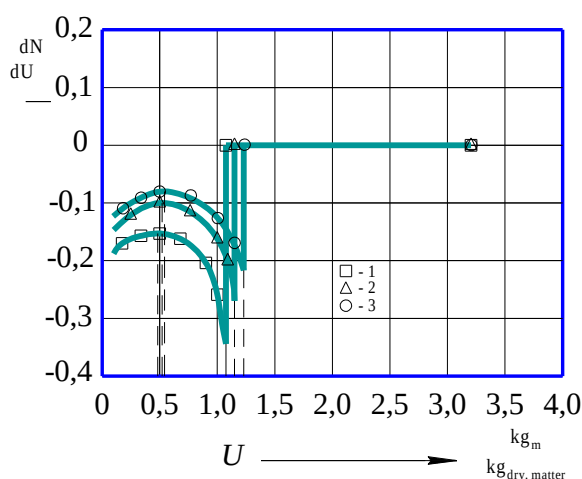


Figure 5. Curves of «acceleration of drying» of black currant fruits: 1 – $h=0,015$ m, $p=0,75$ kPa, $P=750$ W; 2 – $h=0,015$ m, $p=0,75$ kPa, $P=455$ W; 3 – $h=0,015$ m, $p=0,75$ kPa, $P=160$ W

All graphs (Figures 5 and 6) clearly show the extrema of the function $f(U)$ and inflection points corresponding to the first U_{cr1} and the second U_{cr2} critical moisture content, while on the curves of the drying rate of currant fruits, the values of the critical moisture contents are determined approximately.

The second critical point of moisture content is in the range from 0,48 to 0,52 $\text{kg}_m/\text{kg}_{\text{dry. matter}}$. Depending on the drying regimes, the second critical moisture content has a different meaning. This is due to the fact that microwave power and vacuum pressure intensify the internal diffusion of moisture, as well as an increase in the proportion of monomolecular adsorption moisture, the evaporation of which occurs together with polymolecular adsorption moisture.

To carry out a comparative analysis of the results obtained by us on the quantitative and qualitative content of moisture in the fruits of black currant, we additionally carried out studies of the forms of moisture connection by the method of thermal analysis. The resulting derivatograms of black currant fruits are shown in Figure 7.

As a result of thermal analysis, points A and B were determined (Figure 7). Point A corresponds to the border of the interval for removing free moisture

The analysis of the obtained curves indicates the presence of areas not defined on the curves of the drying rate, with a slowdown or acceleration of the change in the drying rate. Since each water fraction is removed at a rate varying according to different laws, it is possible for these areas to establish the intervals for moisture removal with different binding energies. Knowing the exact boundaries of these intervals, it is possible to quantitatively determine the fractional composition of moisture in the product removed during drying.

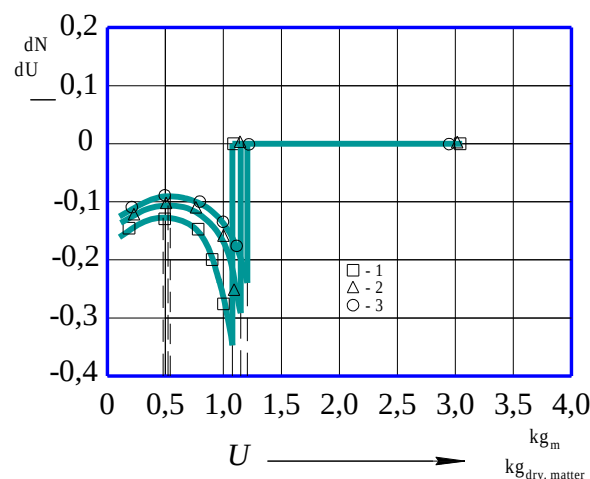


Figure 6. Curves of «acceleration of drying» of black currant fruits: 1 – $h=0,015$ m, $p=0,50$ kPa, $P=455$ W; 2 – $h=0,015$ m, $p=0,75$ kPa, $P=455$ W; 3 – $h=0,015$ m, $p=100$ kPa, $P=455$ W

in currant fruits, its numerical value is 1,3 $\text{kg}_m/\text{kg}_{\text{dry. matter}}$. Point B corresponds to the boundary of the interval of polymolecular adsorption moisture in the material, its numerical value is 0,53 $\text{kg}_m/\text{kg}_{\text{dry. matter}}$.

From a comparative analysis of the derivatograms of currant fruits and the "drying acceleration" curves, it follows that the values corresponding to the first U_{cr1} and the second U_{cr2} critical moisture content obtained by two different methods are very close. The deviation of the values can be explained by a significant difference in the drying rate and the parameters of the process in the derivatograph and the drying installation. The use of microwave energy significantly intensifies the drying process and the share of polymolecular-adsorption moisture can be removed at the rate of free moisture, and the share of monomolecular-adsorption moisture can be removed at the rate of polymolecular-adsorption moisture. In this regard, the values of the first and second critical moisture content during drying in a drying installation have a slightly higher value than when drying in a derivatograph oven. However, for the practical application of the results obtained and the development of methods for controlling the drying process, it will be most correct to use the critical moisture content obtained as a result of drying the product in a real installation.

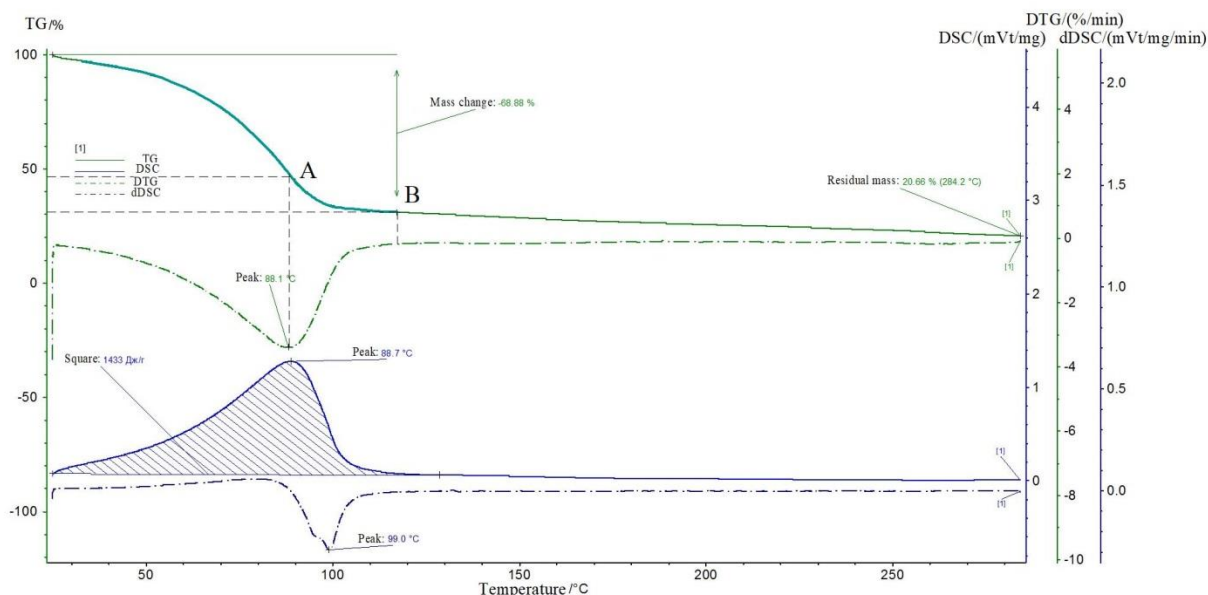


Figure 7. Derivatogram of black currant fruit

Conclusion

Using the example of graphical-analytical analysis of the curves of the drying rate of black currant fruits, the effectiveness of the approach to determining the forms of moisture-material connection is shown, which makes it possible not only qualitatively, but also quantitatively to assess the state of moisture in the product.

A comparative analysis of the data obtained as a result of graphical-analytical analysis of the kinetics of drying of black currant fruits and thermal analysis data, showing the reliability of the proposed approach, has been carried out.

The proposed approach will eliminate the time spent on laboratory studies to study the forms of moisture-material connection and can be used as the basis for a method for controlling and automating the drying process at food enterprises and in related industries.

The introduction into the theory of drying of such a value as "drying acceleration" will allow to more fully characterize the period of decreasing drying rate and open up additional possibilities for evaluating approaches to its intensification, optimization of energy costs and drying temperature regimes.

References

- 1 Rudobashta S.P. The use of the theoretical propositions of Academician A. V. Lykov in modern models of heat and mass transfer during drying. Actual problems of drying and thermal moisture treatment of materials in various industries and agro-industrial complex. 2015. pp. 21-28. (in Russian).
- 2 Lykov A.V. Theory of drying. Moscow, Energiya, 1968. 472 p. (in Russian).
- 3 Sazhin B.S. Scientific foundations of drying technology. Moscow, Nauka, 1997. 448 p. (in Russian).
- 4 Dorniyak O.R. Modern problems of mathematical modeling of thermal-humidity processing of materials. Collection of scientific articles of the First international Lykov scientific readings. Kursk, pp. 36-42. (in Russian).
- 5 Kholmansky A.S., Tilov A.Z., Sorokina E.Yu. Physico-chemical modeling of the drying process of vegetables and fruits. Modern problems of science and education. 2012. no. 5. pp. 83-83. Available at: <http://www.science-education.ru> (in Russian).
- 6 Antipov S.T., Arapov V.M., Kazartsev D.A. Kinetics laws as the base for mathematical simulation of microwave vacuum drying process. Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2020. vol. 1560. no. 1. pp. 012017. doi: 10.1088/1742-6596/1560/1/012017
- 7 Vasilenko V.N., Frolova L.N., Dragan I.V., Mikhailova N.A. et al. Exergy analysis of the technology of oscillating drying of oilseeds. Proceedings of VSUET. 2018. vol. 80. no. 1. pp. 81-89. (in Russian).
- 8 Drannikov A.V., Shakhov S.V., Erofeevskaya M.O., Sukhanov P.M. et al. Determination and use of rational parameters of the drying process of beet pulp when creating a drum dryer with a combined energy supply. Proceedings of VSUET. 2019. vol. 81. no. 2. pp. 63-69. (in Russian).
- 9 Ostrikov A.N., Shevtsov A.A., Drannikov A.V., Kvasov A.V. Distribution of temperature and moisture content fields in a rectangular beet pulp particle during convection drying Proceedings of VSUET. 2018. vol. 80. no. 1. pp. 11-19. (in Russian).
- 10 Emelyanov A.B., Kazartsev D.A., Rudyka E.A., Baturina E.V. et al. On the issue of studying the forms of moisture coupling in thermolabile heterogeneous products. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. vol. 640. no. 7. pp. 072009. doi: 10.1088/1755-1315/640/7/072009

- 11 Calín-Sánchez Á., Lipan L., Cano-Lamadrid M., Kharaghani A. et al. Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs. *Foods*. 2020. vol. 9. no. 9. pp. 1261. doi: 10.3390/foods9091261
- 12 Karam M.C., Petit J., Zimmer D., Djantou E.B. et al. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *Journal of Food Engineering*. 2016. vol. 188. pp. 32-49. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2016.05.001
- 13 Nowak D., Jakubczyk E. The freeze-drying of foods—The characteristic of the process course and the effect of its parameters on the physical properties of food materials. *Foods*. 2020. vol. 9. no. 10. pp. 1488. doi: 10.3390/foods9101488
- 14 Sun Q., Zhang M., Yang P. Combination of LF-NMR and BP-ANN to monitor water states of typical fruits and vegetables during microwave vacuum drying. *Lwt*. 2019. vol. 116. pp. 108548. doi: 10.1016/j.lwt.2019.108548
- 15 da Silva Junior E.V. et al. Influence of ultrasound and vacuum assisted drying on papaya quality parameters. *Lwt*. 2018. vol. 97. pp. 317-322. doi: 10.1016/j.lwt.2018.07.017
- 16 Bhatta S., Stevanovic Janezic T., Ratti C. Freeze-drying of plant-based foods. *Foods*. 2020. vol. 9. no. 1. pp. 87. doi: 10.3390/foods9010087
- 17 Liu Y., Zeng Y., Hu X., Sun X. Effect of ultrasonic power on water removal kinetics and moisture migration of kiwifruit slices during contact ultrasound intensified heat pump drying. *Food and Bioprocess Technology*. 2020. vol. 13. pp. 430-441. doi: 10.1007/s11947-019-02401-z
- 18 Zhao R., Gao T. Research Article Research Progress of Hot Air Drying Technology for Fruits and Vegetables. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 2016. vol. 10. no. 3. pp. 160-166.
- 19 Gouw V.P., Jung J., Zhao Y. Functional properties, bioactive compounds, and in vitro gastrointestinal digestion study of dried fruit pomace powders as functional food ingredients. *LWT*. 2017. vol. 80. pp. 136-144. doi: 10.1016/j.lwt.2017.02.015
- 20 Salahi M.R., Mohebbi M., Taghizadeh M. Foam-Mat Drying of Cantaloupe (*Cucumis melo*): Optimization of Foaming Parameters and Investigating Drying Characteristics. *Journal of food processing and preservation*. 2015. vol. 39. no. 6. pp. 1798-1808. doi: 10.1111/jfpp.12414

Information about authors

Contribution

Sergey T. Antipov Dr. Sci. (Engin.), professor, machines and devices of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ast@vsuet.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4299-1538>

Aleksandr B. Emelyanov Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, technologies of organic compounds, polymer processing and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, eokipr-mip@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8428-4279>

Elena V. Baturina Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, technology of organic compounds, polymer processing and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, baturina1717@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7561-7027>

Dmitriy A. Kazartsev Cand. Sci. (Engin.), technology of winemaking, fermentation industries and chemistry named after G.G. Agabalyants, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management, Zemlyansky val str., 73, Moscow, 109004, Russia, kda_79@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6567-2327>

Denis S. Babenko Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, of industrial ecology, equipment of chemical and petrochemical industries, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Galina V. Posnova Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, biotechnology of food products from plant and animal raw materials department, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management, Zemlyansky val str., 73, Moscow, 109004, Russia

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 20/02/2022

Accepted in revised 12/03/2022

Accepted 22/03/2022

Применение ускоренной сушки для изучения форм связи влаги в плодах смородины

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы, связанные с изучением форм связи влаги, удаляемой в процессе сушки в плодах черной смородины. Проведено исследование по определению количественного содержания влаги в различных формах связи двумя методами и проведен сравнительный анализ. Показано, что существующие методы исследования форм связи влаги с материалом имеют существенные недостатки и, как правило, дают качественную оценку состояния влаги в материале или являются очень трудоемкими и требуют длительных лабораторных исследований. Эффективность подхода к определению форм связи влаги в плодах черной смородины показана на основе графико-аналитического анализа кинетики сушки, позволяющего качественно и количественно оценить состояние влаги в плодах. С помощью графического редактора обработаны кривые кинетики сушки плодов черной смородины и получены зависимости величины "ускорение сушки", характеризующей быстроту изменения скорости сушки плодов смородины от содержания влаги в продукте. Проведен анализ полученных кривых, указывающий на наличие экстремумов и точек перегиба к соответствующему критическому влагосодержанию, а также наличие участков с замедлением или ускорением изменения скорости сушки, позволяющих установить интервалы удаления влаги с различной энергией связывания. Рассматриваемый подход позволяет дать количественную и качественную оценку физического состояния влаги не только в плодах смородины, но и в других пищевых продуктах, а также сократить время на проведение анализа и повысить точность результатов.

Ключевые слова: плоды смородины, ускорение сушки, содержание влаги, сушка.

Сергей Т. Антипов д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ast@vsuet.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4299-1538>

Александр Б. Емельянов к.т.н., доцент, кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, eokipr-mip@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8428-4279>

Елена В. Батурина к.т.н., доцент, кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, baturina1717@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7561-7027>

Дмитрий А. Казарцев к.т.н., доцент, кафедра технологии виноделия, бродильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, kda_79@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6567-2327>

Денис С. Бабенко 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

Галина В. Поснова к.т.н., доцент, кафедра биотехнологий продуктов питания из растительного и животного сырья, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия

Исследования кинетических и сорбционных характеристик мембран ОФАМ-К и ОПМН-П в процессе электронанофильтрационного разделения водного раствора сульфата калия

Дмитрий Н. Коновалов	¹	kdn1979dom@mail.ru	 0000-0002-9366-8661
Сергей И. Лазарев	¹	sergey.lazarev.1962@mail.ru	 0000-0003-0746-5161
Луа Пепе	¹	alploua@gmail.com	 0000-0002-7333-4816
Константин К. Полянский	²	kaf-kit@vfreu.ru	

1 Тамбовский государственный технический университет, Советская, 106, Тамбов, 392000, Россия

2 Воронежский филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, Карла Маркса, 67А, Воронеж, 394030, Россия

Аннотация. В работе приведен анализ существующих методов мембранного разделения растворов на полупроницаемых и ионообменных мембранах, где отмечены их достоинства и недостатки. Объектами исследования являлись нанофильтрационные мембраны марки ОФАМ-К, ОПМН-П и водные растворы сульфата калия, используемого в производстве минеральных удобрений. Исследовано изменение коэффициента задержания на прианодной мембране ОФАМ-К по сульфат-ионам и на прикатодной мембране ОПМН-П по ионам калия при плотностях тока 12,82 и 15,38 А/м² с варьированием трансмембранного давления. Анализ коэффициента задержания прикатодной мембраной ОПМН-П по ионам калия с повышением давления показывает о его возрастании на 20–30%, что, вероятно, вызвано повышением скорости проницаемости воды, вызывающей разведение пермеата. В случае анализа коэффициента задержания по сульфат-ионам на прианодной мембране ОФАМ-К в области низких плотностей тока сначала задерживающая способность с повышением трансмембранного давления падает, а затем выходит на постоянное значение с небольшим повышением при давлении 1,5 МПа. При более высоких плотностях тока коэффициент задержания по сульфат-ионам на прианодной мембране ОФАМ-К с повышением трансмембранного давления, как и на прикатодной мембране ОПМН-П по ионам калия возрастает. Зависимости удельного выходного потока от времени приведены при трансмембранном давлении 0,75, 1 и 1,5 МПа и плотности тока 12,82 и 15,38 А/м². Отмечено, что на прианодной мембране ОФАМ-К с течением времени проницаемость по воде возрастает, а на прикатодной мембране ОПМН-П снижается. Представленные данные по десорбции ионов калия и сульфат-ионов на прианодной мембране ОФАМ-К и прикатодной мембране ОПМН-П свидетельствуют о том, что с течением времени десорбция ионов снижается, причем показатель десорбции ионов калия на прианодной мембране ОФАМ-К выше, хотя в процессе электронанофильтрации ионы переносятся в эквивалентных отношениях.

Ключевые слова: электронанофильтрация, мембрана, коэффициент задержания, pH раствора, ионы.

Studies of the kinetic and sorption characteristics of OFAM-K and OPMN-P membranes in the process of electron-nanofiltration separation of an aqueous solution of potassium sulfate

Dmitry N. Konovalov	¹	kdn1979dom@mail.ru	 0000-0002-9366-8661
Sergey I. Lazarev	¹	sergey.lazarev.1962@mail.ru	 0000-0003-0746-5161
Pepe Lua	¹	alploua@gmail.com	 0000-0002-7333-4816
Konstantin K. Polyansky	²	kaf-kit@vfreu.ru	

1 Tambov State Technical University, Sovetskaya 106, Tambov, 392000 Russia

2 Voronezh branch of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanov, Karl Marx, 67A, Voronezh, 394030, Russia

Abstract. The paper presents an analysis of existing methods of membrane separation of solutions on semipermeable and ion-exchange membranes, where their advantages and disadvantages are noted. The objects of study were OFAM-K and OPMN-P nanofiltration membranes and aqueous solutions of potassium sulfate used in the production of mineral fertilizers. The change in the retention coefficient on the near-anode OFAM-K membrane for sulfate ions and on the near-cathode membrane OPMN-P for potassium ions was studied at current densities of 12,82 and 15,38 A/m² with varying transmembrane pressure. An analysis of the retention coefficient of the OPMN-P cathode membrane for potassium ions with increasing pressure shows its increase by 20–30%, which is probably caused by an increase in the water permeability rate, which causes permeate dilution. In the case of analysis of the retention coefficient for sulfate ions on the anode OFAM-K membrane in the region of low current densities, the retention capacity first decreases with an increase in the transmembrane pressure, and then reaches a constant value with a slight increase at a pressure of 1,5 MPa. At higher current densities, the retention coefficient for sulfate ions on the anode OFAM-K membrane with an increase in transmembrane pressure, as well as on the OPMN-P cathode membrane, for potassium ions increases. The time dependences of the specific output flux are given at transmembrane pressures of 0,75, 1, and 1,5 MPa and current densities of 12,82 and 15,38 A/m². It is noted that the specific output flux increases on the near-anode OFAM-K membrane, while on the near-cathode membrane OPMN-P it decreases with time, which is due to the transformation of the physical properties of the membranes and boundary layers formed on their working surface. On the near-anode OFAM-K membrane, water permeability increases with time, and on the near-cathode membrane OPMN-P it decreases. The presented data on the desorption of potassium ions and sulfate ions on the near-anode membrane OFAM-K and near-cathode membrane OPMN-P indicate that the desorption of ions decreases with time, and the desorption index of potassium ions on the near-anode OFAM-K membrane is higher, although in the process Electronanofiltration ions are transferred in equivalent ratios.

Keywords: electron nanofiltration, membrane, retention coefficient, solution pH, ions.

Для цитирования

Коновалов Д.Н., Лазарев С.И., Луа П., Полянский К.К. Исследования кинетических и сорбционных характеристик мембран ОФАМ-К и ОПМН-П в процессе электронанофильтрационного разделения водного раствора сульфата калия // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 24–32. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-24-32

For citation

Konovalov D.N., Lazarev S.I., Lua P., Polyansky K.K. Studies of the kinetic and sorption characteristics of OFAM-K and OPMN-P membranes in the process of electron-nanofiltration separation of an aqueous solution of potassium sulfate. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 24–32. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-24-32

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

Введение

В настоящее время, образующиеся технологические растворы на промышленных предприятиях химического, нефтехимического, машиностроительного и гальванического профиля, требуют очистки, регенерации и выделения целевых компонентов (катионов металлов, газов (кислород, водород и хлор)). Одним из актуальных методов разделения растворов, в настоящее время, является электрохимический мембранный метод, который используется с применением нанопермативных мембран, а в некоторых работах такой метод называется – электронанопермацией.

Остановимся подробно на некоторых традиционных мембранных методах разделения растворов и проведем краткий анализ современных публикаций.

Авторами работы [1] проведены экспериментальные исследования модифицированных гидроксидом хрома биполярных мембран МВ-2, показавшие при электродиализе более высокие концентрации кислоты и щелочи по сравнению с мембранами МВ-3 и Fumasep FBM. Получены вольт-амперные характеристики и изменение концентрации кислоты с ростом плотности тока исследуемых мембран, указывающие на высокую эффективность электродиализной очистки раствора Na_2SO_4 .

В статье [2] представлены данные по электрохимическим и кинетическим характеристикам при исследовании электромембранного процесса с перфторированными сульфокатионитовыми мембранами марки МФ-4СК с варьирующейся удельной влагоемкостью и различной концентрацией раствора NaCl . Отмечается, что эффективность использования в электромембранных процессах модифицированных ионообменных мембран доказана результатами измерений их транспортных характеристик.

В статье [3] получены новые композиционные материалы на основе катионообменной мембраны МК-40, модифицированной тонким слоем мембраны МФ-4СК с допированной 2 и 5% оксидом церия. Транспортные характеристики модифицированной мембраны при этом возрастают в ряду $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{H}^+$.

В работе [4] проведены исследования электрохимических характеристик ионообменных мембран, являющихся важнейшими кинетическими характеристиками, получаемыми в результате измерений электрического сопротивления. Зависимости электросопротивления и удельной электропроводности от числа и частоты переменного тока исследуемых катионообменной МК-40 и анионообменной МА-41 мембран соответственно указывают на возможность расчета энергосодержания при математическом моделировании

электродиализа раствора NaCl с чередующимися катионообменными и анионообменными мембранами.

В работе [5] приведены электродиализные исследования механизма массопереноса амфолитов с применением модифицированной 0,02 М раствором NaH_2PO_4 анионообменной мембраны АХ. Разработанная методика позволяет определять парциальные токи и числа переноса через анионообменную мембрану. Полученные суммарные и парциальные вольт-амперные характеристики исследуемой мембраны при электродиализе раствора NaCl обуславливаются трансформацией в мембране однозарядных анионов H_2PO_4^- сначала в двухзарядные HPO_4^{2-} , а затем в трехзарядные PO_4^{3-} .

В источнике [6] установлено влияние природы минеральных примесей на эффективность их извлечения из растворов гетероциклической аминокислоты – пролина (Pro), а также на потери продукта в процессе электромембранного обессоливания (электродиализа). Изучен массоперенос пролина через гетерогенные ионообменные мембраны при электродиализе его индивидуального водного раствора. Авторами отмечается, что для эффективного разделения гетероциклической аминокислоты и минеральной соли методом электродиализа необходим учет влияния природы ионов минеральной соли, их гидратации, подвижности в фазе ионообменной мембраны и растворе.

В работе [7] исследованы транспортные характеристики и особенности переноса компонентов разной природы при разделении водно-солевых растворов фенилаланина электродиализом в гальваностатическом режиме с расположенными горизонтально семью секциями электролизатора через экспериментальные мембраны. Указано, что на транспортные характеристики ионов аминокислоты и минеральной соли, а также качество разделения и величины деминерализации растворов оказывает значительный эффект содержание ионообменника в мембране.

В литературе [8] исследован процесс деминерализации растворов алкилароматической аминокислоты и хлорида натрия методами электродиализа и электродеонизации. Установлено, что большие значения степени обессоливания достигаются при использовании турбулентного режима течения жидкости, но потери целевого продукта при этом увеличиваются.

Работа [9] посвящена ресурсосбережению и решению экологических проблем при водоподготовке в условиях гальванического производства (линии никелирования). Авторами с использованием разработанной программы показано, что на уменьшение расхода технической воды гальванических производств влияют противоточные промывки вместе с такими

методами очистки, как механическая фильтрация, электродиализ с использованием анионообменной и катионообменной мембран Ralex AM(H)–PP, Ralex CM(H)–PP), а также ионообменные колонны с катионитами и анионитами Purolite C150, Purolite A100Plus. Приведены оптимальные режимы электродиализа в производственных условиях гальванического цеха.

В работе [10] приведено, что с ростом плотности тока в процессе электродиализного разделения раствора нитрата аммония потоки ионов соли проходят через максимум при предельном токе. С ростом плотности тока выше запредельного значения поток ионов аммония уменьшается. На уменьшение потока нитрат-ионов в «сверхпредельных токовых режимах» оказывает влияние меняющийся состав и каталитическая активность функциональных групп анионообменной мембраны в отношении к процессу диссоциации молекул воды.

Авторами работы [11] представлены результаты исследований ионообменных и мембранных методов как комплексных методов очистки природных подземных вод с повышенным содержанием катионов металлов (железо, кальций, магний). Изучена селективность и проницаемость нанофильтрационных мембран при очистке модельных растворов и реальных вод, показано влияние соединений железа в исходной воде. Установлено заметное снижение проницаемости мембраны при очистке железосодержащих подземных вод. Представлены рекомендации по использованию ионного обмена и нанофильтрации в качестве комплексных методов очистки природных подземных вод.

Авторами работы [12] исследовано влияние расхода ретентата на формирование потоков воды и хлоридов натрия, магния и кальция при их переносе через нанофильтрационную мембрану Vontron VNF. Установлен рост задерживающей

способности мембраны с повышением расхода ретентата, при этом трансмембранный перенос компонентов раствора в мембране Vontron VNF не останавливается даже при рабочем давлении ниже осмотического, что является перспективным результатом при повышении качества энергосберегающего разделения и выделения солей разновалентных металлов.

Проведенный литературный анализ по всестороннему исследованию процессов электрохимического мембранного разделения растворов не выявил систематических данных по влиянию отдельных компонентов (ионов) на кинетические и электрохимические характеристики подобных систем.

Поэтому целью настоящей работы стало изучение влияния трансмембранного давления и плотности тока на кинетические и сорбционные характеристики мембран ОФАМ-К и ОПМН-П в процессе электронанофильтрационного разделения водного раствора сульфата калия, применяемого в производстве минеральных удобрений.

Материалы и методы

Исследования влияния трансмембранного давления и плотности тока на изменение электрохимических и кинетических характеристик выполнялись на экспериментальной установке, представленной в статьях [13–16]. Для оценки погрешности данных, полученных при нанофильтрации исследуемого раствора, экспериментальные исследования повторяли 10 раз при варьировании трансмембранного давления и плотности тока. В результате статистической обработки полученных данных относительное стандартное отклонение не превышало 0,1.

Паспортные характеристики исследуемых нанофильтрационных мембран марки ОФАМ-К и ОПМН-П приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Паспортные характеристики нанофильтрационных мембран марки ОФАМ-К и ОПМН-П [17].

Table 1.

Passport characteristics of OFAM-K and OPMN-P nanofiltration membranes [17].

Марка мембраны Brand membranes	Рабочие характеристики мембран Membrane performance				
	Рабочее давление, МПа Working pressure, MPa	Минимальная производительность по воде, при T = 298 K, м ³ /м ² ×с Minimum performance by water, at T = 298 K, m ³ /m ² ×s	Коэффициент задержания по 0,15% NaCl, не менее Coefficient detentions 0,15% NaCl, at least	Рабочий диапазон pH Operating pH range	Максимальная температура, K Maximum temperature, K
ОФАМ-К OFAM-K	3,0	$2,22 \times 10^{-5}$	0,95	2–12	323
ОПМН-П OPMN-P	1,6	$2,77 \times 10^{-5}$	0,55		

Мембраны марки ОФАМ-К имеет активный слой из м-фенилендиамина и изофталевой кислоты. В качестве пористой подложки используется полипропилен или тканый лавсан. Мембрана марки ОПМН-П имеет селективный слой из полиамида. В качестве пористой подложки используется нетканый полипропилен.

Выбор плотностей тока (12,82 А/м² и 15,38 А/м²) обусловлен тем, что пористые полимерные мембраны являются слабо ионизированными и достаточно высокоэффективны при разделении растворов с малыми плотностями тока. Верхняя граница выбрана на основании теоретических и предварительных экспери-

ментальных исследований. При большем значении плотности тока происходит деградация активного слоя полимерной мембраны, что снижает производительность и качество разделения. При плотности тока меньше нижнего значения влияние электрического напряжения на процесс электро-нанофильтрации незначительно, в связи с чем основной движущей силой процесса разделения является трансмембранное давление.

Основной кинетической характеристикой электрохимического нанофильтрационного процесса является удельный выходной поток, который определялся по ниже приведенной зависимости [18–20]:

$$J = \frac{V}{F_m \cdot \tau}, \quad (1)$$

где V – объем полученного пермеата на нанофильтрационной мембране, м^3 ; F_m – рабочая площадь нанофильтрационной мембраны, м^2 ; τ – время выполнения экспериментальных исследований, с.

Значение коэффициента задержания, полученного в процессе электронанофильтрационного разделения, определяется по формуле:

$$R = 1 - \frac{c_{\text{пер}}}{c}, \quad (2)$$

где c , $c_{\text{пер}}$ – концентрация ионов в разделяемом растворе и пермеате.

Концентрацию ионов определяли следующим образом. Исследуемую пробу осветляли на фильтре с рейтингом пор 1 мкм, для избегания попадания механических частиц в прибор, разбавляли в 10 раз деионизованной водой марки Е 1.1 по ASTM D-5127–13. Раствор наливали в кювету, вместительностью 50 мл, которую помещали в ионообменный хроматограф. Исследуемый раствор шприцевым насосом подавался

в анализаторную ячейку. На выходе получали концентрацию одного из компонентов исследуемой пробы. Для определения второго компонента, определяли рН исследуемого раствора, по которому в последствии рассчитывали концентрацию, сопоставляя табличные значения зависимости концентрации раствора от рН.

Массу десорбированного вещества из прикадодных и прианодных мембран определяли по следующему выражению:

$$M = c_d \cdot V, \quad (3)$$

где c_d – концентрация десорбированного вещества в растворе, $\text{кг}/\text{м}^3$; V – объем раствора, м^3 .

Десорбцию ионов из фазы мембраны производили следующим образом. Заранее подготавливали 4 емкости объемом по 0,5 л. для каждой исследуемой мембраны с бидистиллированной водой. Отработанную мембрану после электронанофильтрационного разделения раствора сульфата калия погружали в емкость и выдерживали в течение 24 часов. По истечении этого времени исследуемую мембрану извлекали и помещали во вторую емкость на тоже время и так далее до четвертой, после чего в растворе каждой емкости определяли концентрацию десорбированного вещества из прикатодной ОПМН-П и прианодной ОФАМ-К мембран по методике, описанной выше.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлены зависимости коэффициента задержания от трансмембранного давления с постоянной плотностью тока при электронанофильтрационном разделении модельного раствора сульфата калия на прианодной мембране ОФАМ-К по сульфат-ионам и прикатодной мембране ОПМН-П по ионам калия.

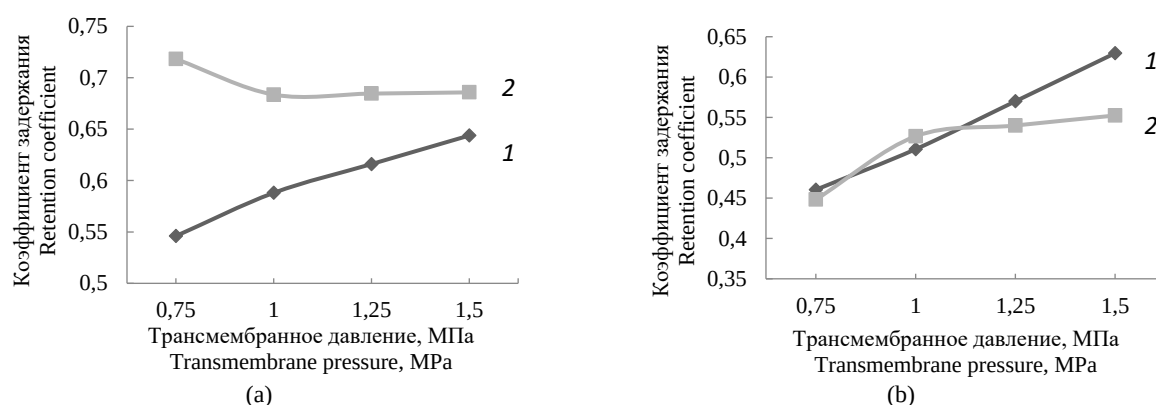


Рисунок 1. Зависимости коэффициента задержания от трансмембранного давления с постоянной плотностью тока $i = 12,82 \text{ A/m}^2$ (а) и $i = 15,38 \text{ A/m}^2$ (б) при электронанофильтрационном разделении модельного раствора сульфата калия на прианодной мембране ОФАМ-К по сульфат-ионам (2) и прикатодной мембране ОПМН-П по ионам калия (1)

Figure 1. Dependences of the retention coefficient on the transmembrane pressure with a constant current density $i = 12,82 \text{ A/m}^2$ (a) and $i = 15,38 \text{ A/m}^2$ (b) in the electron nanofiltration separation of a model solution of potassium sulfate on the anode OFAM-K membrane by sulfate ions (2) and cathode membrane OPMN-P for potassium ions (1)

Анализ коэффициента задержания прикатодной мембраной ОПМН-П по ионам калия с увеличением трансмембранного давления показывает о его возрастании на 20–30%, что, вероятно, вызвано повышением скорости проницаемости воды с ростом движущей силы процесса, приводящей к разведению пермеата, то есть к снижению в нем концентрации иона калия. В случае анализа коэффициента задержания по сульфат-ионам на прианодной мембране ОФАМ-К в области низких плотностей тока сначала задерживающая способность с повышением трансмембранного давления падает, а затем выходит на постоянное значение с небольшим повышением при трансмембранном давлении 1,5 МПа. При более высоком значении плотности

тока ($15,38 \text{ A/m}^2$) коэффициент задержания по сульфат-ионам на прианодной мембране ОФАМ-К с повышением трансмембранного давления, как и на прикатодной мембране ОПМН-П по ионам калия возрастает, что подтверждает эффективность применения процесса электронанофильтрации в области повышенных значений трансмембранного давления.

На рисунках 2 и 3 показаны данные по удельному выходному потоку в виде зависимостей от времени проведения эксперимента при варьировании трансмембранного давления с постоянной плотностью тока при электронанофильтрационном разделении модельного раствора сульфата калия на прианодной мембране ОФАМ-К и прикатодной мембране ОПМН-П.

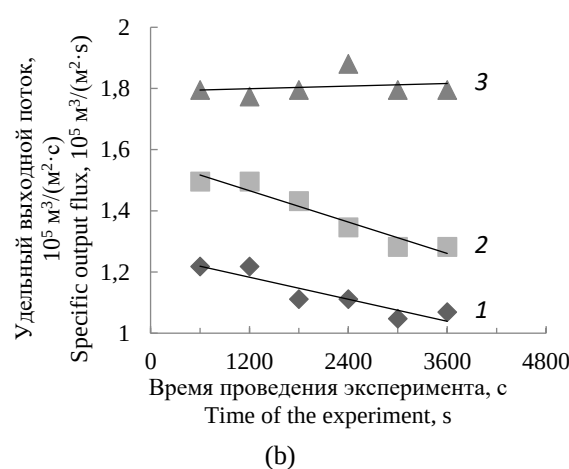
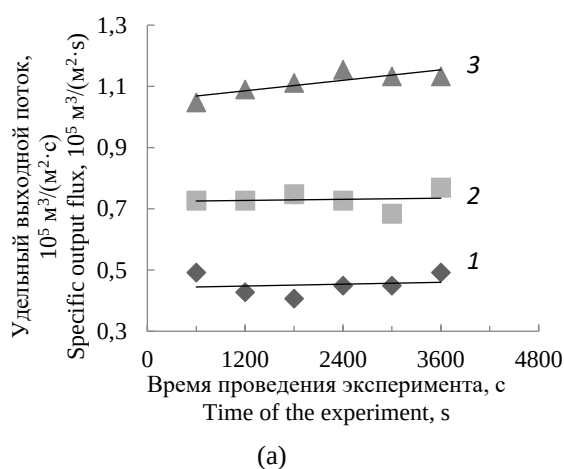


Рисунок 2. Зависимости удельного выходного потока от времени проведения эксперимента с постоянной плотностью тока $i = 12,82 \text{ A/m}^2$ при электронанофильтрационном разделении модельного раствора сульфата калия на прианодной мембране ОФАМ-К (а) и прикатодной мембране ОПМН-П (б) при варьировании трансмембранного давления: 1 – 0,75 МПа; 2 – 1 МПа; 3 – 1,5 МПа

Figure 2. Dependences of the specific output flux on the time of the experiment with a constant current density $i = 12,82 \text{ A/m}^2$ during the electron nanofiltration separation of a model solution of potassium sulfate on the OFAM-K anode membrane (a) and the OPMN-P cathode membrane (b) with varying transmembrane pressure: 1 – 0,75 MPa; 2 – 1 MPa; 3 – 1,5 MPa

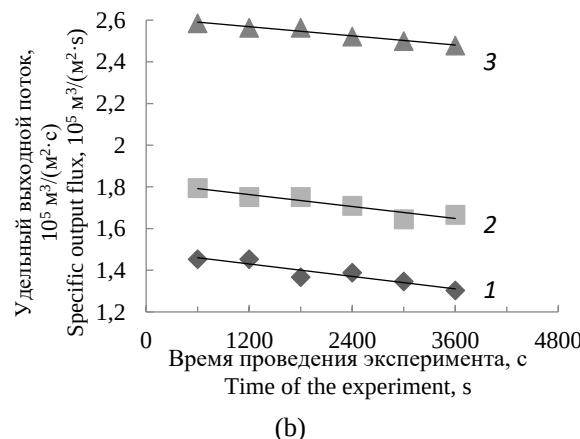
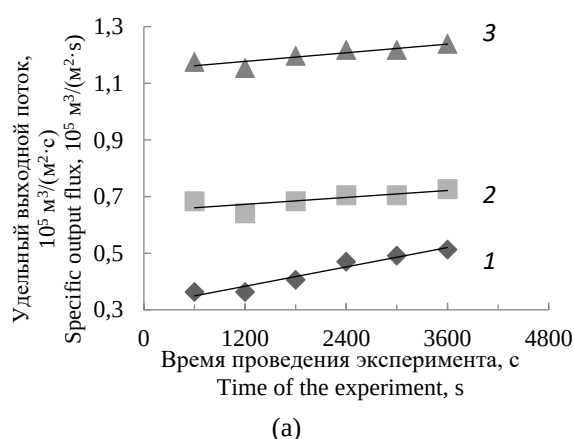


Рисунок 3. Зависимости удельного выходного потока от времени проведения эксперимента с постоянной плотностью тока $i = 15,38 \text{ A/m}^2$ при электронанофильтрационном разделении модельного раствора сульфата калия на прианодной мембране ОФАМ-К (а) и прикатодной мембране ОПМН-П (б) при варьировании трансмембранного давления: 1 – 0,75 МПа; 2 – 1 МПа; 3 – 1,5 МПа

Figure 3. Dependences of the specific output flux on the time of the experiment with a constant current density $i = 15,38 \text{ A/m}^2$ during the electron nanofiltration separation of a model solution of potassium sulfate on the OFAM-K anode membrane (a) and the OPMN-P cathode membrane (b) with varying transmembrane pressure: 1 – 0,75 MPa; 2 – 1 MPa; 3 – 1,5 MPa

Зависимости удельного выходного потока от времени приведены при трансмембранном давлении 0,75, 1 и 1,5 МПа и плотности тока 12,82 и 15,38 А/м². Отмечено, что на прианодной мембране ОФАМ-К удельный выходной поток возрастает, а на прикатодной мембране ОПМН-П снижается с течением времени, что обусловлено трансформацией физических свойств мембран и пограничных слоев, формируемых на их рабочей поверхности. На прианодной мембране ОФАМ-К с течением времени проницаемость по воде возрастает, а на прикатодной мембране ОПМН-П снижается. На удельный выходной поток (рисунок 2 и 3) для прианодных и прикатодных мембран электронанофильтрационного процесса также, вероятно, влияет электропроводность мембранной системы.

На рисунке 4 представлены результаты десорбции прианодной мембраны ОФАМ-К по сульфат-ионам и прикатодной мембраны ОПМН-П по ионам калия.

Представленные данные по десорбции ионов калия и сульфат-ионов на прианодной мембране ОФАМ-К и прикатодной мембране ОПМН-П свидетельствуют о том, что с течением времени десорбция ионов снижается, причем показатель десорбции ионов калия на прианодной мембране ОФАМ-К выше, хотя в процессе электронанофильтрации ионы переносятся в эквивалентных отношениях.

На рисунке 5 представлены зависимости величины pH от трансмембранного давления на прианодной мембране ОФАМ-К и прикатодной мембране ОПМН-П.

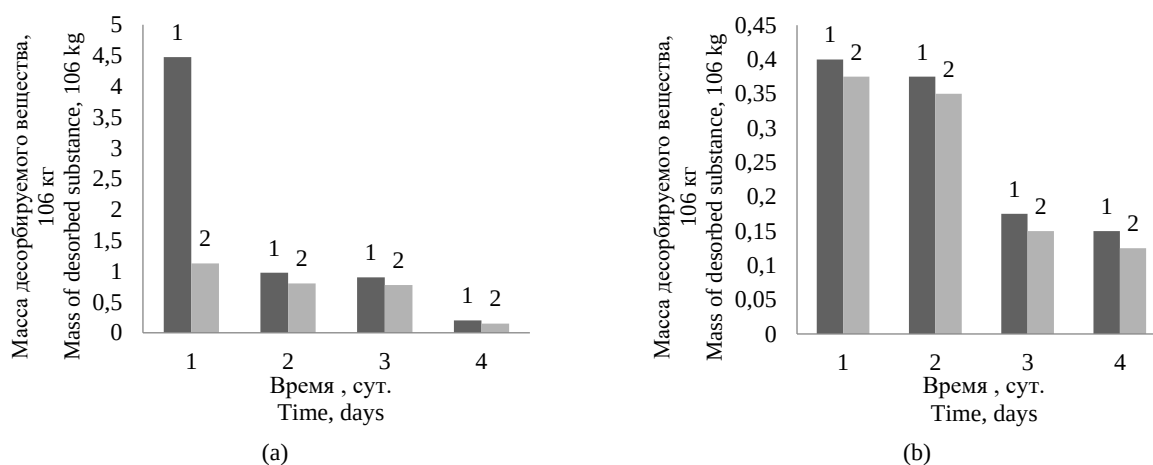


Рисунок 4. Результаты десорбции прианодной мембраны ОФАМ-К по сульфат-ионам (2) и прикатодной мембраны ОПМН-П по ионам калия (1) после электронанофильтрационного разделения при плотности тока $i = 12,82 \text{ A/m}^2$ (a) и $i = 15,38 \text{ A/m}^2$ (b)

Figure 4. Results of desorption of the anode membrane OFAM-K by sulfate ions (2) and the cathode membrane OPMN-P by potassium ions (1) after electron-nanofiltration separation at current density $i = 12,82 \text{ A/m}^2$ (a) and $i = 15,38 \text{ A/m}^2$ (b)

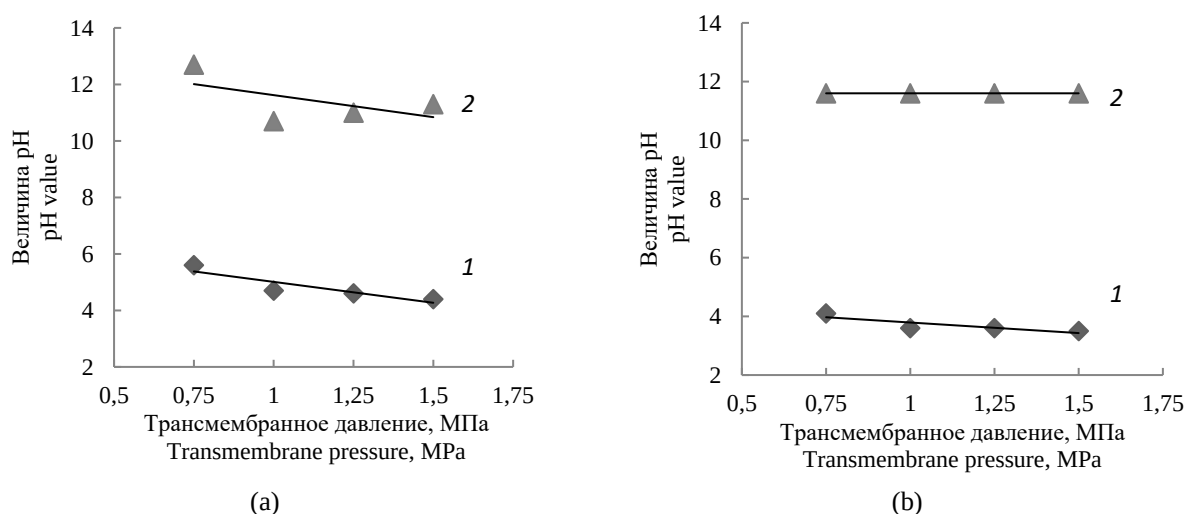


Рисунок 5. Зависимости величины pH от трансмембранного давления на прианодной мембране ОФАМ-К (1) и прикатодной мембране ОПМН-П (2) при плотности тока $i = 12,82 \text{ A/m}^2$ (a) и $i = 15,38 \text{ A/m}^2$ (b)

Figure 5. Dependences of the pH value on the transmembrane pressure on the anode membrane OFAM-K (1) and the cathode membrane OPMN-P (2) at current density $i = 12,82 \text{ A/m}^2$ (a) and $i = 15,38 \text{ A/m}^2$ (b)

Как видно из кривых изменения рН, с повышением трансмембранного давления рН на прианодной мембране уменьшается, то есть пермеат при трансмембранном давлении 1,5 МПа становится более кислым, чем при давлении 0,75 МПа. На прикатодной мембране ОПМН-П щелочной пермеат с повышением трансмембранного давления уменьшается ближе к нейтральной среде. С повышением плотности тока наклон кривых рН пермеата изменяется, так при плотности тока 15,38 А/м² кривая рН более пологая.

Заключение

В результате проведенных экспериментальных исследований по электронанофильтрационному разделению водного раствора, содержащего сульфат калия можно сделать следующие выводы:

1. Коэффициент задержания с повышением трансмембранного давления на прианодной мембране ОФАМ-К и прикатодной мембране ОПМН-П возрастает, это, вероятно, вызвано увеличением скорости проникновения воды в большей степени чем иона, что приводит к разведению пермеата, а значит к снижению в нем концентрации иона.

2. Удельный выходной поток с повышением времени проведения экспериментальных исследований на прианодной мембране ОФАМ-К возрастает, на прикатодной мембране ОПМН-П снижается, вероятно, подкисление раствора благоприятнее сказывается на работу нанофильтрационных мембран, где интенсивнее происходит разрушение пограничных слоев, чем в щелочной среде. С повышением трансмембранного давления удельный выходной поток возрастает, что объясняется ростом скорости проникновения растворителя в тракт пермеата.

3. Данные по десорбции показывают, что с течением времени десорбция вещества снижается, это объясняется снижением содержания вещества в сорбированной мембране. Кривые рН раствора показывают, что с повышением трансмембранного давления рН на прианодной мембране ОФАМ-К уменьшается, то есть пермеат при трансмембранном давлении 1,5 МПа становится более кислым, чем при давлении 0,75 МПа. На прикатодной мембране ОПМН-П щелочной пермеат с повышением трансмембранного давления стремится ближе к нейтральной среде.

Литература

- 1 Козадерова О.А., Нифталиев С.И., Ким К.Б. Применение биполярных мембран МБ-2, модифицированных гидроксидом хрома (III), для конверсии сульфата натрия // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2019. Т. 62. № 3. С. 30–36.
- 2 Кононенко Н.А., Демина О.А., Лоза Н.В., Долгополов С.В. и др. Теоретическое и экспериментальное исследование предельного диффузионного тока в системах с модифицированными перфторированными сульфокатионитовыми мембранами // Электрохимия. 2021. Т. 57. № 5. С. 283–300.
- 3 Юрова П.А., Стенина И.А., Ярославцев А.Б. Влияние на транспортные свойства катионообменных мембран МК-40 модификации перфторсульфополимером и оксидом церия // Электрохимия. 2020. Т. 56. № 6. С. 568–573.
- 4 Шапошник В.А., Анисимова Н.О., Коровкина А.С. Электропроводность многослойных монополярных ионообменных мембран // Сорбционные и хроматографические процессы. 2018. Т. 18. № 3. С. 346–351.
- 5 Цыгурина К.А., Рыбалкина О.А., Мельникова Е.Д., Письменская Н.Д. Суммарные и парциальные вольтамперные характеристики анионообменных мембран в растворах NaCl и NaH₂PO₄ // Конденсированные среды и межфазные границы. 2017. Т. 19. № 4. С. 585–595.
- 6 Козадерова О.А., Нифталиев С.И., Ким К.Б. Перенос ионов при электродиализе нитрата аммония // Электрохимия. 2018. Т. 54. № 4. С. 416–422.
- 7 Харина А.Ю., Елисеев С.Я. Деминерализация раствора фенилаланина электромембранными методами // Конденсированные среды и межфазные границы. 2017. Т. 19. № 1. С. 126–132.
- 8 Елисеева Т.В., Харина А.Ю., Черникова Е.Н., Чарушина О.Е. Деминерализация растворов гетероциклической аминокислоты электромембранным методом // Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т. 21. № 4. С. 492–497.
- 9 Мавлетов М.Н., Яруллин А.З., Березин Н.Б., Межевич Ж.В. Локальная очистка сточных вод гальванических производств комбинированным способом с использованием электродиализной установки и ионообменных колонн // Вестник Технологического университета. 2019. Т. 22. № 6. С. 63–66.
- 10 Васильева В.И., Сауд А.М., Акберова Э.М. Разделение водно-солевых растворов фенилаланина электродиализом при использовании мембран с разной массовой долей сульфокатионообменной смолы // Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т. 21. № 4. С. 498–509.
- 11 Чигаев И.Г., Комарова Л.Ф. Исследование нанофильтрации и ионного обмена как комплексных методов очистки природных подземных вод // Вестник Технологического университета. 2019. Т. 22. № 4. С. 99–102.
- 12 Винницкий В.А., Чугунов А.С., Ершов М.В. Влияние расхода ретентата на мембранное разделение бинарных растворов хлоридов натрия, магния и кальция // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2021. Т. 64. № 10. С. 46–55.
- 13 Лазарев С.И., Ковалев С.В., Коновалов Д.Н., Ковалева О.А. Анализ кинетических характеристик баромембранного и электробаромембранного разделения раствора нитрата аммония // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2020. Т. 63. № 9. С. 28–36.
- 14 Коновалов Д.Н., Лазарев С.И., Рыжкин В.Ю., Ковалев С.В. и др. Проектирование и расчет электробаромембранного аппарата плоскокамерного типа для разделения промышленных растворов с равной площадью прикатодных и прианодных мембран // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2021. № 5. С. 10–13.

15 Абоносимов О.А. Исследование гидродинамической проницаемости обратноосмотических мембран в растворах солей тяжелых металлов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2016. Т. 1. № 59. С. 187–191.

16 Лазарев С.И., Ковалев С.В., Коновалов Д.Н., Луа П. Электрохимические и транспортные характеристики мембранных систем при электронанофильтрационном разделении растворов, содержащих нитрат аммония и сульфат калия // Электрохимия. 2021. Т. 57. № 6. С. 355–376.

17 Владипор: сайт ЗАО НТЦ Владипор. URL: www.vladipor.ru/catalog/show

18 Dytnersky Y.I., Volcheck K.A., Polyanskaya N.B. Separation of multicomponent solutions using reagent ultrafiltration // Desalination. 1991. V. 81. № 1–3. pp. 273–279.

19 Свитцов А.А. Введение в мембранную технологию. М.: ДеЛи принт, 2007. 208 с.

20 Луа П., Лазарев С.И., Ковалева О.А., Ковалев С.В. Электрохимические и кинетические характеристики процесса электромембранного разделения раствора сульфата калия // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2021. Т. 64. № 8. С. 107–114.

References

1 Kozaderova O.A., Niftaliev S.I., Kim K.B. Application of bipolar MB 2 membranes modified with chromium (III) hydroxide for sodium sulfate conversion. News of higher educational institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology. 2019. vol. 62. no. 3. pp. 30-36. (in Russian).

2 Kononenko N.A., Demina O.A., Loza N.V., Dolgoplov S.V et al. Theoretical and experimental investigation of the limiting diffusion current in systems with modified perfluorinated sulfocationite membranes. Electrochemistry. 2021. vol. 57. no. 5. pp. 283-300. (in Russian).

3 Yurova P.A., Stenina I.A., Yaroslavl'tsev A.B. Effect on the transport properties of MK 40 cation exchange membranes modified with perfluorosulfopolymer and cerium oxide. Electrochemistry. 2020. vol. 56. no. 6. pp. 568-573. (in Russian).

4 Shaposhnik V.A., Anisimova N.O., Korovkina A.S. Electrical conductivity of multilayer monopolar ion-exchange membranes. Sorption and chromatographic processes. 2018. vol. 18. no. 3. pp. 346-351. (in Russian).

5 Tsygurina K.A., Rybalkina O.A., Melnikova E.D., Pishevskaya N.D. Total and partial voltage characteristics of anion-exchange membranes in solutions of NaCl and NaH₂ PO₄. Condensed media and interphase boundaries. 2017. vol. 19. no. 4. pp. 585-595. (in Russian).

6 Kozaderova O.A., Niftaliev S.I., Kim K.B. Ion transfer during ammonium nitrate electrodialysis. Electrochemistry. 2018. vol. 54. no. 4. pp. 416-422. (in Russian).

7 Kharina A.Yu., Eliseev S.Ya. Demineralization of phenylalanine solution by electromembrane methods. Condensed media and interphase boundaries. 2017. vol. 19. no. 1. pp. 126-132. (in Russian).

8 Eliseeva T.V., Kharina A.Yu., Chernikova E.N., Charushina O.E. Demineralization of heterocyclic amino acid solutions by the electromembrane method. Sorption and chromatographic processes. 2021. vol. 21. no. 4. pp. 492-497. (in Russian).

9 Mavletov M.N., Yarullin A.Z., Berezin N.B., Mezhevich Zh.V. Local wastewater treatment of electroplating plants by a combined method using an electrodialysis unit and ion exchange columns. Bulletin of the Technological University. 2019. vol. 22. no. 6. pp. 63-66. (in Russian).

10 Vasilyeva V.I., Saud A.M., Akberova E.M. Separation of water-salt solutions of phenylalanine by electrodialysis using membranes with different mass fraction of sulfocation exchange resin. Sorption and chromatographic processes. 2021. vol. 21. no. 4. pp. 498-509. (in Russian).

11 Chigaev I.G., Komarova L.F. Investigation of nanofiltration and ion exchange as complex methods of natural groundwater purification. Bulletin of the Technological University. 2019. vol. 22. no. 4. pp. 99-102. (in Russian).

12 Vinnitskiy V.A., Chugunov A.S., Ershov M.V. Effect of retentate consumption on membrane separation of binary solutions of sodium, magnesium and calcium chlorides. News of higher educational institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology. 2021. vol. 64. no. 10. pp. 46-55. (in Russian).

13 Lazarev S.I., Kovalev S.V., Konovalov D.N., Kovaleva O.A. Analysis of kinetic characteristics of baromembrane and electrobaromembrane separation of ammonium nitrate solution. Izv. vuzov. Chemistry and chemical technology. 2020. vol. 63. no. 9. pp. 28-36. (in Russian).

14 Konovalov D.N., Lazarev S.I., Ryzhkin V.Yu., Kovalev S.V. et al. Design and calculation of an electrobaromembrane apparatus of a flat-chamber type for separation of industrial solutions with an equal area of near-cathode and near-anode membranes. Chemical and oil and gas engineering. 2021. no. 5. pp. 10-13. (in Russian).

15 Abonosimov O.A. Investigation of hydrodynamic permeability of reverse osmotic membranes in solutions of heavy metal salts. Issues of modern science and practice. V.I. Vernadsky University. 2016. vol. 1. no. 59. pp. 187-191. (in Russian).

16 Lazarev S.I., Kovalev S.V., Konovalov D.N., Lua P. Electrochemical and transport characteristics of membrane systems during electron-filtration separation of solutions containing ammonium nitrate and potassium sulfate. Electrochemistry. 2021. vol. 57. no. 6. pp. 355-376. (in Russian).

17 Vladipor: website of CJSC STC Vladipor. Available at: www.vladipor.ru/catalog/show (in Russian).

18 Dytnersky Y.I., Volcheck K.A., Polyanskaya N.B. Separation of multicomponent solutions using reagent ultrafiltration. Desalination. 1991. vol. 81. no. 1-3. pp. 273-279.

19 Swittsov A.A. Introduction to membrane technology. Moscow, Delhi Print, 2007. 208 p. (in Russian).

20 Lua P., Lazarev S.I., Kovaleva O.A., Kovalev S.V. Electrochemical and kinetic characteristics of the process of electromembrane separation of potassium sulfate solution. Izv. vuzov. Chemistry and chemical technology. 2021. vol. 64. no. 8. pp. 107-114. (in Russian).

Сведения об авторах

Дмитрий Н. Коновалов к.т.н., доцент, кафедра техники и технологии автомобильного транспорта, Тамбовский государственный технический университет, Советская, 106, Тамбов, 392000, Россия, kdn1979dom@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9366-8661>

Сергей И. Лазарев д.т.н., зав. кафедрой, кафедра механики и инженерной графики, Тамбовский государственный технический университет, Советская, 106, Тамбов, 392000, Россия, sergey.lazarev.1962@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0746-5161>

Луа Пепе аспирант, кафедра механики и инженерной графики, Тамбовский государственный технический университет, Советская, 106, Тамбов, 392000, Россия, alploua@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7333-4816>

Константин К. Полянский д.т.н., профессор, кафедра коммерции и товароведения, Воронежский филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, Карла Маркса, 67А, Воронеж, 394030, Россия, kaf-kit@vfreu.ru

 <https://orcid.org/>

Вклад авторов

Дмитрий Н. Коновалов обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты, написал рукопись

Сергей И. Лазарев консультация в ходе исследования, обзор литературных источников по исследуемой проблеме, написал рукопись

Луа Пепе провёл эксперимент

Константин К. Полянский корректировал рукопись до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Dmitry N. Kononov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technique and technology of road transport department, Tambov State Technical University, Sovetskaya 106, Tambov, 392000 Russia, kdn1979dom@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9366-8661>

Sergey I. Lazarev Dr. Sci. (Engin.), head of department, mechanics and engineering graphics department, Tambov State Technical University, Sovetskaya 106, Tambov, 392000 Russia, sergey.lazarev.1962@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0746-5161>

Pepe Lua graduate student, mechanics and engineering graphics department, Tambov State Technical University, Sovetskaya 106, Tambov, 392000 Russia, alploua@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7333-4816>

Konstantin K. Polyansky Dr Sci. (Engin.), professor, commerce and commodity science department, Voronezh branch of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanov, Karl Marx, 67A, Voronezh, 394030, Russia, kaf-kit@vfreu.ru

 <https://orcid.org/>

Contribution

Dmitry N. Kononov review of literary sources on the problem under study, conducted an experiment, performed calculations, wrote a manuscript

Sergey I. Lazarev consultation during the study, review of literary sources on the problem under study, wrote the manuscript

Pepe Lua conducted an experiment

Konstantin K. Polyansky corrected manuscript before submission to the editor and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 13/01/2023	После редакции 03/02/2023	Принята в печать 22/02/2023
Received 13/01/2023	Accepted in revised 03/02/2023	Accepted 22/02/2023

Развитие отечественного рынка сидра

Светлана В. Жуковская	¹	zhu2165@yandex.ru	 0000-0002-2324-6340
Мария В. Бабаева	¹	m-babaeva@mail.ru	 0000-0003-2258-3828
Дмитрий А. Казарцев	¹	kda_79@mail.ru	 0000-0001-6597-2327
Елизавета А. Громова	¹	al.elizaveta-808@mail.ru	

¹ Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, д. 73, г. Москва, 109004, Россия

Аннотация. В процессе исследования развития отечественного рынка сидра проведен анализ рынка алкогольного и безалкогольного сидра, выявлено смещение спроса на безалкогольную продукцию, приведена статистика потребления алкогольных напитков, в которой отмечено снижение потребления алкоголя на 43%. В рамках работы проанализирован спрос с 2018 по 2021 год на безалкогольное пиво, который показывает увеличение потребления пива безалкогольного в 7 раз, рассчитана доля потребления сидра, относительно пива, которая за 4 года увеличилась на 5 % и зафиксировано потребление сидра с 2018 по 2022 г., которое за 5 лет возросло в 7 раз. Проанализирован рынок сидра безалкогольного, а также его аналогов. По результатам анализа рынка безалкогольного сидра отмечено, что данный товар является дефицитным, а производители прибегают к частому употреблению различных вкусовых добавок, с целью усиления органолептических показателей. Ценовой сегмент данного продукта отмечен, как выше среднего по сравнению как с алкогольными аналогами, так и безалкогольными. На основании выявленных данных, следует предположить, что расширение производства безалкогольного сидра является перспективным направлением в пищевой промышленности, поскольку зафиксирован спрос на безалкогольную продукцию, а данный напиток практически не представлен на российском рынке или представлен в высоком ценовой категории.

Ключевые слова: сидр, сидр безалкогольный, пиво, безалкогольное пиво, анализ, спрос.

Development of the domestic cider market

Svetlana V. Zhukovskaya	¹	zhu2165@yandex.ru	 0000-0002-2324-6340
Maria V. Babaeva	¹	m-babaeva@mail.ru	 0000-0003-2258-3828
Dmitry A. Kazartsev	¹	kda_79@mail.ru	 0000-0001-6597-2327
Elizaveta A. Gromova	¹	al.elizaveta-808@mail.ru	

¹ K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University) 73 Zemlyanoy Val street, Moscow, 109004, Russia

Abstract. In the process of studying the development of the domestic cider market, an analysis was made of the market for alcoholic and non-alcoholic cider, a shift in demand for non-alcoholic products was revealed, statistics on the consumption of alcoholic beverages were given, in which a decrease in alcohol consumption by 43% was noted. As part of the work, the demand from 2018 to 2021 for non-alcoholic beer was analyzed, which shows an increase in the consumption of non-alcoholic beer by 7 times, the share of cider consumption relative to beer was calculated, which increased by 5% over 4 years and cider consumption was recorded from 2018 to 2022 g, which has increased by 7 times in 5 years. The market of non-alcoholic cider, as well as its analogues, is analyzed. According to the results of the analysis of the non-alcoholic cider market, it was noted that this product is in short supply, and manufacturers resort to the frequent use of various flavoring additives in order to enhance the organoleptic indicators. The price segment of this product is noted as above average compared to both alcoholic and non-alcoholic counterparts. Based on the revealed data, it should be assumed that the expansion of the production of non-alcoholic cider is a promising direction in the food industry, since the demand for non-alcoholic products has been recorded, and this drink is practically not represented on the Russian market or is presented in a high price category.

Keywords: cider, non-alcoholic cider, beer, non-alcoholic beer, analysis, demand.

Введение

В настоящее время в РФ существует концепция в области ведения здорового образа жизни [1], которая прослеживается, как на государственном уровне, так и подкреплена желанием самого населения страны. Потребители заинтересованы в приобретении товаров с качественным составом из натурального сырья, а также напитков безалкогольных. Доказательством этому могут служить ряд косвенных факторов, так, прослеживается открытие супермаркетов, которые позиционируют себя магазинами «натуральных продуктов с честным и чистым составом»,

например, сеть магазинов Вкус Вилл начала активно развиваться в 2016 году в г. Москве и на момент окончания 2021 г. имело уже 1337 магазинов в 56 городах [2]. Прямым фактором служит статистика потребления алкогольных напитков: на 2021 год было зафиксировано снижение употребления почти на 43% относительно 2008 года, что является довольно высоким показателем [3].

По результатам, представленным выше, можно сделать вывод, что, расширение ассортимента безалкогольной продукции является актуальным, в частности производство безалко-

Для цитирования

Жуковская С.В., Бабаева М.В., Казарцев Д.А., Громова Е.А. Развитие отечественного рынка сидра // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 33–37. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-33-37

For citation

Zhukovskaya S.V., Babaeva M.V., Kazartsev D.A., Gromova E.A. Development of the domestic cider market. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 33–37. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-33-37

гольного сидра, поскольку за последние года отрасль производства сидра традиционного стала одной из самых эффективно развивающихся в России [4]. Наблюдается смещение спроса в сторону сидра относительно употребления пива, что также свидетельствует о спросе на данный продукт.

Материалы и методы

Для исследования развития отечественного рынка сидра объектами исследования послужила сеть винотек г. Москвы.

Для исследования рынка безалкогольного сидра объектами исследования являлись интернет-витрины и сайты открытого доступа, на которых покупатели имеют возможность приобретения безалкогольного сидра под заказ, а также винотеки и магазины, в которых можно встретить товар данной категории.

Результаты и обсуждение

В ходе исследования был проанализирован рынок потребления алкогольного и безалкогольного пива с целью выявления спроса на безалкогольную продукцию (рисунок 1 и 2).

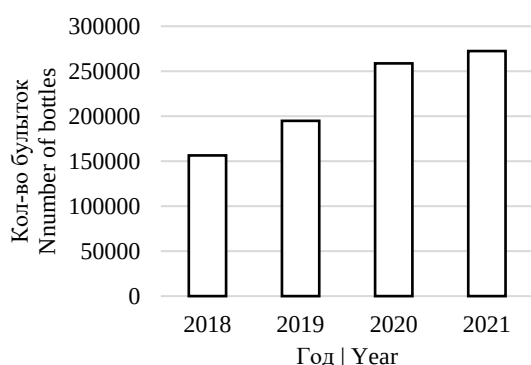


Рисунок 1. Потребление алкогольного пива
Figure 1. Consumption of alcoholic beer

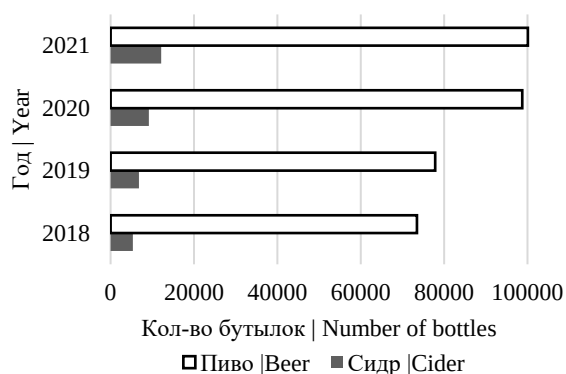


Рисунок 3. Рынок потребления алкогольного сидра и алкогольного пива
Figure 3 Alcoholic cider and alcoholic beer consumption mark

По результатам анализа рынка за последние 5 лет потребление сидра выросло в 2,8 раза, что свидетельствует о быстром развитии этой отрасли.

Данные представлены с 2017 по 2021 года и отображают потребление напитков в рамках целой сети винотек.

По результатам полученных данных было выявлено, что за 5 лет рост потребления безалкогольного пива вырос в 7 раз, в то время как спрос на пиво алкогольное увеличился всего в 2,5 раза, что в очередной раз является подтверждением растущего среди потребителей спроса на безалкогольную продукцию.

На следующем этапе исследования был проанализирован рынок потребления алкогольного пива и алкогольного сидра с 2018 по 2021 год в рамках одной винотеки (рисунок 3). Полученные данные позволили рассчитать смещение спроса в сторону сидра относительно пива. На 2021 г. оно составило 12% к то время, как на 2018 год этот показатель был равен всего 7%.

Проведен анализ рынка потребления сидра и пуаре также в рамках одной винотеки в период с 2018 по 2022 (рисунок 4). Учитывалось потребление напитков только с мая по сентябрь с целью получения свежих данных за 2022 год [5].

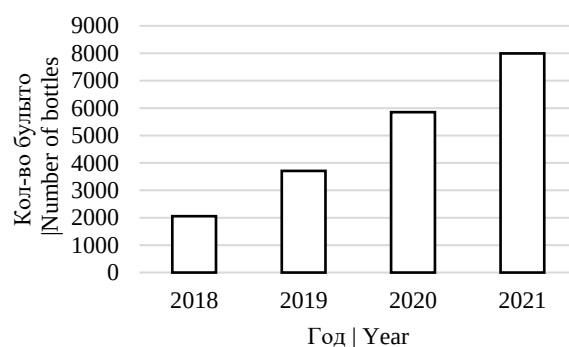


Рисунок 2. Потребление безалкогольного пива
Figure 2. Consumption of non-alcoholic beer

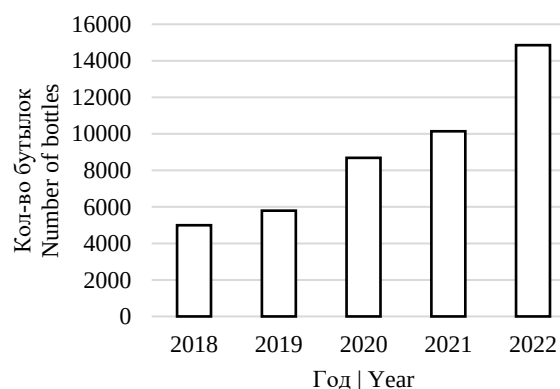


Рисунок 4. Потребление алкогольного сидра и алкогольного пуаре
Figure 4. Consumption of alcoholic cider and alcoholic poire

Анализ отечественного рынка алкогольных и безалкогольных напитков показал, что изменение вкусовых предпочтений потребителя задают

вектор развития в тех или иных отраслях, таким образом, повышенный спрос на сидр алкогольный и на безалкогольные напитки, наталкивает на необходимость расширения ассортимента безалкогольных напитков, а именно расширению линейки безалкогольного сидра.

Заключительным этапом исследования отечественного рынка сидра является анализ рынка безалкогольного сидра. В таблице представлены российские и зарубежные безалкогольные аналоги сидра (таблица 1), которые можно приобрести в специализированных магазинах или осуществив заказ на сайтах [6–9].

Таблица 1.

Безалкогольный сидр и его аналоги

Table 1.

Non-alcoholic cider and its analogues

Наименование Name	Страна Country	Состав Composition	Цена, рублей Price, rubles
Сидр «Лось и Кедр» безалкогольный, 0,5 л. Moose and Cedar non-alcoholic cider, 0.5l.	Россия Russia	Яблочный сок, вода, грейпфрутовый сок, сахар, хмель Apple juice, water, grapefruit juice, sugar, hops	165
Безалкогольный яблочный сидр с грушей Вильямса OH NO CIDRERIE Mini & Peary, 0,5 л. Non-alcoholic apple cider with Williams pear OH NO CIDRERIE Mini & Peary, 0.5 l.		Восстановленный Сок плодов яблок, восстановленный сок плодов груши, хмелепродукты Reconstituted Apple Fruit juice, Reconstituted Pear Fruit Juice, Hop products	160
Сидр тихий безалкогольный Sidra Natural Camin «Натурал Камин», 0,75 л. Quiet non-alcoholic cider Sidra Natural Camin Natural Fireplace, 0.75l.	Испания Spain	100% яблочный сок прямого отжима 100% straight-pressed apple juice	920
Сидр Kopparberg Груша безалкогольный, 0,5 л. Kopparberg Pear non-alcoholic cider, 0.5l.	Швеция Sweden	Газированная вода 74,47%, сок ферментированных груш 8,9%, грушевый сок 8,5%, сахар 7.8%, регулятор кислотности – лимонная кислота (E330) 0,2%, ароматизатор «груша» 0,1%, консервант – сорбат калия (E202) 0,02%, антиокислитель – пиросульфит калия (E224) 0.01% Carbonated water 74.47%, juice of fermented pears 8.9%, pear juice 8.5%, sugar 7.8%, acidity regulator – citric acid (E330) 0.2%, flavor "pear" 0.1%, preservative – potassium sorbate (E202) 0.02%, antioxidant – potassium pyrosulfite (E224) 0.01%	308

Анализ рынка безалкогольного сидра как российских производителей, так и зарубежный показал, что безалкогольный сидр, действительно, является дефицитным товаром, поскольку, большинство из представленных образцов часто не имеются в наличии, Цена каждого из образца выше рыночной относительно как безалкогольного пива, так и безалкогольных напитков в целом. Безалкогольный сидр не представлен в больших сетевых магазинах совсем [10–20].

Проанализировав состав, представленных образцов, стоит отметить, что для достижения высоких органолептических показателей производители применяют различные вкусовые добавки и практически не используют яблочный сок прямого отжима, который является основной составляющей традиционного сидра. Высоким качеством и насыщенным характерным вкусом будет обладать только Sidra Natural Camin «Натурал Камин», поскольку данный напиток сделан из сока прямого отжима.

Заключение

В результате исследования отечественного рынка алкогольного и безалкогольного сидра, а также рынка алкогольного и безалкогольного пива отмечено:

- отрасль производства сидра алкогольного активно развивается на протяжении последних 5-ти лет – объемы производства увеличились в 2,8 раза;
- на 5% увеличился спрос потребления сидра относительно пива за последние 5 лет;
- увеличился спрос на потребление безалкогольного пива в 7 раз за последние 4 года;
- на рынке представлено ограниченное количество безалкогольного сидра, а стоимость представленных напитков выше среднего.

Следовательно, можно сделать вывод, что в сложившейся ситуации на рынке напитков безалкогольных в условиях ведения здорового образа жизни потребителей, их желания покупать товар из натурального сырья с минимальным количеством добавок, усиливающие вкусовые показатели, производство безалкогольного сидра с качественным составом является перспективным направлением в пищевой отрасли.

Литература

- 1 Приказ Министерства здравоохранения РФ от 15 января 2020 г. № 8 "Об утверждении Стратегии формирования здорового образа жизни населения, профилактики и контроля неинфекционных заболеваний на период до 2025 года". URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73421912/>
- 2 Романюк Е.П., Нилова Л.П. Яблочный сидр-вектор развития рынка алкогольной продукции // Наука молодых-будущее России. 2018. С. 143-147.
- 3 Потребление алкоголя в России с 2008 по 2021 год. URL: <https://rg.ru/2022/09/12/nachali-za-zdravie.html>
- 4 Вакулин В.Г. Обзор и новые тенденции рынка алкогольной продукции России // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. ВГ Шухова. 2017. С. 5406-5411.
- 5 Романюк Е.П., Нилова Л.П. Анализ потребительских предпочтений яблочного сидра // Фундаментальные и прикладные исследования в области управления, экономики и торговли. 2020. С. 404-409.
- 6 Асфондырова И.В., Лямин А.В. Современный ассортимент и экспертиза качества сидров // Качество и безопасность товаров: от производства до потребления. 2019. С. 66-71.
- 7 Козлобаева Е.А., Колобаева А.А., Леонова Н.В. Инновационные решения как фактор роста эффективности АПК // Управление инновационным развитием агропродовольственных систем на национальном и региональном уровнях. 2021. С. 131-136.
- 8 Романюк Е.П., Нилова Л.П. Совершенствование нормативной базы в сегменте слабоалкогольных напитков // Неделя науки СПбПУ. 2019. С. 32-35.
- 9 Радкевич Т. Новые решения для пива и безалкогольных напитков // Пиво и напитки. 2017. № 4. С. 52-54.
- 10 Куликова А.С. Оценка физико-химических показателей сидровых виноматериалов из яблок уральского региона // Научный форум: Инновационная наука. 2021. С. 14.
- 11 Miles C.A., Alexander T.R., Peck G., Galinato S.P. et al. Growing apples for hard cider production in the United States—trends and research opportunities // HortTechnology. 2020. V. 30. № 2. P. 148-155. doi: 10.21273/HORTTECH04488-19
- 12 Kirkey C., Braden T. An introduction to ice cider in quebec: a preliminary overview // Journal of Eastern Townships Studies/Revue D'études Des Cantons-de-l'Est (JETS/RECE). 2014. № 43.
- 13 Ostrom M.R., Conner D.S., Tambet H., Smith K.S. et al. Apple Grower Research and Extension Needs for Craft Cider // HortTechnology. 2022. V. 32. № 2. P. 147-157. doi: 10.21273/HORTTECH04827-21
- 14 Becot F.A., Bradshaw T.L., Conner D.S. Apple market expansion through value-added hard cider production: Current production and prospects in Vermont // HortTechnology. 2016. V. 26. № 2. P. 220-229. doi: 10.21273/HORTTECH.26.2.220
- 15 Becot F., Bradshaw T.L., Conner D. Growing apples for the cider industry in the US northern climate of Vermont: does the math add up? // International Symposia on Tropical and Temperate Horticulture-ISTTH2016 1205. 2016. P. 461-468. doi: 10.17660/ActaHortic.2018.1205.56
- 16 Fabien-Ouellet N., Conner D.S. The identity crisis of hard cider // Journal of Food Research. 2018. V. 7. № 2. P. 654-676.
- 17 Martin M., Padilla-Zakour O. I., Gerling C. Tannin additions to improve the quality of hard cider made from dessert apples // New York State Hort. Soc. 2017. V. 25. P. 25-28.
- 18 Kline C., Cole Z.D. Craft cider tourism: Getting to the core of the matter // Craft Beverages and Tourism, Volume 1: The Rise of Breweries and Distilleries in the United States. 2017. P. 41-55. doi: 10.1007/978-3-319-49852-2_4
- 19 Outreville J.F., Le Fur E. The price of cider: Empirical analysis in Québec Province // British Food Journal. 2020. V. 122. № 1. P. 87-98. doi: 10.1108/BFJ-07-2019-0561
- 20 Tozer P.R., Galinato S.P., Ross C.F., Miles C.A. et al. Sensory analysis and willingness to pay for craft cider // Journal of Wine Economics. 2015. V. 10. № 3. P. 314-328. doi: 10.1017/jwe.2015.30

References

1. Order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 8 dated January 15, 2020 "On approval of the Strategy for the formation of a healthy lifestyle of the population, prevention and control of non-communicable diseases for the period up to 2025". Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73421912/> (in Russian).
2. Romanyuk E.P., Nilova L.P. Apple cider -a vector of development of the alcoholic beverages market. Science of the young-the future of Russia. 2018. pp. 143-147. (in Russian).
3. Alcohol consumption in Russia from 2008 to 2021. Available at: <https://rg.ru/2022/09/12/nachali-za-zdravie.html> (in Russian).
4. Vakulin V.G. Overview and new trends of the alcohol market in Russia. International Scientific and Technical Conference of young scientists of BSTU named after VG Shukhov. 2017. pp. 5406-5411. (in Russian).
5. Romanyuk E.P., Nilova L.P. Analysis of consumer preferences of apple cider. Fundamental and applied research in the field of management, economics and trade. 2020. pp. 404-409. (in Russian).
6. Asfondyayrova I.V., Lyamin A.V. Modern assortment and expertise of cider quality. Quality and safety of goods: from production to consumption. 2019. pp. 66-71. (in Russian).
7. Kozlobaeva E.A., Kolobaeva A.A., Leonova N.V. Innovative solutions as a factor of agribusiness efficiency growth. Management of innovative development of agro-food systems at the national and regional levels. 2021. pp. 131-136. (in Russian).
8. Romanyuk E.P., Nilova L.P. Improvement of the regulatory framework in the segment of low-alcohol beverages. Week of Science of SPbPU. 2019. pp. 32-35. (in Russian). (in Russian).
9. Radkevich T. New solutions for beer and soft drinks. Beer and beverages. 2017. no. 4. pp. 52-54. (in Russian).
10. Kulikova A.S. Evaluation of physico-chemical parameters of cider wine materials from apples of the Ural region. Scientific Forum: Innovative science. 2021. p. 14. (in Russian).

11. Miles C.A., Alexander T.R., Peck G., Galinato S.P. et al. Growing apples for hard cider production in the United States—trends and research opportunities. *HortTechnology*. 2020. vol. 30. no. 2. pp. 148-155. doi: 10.21273/HORTTECH04488-19
12. Kirkey C., Braden T. An introduction to ice cider in quebec: a preliminary overview. *Journal of Eastern Townships Studies/Revue D'études Des Cantons-de-l'Est (JETS/RECE)*. 2014. no. 43.
13. Ostrom M.R., Conner D.S., Tarnbet H., Smith K.S. et al. Apple Grower Research and Extension Needs for Craft Cider. *HortTechnology*. 2022. vol. 32. no. 2. pp. 147-157. doi: 10.21273/HORTTECH04827-21
14. Becot F.A., Bradshaw T.L., Conner D.S. Apple market expansion through value-added hard cider production: Current production and prospects in Vermont. *HortTechnology*. 2016. vol. 26. no. 2. pp. 220-229. doi: 10.21273/HORTTECH.26.2.220
15. Becot F., Bradshaw T.L., Conner D. Growing apples for the cider industry in the US northern climate of Vermont: does the math add up? *International Symposia on Tropical and Temperate Horticulture-ISTTH2016 1205*. 2016. pp. 461-468. doi: 10.17660/ActaHortic.2018.1205.56
16. Fabien-Ouellet N., Conner D.S. The identity crisis of hard cider. *Journal of Food Research*. 2018. vol. 7. no. 2. pp. 654-676.
17. Martin M., Padilla-Zakour O. I., Gerling C. Tannin additions to improve the quality of hard cider made from dessert apples. *New York State Hort. Soc.* 2017. vol. 25. p. 25-28.
18. Kline C., Cole Z.D. Craft cider tourism: Getting to the core of the matter. *Craft Beverages and Tourism, Volume 1: The Rise of Breweries and Distilleries in the United States*. 2017. pp. 41-55. doi: 10.1007/978-3-319-49852-2_4
19. Outreville J.F., Le Fur E. The price of cider: Empirical analysis in Québec Province. *British Food Journal*. 2020. vol. 122. no. 1. pp. 87-98. doi: 10.1108/BFJ-07-2019-0561
20. Tozer P.R., Galinato S.P., Ross C.F., Miles C.A. et al. Sensory analysis and willingness to pay for craft cider. *Journal of Wine Economics*. 2015. vol. 10. no. 3. pp. 314-328. doi: 10.1017/jwe.2015.30

Сведения об авторах

Светлана В. Жуковская к.х.н., доцент, кафедра технологии виноделия, бродильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, zhu2165@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2324-6340>

Мария В. Бабаева к.т.н., доцент, кафедра технологии виноделия, бродильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, m-babaeva@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2258-3828>

Дмитрий А. Казарцев к.т.н., доцент, кафедра технологии виноделия, бродильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, kda_79@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6597-2327>

Елизавета А. Громова магистрант, кафедра технологии виноделия, бродильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, al.elizaveta-808@mail.ru

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

Svetlana V. Zhukovskaya Cand. Sci. (Chem.), associate professor, technology of winemaking, fermentation industries and chemistry named after G.G. Agabalyants, K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, zhu2165@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2324-6340>

Maria V. Babaeva Cand. Sci. (Chem.), professor, technology of winemaking, fermentation industries and chemistry named after G.G. Agabalyants, K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, m-babaeva@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2258-3828>

Dmitry A. Kazartsev Cand. Sci. (Engin.), technology of wine-making, fermentation industries and chemistry named after G.G. Agabalyants, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, kda_79@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6597-2327>

Elizaveta A. Gromova master student, technology of winemaking, fermentation industries and chemistry named after G.G. Agabalyants, K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, al.elizaveta-808@mail.ru

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 16/01/2023	После редакции 06/02/2023	Принята в печать 28/02/2023
Received 16/01/2023	Accepted in revised 06/02/2023	Accepted 28/02/2023

Разработка рецептуры кулинарного продукта на основе вторичного пищевого сырья

Максим П. Новожилов	¹	m.p.novozhilov@yandex.ru	 0000-0001-7781-4051
Владимир А. Гроховский	¹	v.grokhosky@mail.ru	 0000-0002-1892-0257
Юлия В. Шокина	¹	shokinayuv@mstu.edu.ru	 0000-0002-5869-2180
Максим М. Попов	¹	maks.po2010@yandex.ru	 0000-0001-6735-5795
Илья Н. Бензик	¹	benzikin2@mstu.edu.ru	 0000-0003-1426-3824
Екатерина А. Косарева	¹	katakosar013@gmail.com	 0000-0002-6779-7654

¹ Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия

Аннотация. Приведены данные о перспективах переработки рыбного вторичного пищевого сырья, отмечены основные направления переработки неэквотируемых объектов промысла. Представлен один из вариантов использования вторичного пищевого сырья – хрящей ската звездчатого и лап куриных в технологии приготовления желированных кулинарных продуктов. Хрящи ската в рецептуре бульона выступают в качестве средства профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата ввиду содержания в своем составе хондроитина сульфата, являющегося хондропротектором, а куриные лапы – ингредиентом, усиливающим желирование и улучшающим вкусоароматические характеристики отвара. Разработана и с помощью математического моделирования и матрицы нечеткого логического вывода оптимизирована рецептура рыбомясного бульона, являющегося основой желе. Установлено, что пиковое значение показателя органолептической оценки наблюдается при доле хрящей ската в плотной части бульона равной 50 % и гидромодуле 2. Рассмотрено влияние желирующих добавок растительного и животного происхождения на органолептические показатели и прочность образующегося студня. Установлена нецелесообразность применения структурообразователей растительного происхождения (яблочного и цитрусового пектина, камеди рожкового дерева, NH-пектина, агар-агара различных дозировок). Найден наиболее эффективный студнеобразователь – желатин говяжий марки 220 bloom с дозой в 5 %, обеспечивающий наилучшие органолептические и физические показатели кулинарного желированного продукта. Созданы рецептуры и изготовлены образцы желированного кулинарного продукта с использованием ценного мяса ската, а также вторичного пищевого сырья и овощей маринованных. Установлен оптимальный композиционный состав изделия, определены химический состав и пищевая ценность нового вида рыбомясной желированной кулинарной продукции.

Ключевые слова: вторичное пищевое сырье, хрящи ската, лапы куриные, рыбомясной бульон, желированные продукты, структурообразователи.

Development of the culinary product recipe based on secondary food raw materials

Maxim P. Novozhilov	¹	m.p.novozhilov@yandex.ru	 0000-0001-7781-4051
Vladimir A. Grohovskiy	¹	v.grokhosky@mail.ru	 0000-0002-1892-0257
Yulia V. Shokina	¹	shokinayuv@mstu.edu.ru	 0000-0002-5869-2180
Maxim M. Popov	¹	maks.po2010@yandex.ru	 0000-0001-6735-5795
Ilya N. Benzik	¹	benzikin2@mstu.edu.ru	 0000-0003-1426-3824
Ekaterina A. Kosareva	¹	katakosar013@gmail.com	 0000-0002-6779-7654

¹ Murmansk State Technical University, st. Sportivnaya, 13, Murmansk, 183010, Russia

Abstract. The data about prospects of processing fish secondary food raw materials were given and main directions for processing non-quota fishery objects were noted in the study. One of the variants of secondary food raw materials usage - stellate cartilage and chicken paws in the technology of gelled culinary products manufacturing was presented. Stingray cartilage in the broth recipe was used as a means of diseases of the musculoskeletal system prevention due to the chondroitin sulfate presence in its composition, which is a chondroprotector, and chicken paws were used as an ingredient to enhance gelling properties and improve flavor characteristics of the broth. The formulation of fish-meat broth, which is the basis of the jelly, was developed and optimized with mathematical modeling and a fuzzy logic inference system. The peak value of the organoleptic assessment indicator was observed when the proportion of stingray cartilage in the dense part of the broth was 50% and the hydromodulus was equal to 2. The influence of gelling additives of plant and animal origin on the organoleptic characteristics and gel strength of fish jelly was described. The inexpediency of plant-derived structure formers (apple and citrus pectins, locust bean gum, NH-pectin, agar-agar of various dosages) usage were established. The most effective gelling additive was found to be a beef gelatin (220 bloom) at a dose of 5%, which provided the best organoleptic and physical properties of the gelled culinary product. Recipes were developed and samples of a gelled culinary product were made with the usage of valuable stingray meat, as well as secondary food raw materials and pickled vegetables. The optimal formulation, chemical composition and nutritional value of the new type of fish-meat gelled culinary product were determined.

Keywords: secondary food raw materials, stingray cartilage, chicken paws, fish and meat broth, jellied products, structurants.

Для цитирования

Новожилов М.П., Гроховский В.А., Шокина Ю.В., Попов М.М., Бензик И.Н., Косарева Е.А. Разработка рецептуры кулинарного продукта на основе вторичного пищевого сырья // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 38–47. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-38-47

For citation

Novozhilov M.P., Grokhovskiy V.A., Shokina Yu.V., Popov M.M., Benzik I.N., Kosareva E.A. Development of the culinary product recipe based on secondary food raw materials. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 38–47. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-38-47

Введение

В последнее время в Российской Федерации большое внимание уделяется повышению эффективности переработки материальных ресурсов, в том числе и в пищевой промышленности. Согласно отечественной Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления в пищевой промышленности и сельском хозяйстве суммарный процент отходов составляет 1,3% от всех секторов экономики [1].

Снижение отходов производства и повышение доли производства продукции высокой степени переработки рыбного сырья является одной из приоритетных задач Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса РФ на период до 2030 г. [2]. Для повышения эффективности переработки водных объектов необходимо вовлекать в технологические процессы вторичное пищевое сырьё. Как правило, оно представляет собой отходы производства, содержащие в своем составе ценные пищевые и биологически активные компоненты, которые могут и должны быть извлечены из такого вторичного сырья. А это, в свою очередь, обуславливает их дальнейшую применимость в технологических процессах для изготовления готовой пищевой продукции.

Одним из вариантов использования вторичных пищевых ресурсов, которые в рыбоперерабатывающей отрасли представлены в основном хрящами, костями и шкурами, может быть производство железированной кулинарной продукции функционального назначения. При этом химический состав и биологическая ценность хрящевого сырья и кожи рыб позволит не только повысить эффективность переработки сырья, но и придать блюдам ценные свойства посредством содержания компонентов, к примеру, выступающих средствами профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата. В свою очередь, повышение интереса производителей к изготовлению функциональных и специализированных пищевых продуктов является одной из приоритетных задач повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации [3] и она уже находит решение по результатам исследований, проведенных отечественными учёными.

Так, например, исследователи из КГТУ (г. Калининград) разработали технологию получения структурообразователя на основе ихтиожелатина плавательных пузырей, чешуи и кожи леща и судака, а также способ применения гидролизата рыбного коллагена. Это позволило создать ряд смесей определённых композиционных составов для расширения рациона питания отдельных категорий спортсменов, а также людей, активно

занимающихся физкультурой и придерживающихся здорового образа жизни [4, 5].

Кроме того, исследователями из ДГТРУ (г. Владивосток) предложен способ получения белкового концентрата и железирующей добавки из ястычных пленок, вторичных ресурсов получаемых при производстве зернистой икры лососёвых видов рыб [6].

Российскими учёными, помимо этого, разработано большое количество технологий переработки соединительной ткани водных объектов для получения биологически функциональных продуктов, используемых в фармакологической, кормовой и пищевой отраслях промышленности [7].

Не остались в стороне от решения этой актуальной проблемы заполярные исследователи (МГТУ, г. Мурманск), в поле зрения которых оказались весьма перспективные объекты для промышленной переработки, какими являются такие хрящевые рыбы, как звёздчатые или колючие скаты (*Raja radiata*), обитающие в арктических широтах, промысловые запасы которых составляют десятки тысяч тонн [8]. При этом их доля при добыче донных и придонных видов рыб (трески, пикши, сайды, зубатки и др.) в приловах составляет существенные объёмы [9]. К тому же этот промысловый объект не лимитирован величиной общего допустимого улова (ОДУ), устанавливаемого международными межправительственными комиссиями а это свидетельствует о большом потенциале для его вылова [8]. В МГТУ разработан ряд технологий по промышленной переработке ската звездчатого и получения из него пищевой и кормовой продукции [10, 11]. При переработке скатов образуется большое количество отходов, из них до 17% от массы обесшкуранных крыльев этого вида рыбы составляют хрящи, обладающие хондропротекторной активностью ввиду содержания в своем составе хондроитина сульфата [12].

В качестве сырья, содержащего в своем составе значительное количество коллагена, что может способствовать профилактике заболеваний опорно-двигательного аппарата в дополнение к хрящевому сырью, используется доступное вторичное сырьё птицеперерабатывающих производств, в частности куриные лапы, отделяемые при производстве кур потрошенных. В частности, за последние 5 лет среднегодовые объёмы производства в Российской Федерации субпродуктов птицы мороженых, в том числе лап куриных (ГОСТ 31657–2012 «Субпродукты птицы. Технические условия») составляют 550 тыс. тонн, [13, 14].

Использование лап куриных способствует повышению структурообразующих свойств бульона, а также улучшает его органолептические характеристики за счет специфического приятного аромата и придания отвару золотистого цвета [15].

Цель исследования – разработать технологию изготовления кулинарных рыбажных желированных продуктов с использованием вторичного пищевого сырья и овощей.

Для достижения цели исследования сформулированы следующие задачи:

1) исследовать возможность применения хрящей ската и куриных лап в рецептуре желе для кулинарного продукта;

2) исследовать органолептические и реологические свойства рыбажных бульонов и оптимизировать технологические параметры процесса их приготовления;

3) провести экспериментальные работы по использованию различных структурообразователей для выбора наиболее приемлемого из них, обеспечивающего наилучшие органолептические и физические показатели кулинарного желированного продукта;

4) разработать и оптимизировать рецептуру желированного кулинарного продукта с использованием рыбного сырья и овощей.

Материалы и методы

Объектами исследования явились крылья ската мороженные (ТУ 9261–028–00038155–02 «Скат мороженный полуфабрикат для промышленной переработки», изготовитель: АО «Норд-Вест Ф.К.»), лапы куриные мороженные (ГОСТ 31657–2012 «Субпродукты птицы. Технические условия», изготовитель: ООО «Племрепродуктор Назия») экспериментальные образцы студня рыбного, приготовленные на основе бульона из вторичного пищевого сырья (хрящей ската и куриных лап) с добавлением различных студнеобразователей (пектин яблочный пищевой, пектин цитрусовый пищевой по ГОСТ 29186–91 «Пектин. Технические условия», камедь рожкового дерева, желатин говяжий пищевой 220 bloom, агар-агар пищевой мелкодисперсный 900 bloom по СТО 0149295561–001–2019 «Пищевые добавки, ароматизаторы и технологические вспомогательные средства фасованные», NH-пектин термообратимый по ТУ 10.89.15–001–0106070940–2019 «Пектин NH. Технические условия») и желирующих композиций, а также сами бульоны и желированный рыбажный кулинарный продукт.

В ходе экспериментов по приготовлению бульона варьировали соотношением жидкости и плотной части (в диапазоне от 1:2 до 2:1), а также соотношением хрящей ската и куриных лап – от 1:3 до 3:1. Температура варки во всех экспериментах поддерживалась в пределах от 90 до 95 °С, продолжительность варки – 40 минут.

Отбор проб и подготовка их к испытаниям проводилась согласно требованиям ГОСТ Р 54607.1–2011 «Услуги общественного питания.

Методы лабораторного контроля продукции общественного питания. Часть 1. Отбор проб и подготовка к физико-химическим испытаниям».

Определение органолептических показателей бульонов, гелей и рыбных желированных кулинарных продуктов проводили по ГОСТ 7631–2008 «Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Методы определения органолептических и физических показателей», ГОСТ 31986–2012 «Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания» и в соответствии с разработанными балльными шкалами сенсорной оценки качества.

Определение прочности гелей проводили на приборе Imada Food Texture Analyzer FRTS model 50 N при температуре студней 4 ± 2 °С, используя индентор для желе. Индентор погружался в продукт на глубину 10 мм со скоростью 2 мм/с.

Температуру гелеобразования студней, плавления желе, варки бульона определяли с помощью цифрового мультиметра Мастер professional M-838.

Математическое моделирование и оптимизацию рецептурного состава бульона и рыбной желированной кулинарной продукции проводили с использованием расширения Fuzzy Logic Toolbox в программном пакете MatLab.

Определение массовой доли воды проводили высушиванием при 105 °С согласно пункту 3.3.1 ГОСТ 7636–85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа».

Определение массовой доли жира проводили экстракционным методом в аппарате Сокслета согласно пункту 3.7.1 вышеназванного документа.

Определение минерального остатка (зола) проводили сжиганием в муфельной печи при температуре 500 °С согласно пункту 11.6 ГОСТ 7636–85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа».

Массовую долю белковых веществ (сырого протеина) определяли макрометодом согласно пункту 8.9.1 ГОСТ 7636–85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа».

Массовую долю углеводов в продукте находили расчетным методом, используя формулу:

$$X_y = 100 - (X_b + X_{ж} + X_v + X_z), \quad (1)$$

где X_y – массовая доля углеводов, %; X_b – массовая доля белка, %; $X_{ж}$ – массовая доля липидов, %; X_v – массовая доля воды, %; X_z – массовая доля золы, %.

Энергетическую ценность готового желированного продукта определяли расчетным методом согласно формуле 2, представленной ниже:

$$\mathcal{E}_u = B \times K_{\text{эБ}} + \mathcal{J} \times K_{\text{эЖ}} + Y \times K_{\text{эУ}}, \quad (2)$$

где $\mathcal{E}_u$ – энергетическая ценность готовой продукции, ккал; Б – массовая доля белка на 100 г. продукции, г; $K_{\text{эБ}}$ – энергетический коэффициент белка, (принят равным 4 ккал/г); Ж – массовая доля липидов на 100 г. продукции, г; $K_{\text{эЖ}}$ – энергетический коэффициент липидов, (принят равным 9 ккал/г); У – массовая доля усвояемых углеводов

на 100 г. продукции, г; $K_{\text{эУ}}$ – энергетический коэффициент углеводов, (принят равным 4 ккал/г).

Результаты

1.1 Оптимизация основного ингредиентного состава для создания нового желированного кулинарного продукта

С помощью программного пакета MatLab задались следующими критериями, сопоставляющими входные и выходные переменные с термами, характеризующими условное значение величины, представленными в таблице 1 [16–20].

Таблица 1.

Матрица нечеткого логического вывода

Table 1.

Fuzzy inference matrix

Параметр Parametr	Наименование Name	Значение Value
Факторы варьирования Variation factors		
X1 – соотношение жидкости и плотной части бульона (диапазон принимаемых значений 1:2, 1:1, 2:1) X1 - the ratio of liquid and dense part of the broth (the range of accepted values is 1: 2, 1: 1, 2: 1)	мало мало	0,5
	средне средне	1,0
	много много	2,0
X2 – соотношение куриных лап и хрящей ската звездчатого, % (диапазон принимаемых значений 25/75, 50/50, 75/25) X2 - the ratio of chicken legs and cartilage of the stellate stingray, % (range of accepted values 25/75, 50/50, 75/25)	мало мало	25
	средне средне	50
	много много	75
Выходная переменная Output variable		
Y – результаты органолептической оценки, балл (диапазон принимаемых значений 1–5) Y – results of organoleptic evaluation, score (range of accepted values 1–5)	очень нежелательно highly undesirable	1,0–2,5
	не очень желательно not very desirable	2,6–3,0
	удовлетворительно satisfactorily	3,1–3,9
	желательно preferably	4,0–4,4
	очень желательно very desirable	4,5–5,0

Согласно центральному композиционному рототабельному плану эксперимента был составлен массив данных, включающий варьируемые факторы (X_1 , X_2) и выходную переменную – органолептическую оценку (Y). Массив данных и правила для формирования нечеткого логического вывода приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Правила для формирования нечеткого логического вывода

Table 2.

Rules for the formation of fuzzy inference

№	X_1	X_2	X_1	X_2	Y^*
1	+	+	2:1	75/25	2
2	-	+	1:2	75/25	4
3	+	-	2:1	25/75	3
4	-	-	1:2	25/75	2
5	-	0	1:2	50/50	3
6	+	0	2:1	50/50	1
7	0	-	1:1	25/75	3
8	0	+	1:1	75/25	1
9	0	0	1:1	50/50	2

* 1 – очень нежелательно; 2 – не очень желательно; 3 – удовлетворительно; 5 – желательно; 4 – очень желательно

По результатам оптимизации рецептуры методом нечеткого логического вывода получена поверхность отклика, представленная на рисунке 1.

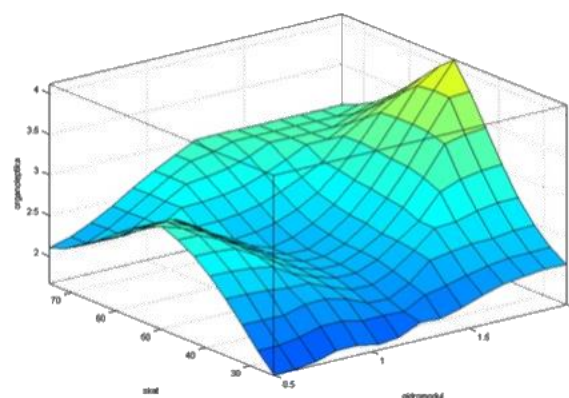


Рисунок 1. Поверхность отклика

Figure 1. Response surface

Пиковое значение показателя органолептической оценки (рисунок 1) наблюдается при доле хрящей ската в плотной части бульона равной 50% и гидромодуле 2.

По результатам сопоставления органолептической оценки показателя консистенции образцов рыбomyсного желе с прочностью геля было принято оптимальное значение данного показателя равное 20–25 Н/м².

1.2 Подбор студнеобразующей добавки для создания прочного и устойчивого к температурному воздействию (температуре не менее 30 °С) рыбomyсного желе

В следующем эксперименте, проведенном на основании ранее полученных результатов оптимизации композиционного состава бульона после его приготовления, был установлен факт его гелеобразования при температуре 4 ± 2 °С. Но поскольку такой кулинарный продукт употребляется при комнатной температуре, при которой происходит быстрое плавление желе, возникает необходимость внесения дополнительного структурообразователя, сохраняющего

необходимые прочностные характеристики геля (прочность 20–25 Н/м²) и стойкого к плавлению при температурах не менее 30 °С.

Поэтому следующей задачей исследования стал подбор студнеобразующей добавки или желирующей композиции, не оказывающей влияние на органолептические характеристики кулинарного продукта, но с повышенным температурной точкой плавления.

Для этого в качестве возможных желирующих добавок было решено использовать в последующих экспериментах такие студнеобразователи растительного происхождения, как яблочный пектин, цитрусовый пектин, пектин NH (термообратимый), агар-агар, камедь рожкового дерева.

Была выполнена серия экспериментов с использованием выбранных структурообразователей и проведена оценка качества полученных студней, результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Результаты исследования влияния структурообразователей на свойства бульонов

Table 3.

The results of the study of the influence of structure formers on the properties of broths

Структурообразователь Structuring agent	t гелео- образования, °C t gel formation, °C	Характеристика Characteristic	Прочность геля, Н/м ² Gel strength, N/m ²	t плавления, °C t melting, °C	Вывод о целесообразности использования Conclusion on the feasibility of using
Яблочный пектин 2,5% Apple pectin 2.5%	4 ± 2	неустойчив, светло-желтый матовый цвет unstable, light yellow matte color	—	< 23	использование нецелесообразно ввиду неустойчивости геля при комнатных условиях и несоответствия органолептических показателей not suitable for use due to gel instability at room conditions and inadequate organoleptic properties
Цитрусовый пектин 2,5% Citrus pectin 2.5%	4 ± 2		—	< 23	
Камедь рожкового дерева 0,1–1,3% Gum carob gum 0.1- 1.3%	4 ± 2	устойчив, прозрачный stable, transparent	1	42	использование нецелесообразно ввиду недостаточной прочности геля not suitable for use due to insufficient gel strength
NH-пектин 2,5% NH pectin 2.5%	4 ± 2	не устойчив, прозрачный not stable, transparent	—	25	
Агар-агар Agar-agar					
0.1%	4 ± 2	устойчив, прозрачный stable, transparent	1	54	
0.2%	4 ± 2		2	54	
0.7%	4 ± 2		10	62	
0.8%	4 ± 2	устойчив, белый цвет, непрозрачный, крошливый stable, white, opaque, crumbly	12	< 70	
0.9%	4 ± 2		22	74	
1.0%	4 ± 2		27	74	
1.2%	4 ± 2		31	80	
Желатин говяжий пищевой ilbakery 220 bloom Food grade beef gelatin ilbakery 220 bloom					
2.5%	4 ± 2	устойчив, прозрачный stable, transparent	7	28	использование нецелесообразно ввиду недостаточной прочности геля not suitable for use due to insufficient gel strength
5%	4 ± 2		22	32	использование целесообразно application is expedient
7.55%	4 ± 2		31	36	использование нецелесообразно ввиду избыточной прочности not suitable due to excessive gel strength

Данные, приведённые в таблице 3 свидетельствуют о том, что неприемлемыми и нежелательными являются яблочный и цитрусовый пектины, поскольку их использование ухудшало прозрачность и цвет студней и, как следствие, снижая органолептическую оценку готового продукта.

Далее, использование термообратимого пектина, камеди рожкового дерева и агар-агара в концентрации последнего до 0,7% (таблица 3) не оказали негативного влияния на органолептические показатели студня. Однако железные продукты, приготовленные с использованием вышеуказанных студнеобразователей, обладали недостаточной прочностью. К примеру, наибольшее значение показателя прочности геля для агар-агара с концентрацией 0,7 составило 10 Н/м² при минимальном пороге, характерном для приемлемой консистенции 20 Н/м², при этом увеличение концентрации добавки приводило к ухудшению органолептических характеристик геля одновременно с повышением прочности (таблица 3).

По результатам проведенных опытов, показавших нецелесообразность применения структурообразователей растительного происхождения, было принято решение использовать для гелеобразования говяжий желатин марки ilbakery 220 bloom с дозировкой равной 2,5, 5 и 7,5%.

Результаты эксперимента с применением данного структурообразователя с дозой 5% показали его приемлемость по органолептике и соответствии рекомендованным значениям – прочности и температуре плавления.

1.3 Создание нового рыбомясного желе-ированного продукта с добавлением овощей

На основании результатов поисковых экспериментов было создано и изготовлено 10 вариантов рецептуры железированной кулинарной продукции с использованием мяса ската, рыбомясного желе, огурца и имбиря маринованного, с последующими органолептическими исследованиями, данные представлены в таблице 4.

Таблица 4.
Варианты рецептуры железированной продукции

Table 4.
Options of the recipes of gelled products

Мясо ската Stingray meat	Желе рыбомясное Fish jelly	Огурец Cucumber	Имбирь маринованный Pickled ginger	Оценка, балл Score
45,6	148,2	21	11	4,55
59,3	134,5	23	9	4,67
79,0	120,8	25	7	4,61
86,6	107,2	26	6	3,96
100,3	93,5	28	4	3,51
114,0	79,8	30	2	3,18
45,6	148,2	30	2	4,51
114,0	79,8	21	11	3,50
73,0	120,8	28	4	4,18
100,3	93,3	25	7	4,28

По результатам органолептической оценки модельных вариантов железированной продукции была проведена оптимизация компонентного состава заливных согласно методике аналогичной представленной выше для рецептов бульонов. Переменные и диапазоны их значения представлены в таблице 5

Матрица нечеткого логического вывода

Таблица 5.

Fuzzy inference matrix

Table 5.

Параметр Parameter	Диапазон концентраций, % Concentrations range, %	Наименование Name	Значение Value
Факторы варьирования Variation factors			
X ₁ – масса мяса ската в рецептуре, г X ₁ – mass of stingray meat in the recipe, g	20–63	очень мало very little	45,6
		мало little	59,3
		не очень мало not very little	73,0
		средне medium	86,6
		не очень много not very much	100,3
X ₂ – масса огурца в рецептуре, г X ₂ – the mass of the cucumber in the recipe, g	9–13	много a lot	114,0
		очень мало very little	21,0
		мало little	23,0
		не очень мало not very little	25,0
		средне medium	26,0
Y – результаты органолептической оценки, балл (диапазон принимаемых значений 3–5) Y – results of organoleptic assessment, score (range of accepted values 3–5)		не очень много not very much	28,0
		много a lot	30,0
		Выходная переменная Output variable	
		очень нежелательно highly undesirable	3,00–3,40
		не очень желательно not very desirable	3,41–3,80
		удовлетворительно satisfactorily	3,81–4,20
		желательно preferably	4,21–4,60
		очень желательно very desirable	4,61–5,00

По результатам оптимизации смоделирована поверхность отклика, представленная на рисунке 2.

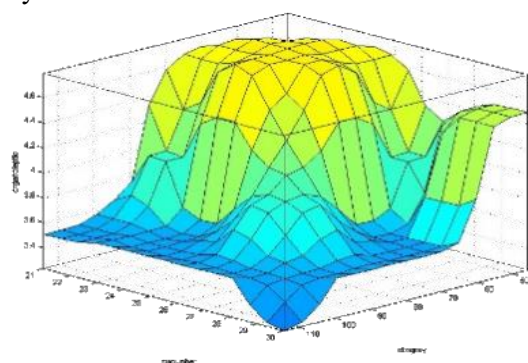


Рисунок 2. Поверхность отклика

Figure 2. Response surface

Анализируя поверхность отклика, можно сделать вывод о том, что оптимальная рецептура желированной продукции содержит количество мяса ската в рецептуре 60–70 г. и массу огурца 22–23 г.

1.4 Исследования химического состава и энергетической ценности ската заливного с овощами

Определен химический состав и рассчитана энергетическая ценность готового продукта – ската заливного, результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6.

Химический состав и энергетическая ценность 100 г. продукции «Скат заливной»

Table 6.

Chemical composition and energy value of 100 g of «Skat jellied» products

Белки, г Proteins, g	Жиры, г Fats, g	Углеводы, г Carbohydrates, g	Вода, г Water, g	Зола, г Zola, g	Энерг. ценность, ккал Energy value, kcal
16,4	0,4	9,8	72,8	0,6	108,4

Данные, представленные в таблице 4, по содержанию белковых веществ, углеводов и липидов, а также энергетической ценности свидетельствуют о диетической направленности созданного продукта.

Обсуждение

В процессе проведенных исследований не только выявлена возможность использования хрящей ската и куриных лап в рецептуре бульона для создания нового желированного рыбомясного кулинарного продукта, но и методами математического планирования эксперимента и обработки данных оптимизированы

основные технологические параметры: соотношение жидкой и плотной частей бульона 2:1 и соотношение лап куриных и хрящей ската 1:1 (таблица 2 и рисунок 1).

Получены отрицательные результаты использования для гелеобразования и получения высоких органолептических показателей желе ряда структурообразователей растительного происхождения (пектины, камедь рожкового дерева, агар-агар). В частности, появление непривлекательного темно-бурого или матового цвета желе, низкие прочностные характеристики (таблица 2).

Вместе с тем, найден эффективный структурообразователь животного происхождения – желатин марки ilbakery 220 bloom дозировкой 5% (таблица 2), который соответствует всем заданным требованиям, предъявляемым к желе для соответствующей кулинарной продукции и по сенсорным показателям, и по прочности, и по температуре плавления геля.

Созданный и оптимизированный композиционный состав нового желированного кулинарного продукта с использованием мало используемого, но ценного мяса ската, мясорыбного желе, огурца и имбиря маринованных вполне можно назвать инновационным и перспективным; поскольку в нём гармонично сочетаются органолептические достоинства, полезная белково-углеводная, лечебно-профилактическая и диетическая составляющая.

Заключение

В результате проведенных исследований:

- выявлена возможность использования хрящей ската и куриных лап в рецептуре бульона для создания нового желированного рыбомясного кулинарного продукта;

- проведены экспериментальные работы по использованию различных структурообразователей растительного и животного происхождения для выбора наиболее приемлемого из них. Экспериментально установлен наиболее эффективный студнеобразователь – желатин говяжий марки ilbakery 220 bloom с дозировкой в 5%, обеспечивающий наилучшие органолептические и физические показатели кулинарного желированного продукта;

- создан инновационный сбалансированный по компонентному и химическому составу желированный кулинарный продукт с использованием мало используемого, но ценного мяса ската, также вторичного пищевого сырья и овощей маринованных.

Литература

- 1 Об утверждении Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года // Информационная сеть «Техэксперт». URL: <https://docs.cntd.ru/document/556353696>
- 2 Распоряжение Правительства РФ от 26 ноября 2019 г. № 2798-р «Об утверждении стратегии развития рыбохозяйственного комплекса РФ на период до 2030 г. и плана мероприятий по ее реализации». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72972854/#1000>
- 3 Правительство Российской Федерации распоряжение от 29 июня 2016 г. № 1364-р // Официальный сайт правительства Российской Федерации. URL: <http://static.government.ru/media/files/9JUDtBOpomoAatAhvT2wJ8UPT5Wq8qIo.pdf>
- 4 Байдалинова Л.С., Ляпустина Е.Е. Выделение натуральных структурообразователей белковой природы из коллагеносодержащего вторичного рыбного сырья // Известия КГТУ. 2018. № 51. С. 45–60.
- 5 Байдалинова Л.С. и др. Активные пептиды рыбной чешуи в гейнерах для спортивного питания // Вестник Международной академии холода. 2014. № 2. С. 48–52.
- 6 Федотова Е.С., Тунгусов Н.Г. Направления использования белоксодержащей соединительной ткани ястыков рыб // Материалы VI Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли» Владивосток, ДГТРУ, 27 ноября 2020 года. Владивосток: ДГТРУ. 2021. С. 293–295.
- 7 Phadke G.G., Rathod N.B., Ozogul F., Elavarasan K. et al. Exploiting of Secondary Raw Materials from Fish Processing Industry as a Source of Bioactive Peptide-Rich Protein Hydrolysates // Marine drugs. 2021. V. 19. №. 9. P. 480.
- 8 Итоги деятельности федерального агентства по рыболовству в 2021 году // Официальный сайт Федерального агентства по рыболовству. URL: https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2022/05/itogi_raboty_rosrybolovstvo_za_2021_god.pdf?ysclid=ld2vr422ev929372033
- 9 Кравченко Д.Г., Асеева Н.Л., Измятинский Д.В. О многовидовом промысле рыб при специализированном лове камбал в подзоне Приморье от мыса Поворотный до мыса Золотой // Вопросы рыболовства. 2021 № 2 (22). С. 59–71.
- 10 Шушкова О.А., Васильева Г.С., Коллерт К.В. Традиционные и новые объекты промысла арктической зоны Российской Федерации в технологиях фаршевых рыбных стерилизованных консервов с улучшенными потребительскими свойствами и обогащенных ценными пищевыми компонентами // Сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса «Студент года 2020» Петрозаводск, 11 мая 2020 года. Петрозаводск: Издательство «Международный центр научного партнерства «Новая Наука». С. 196–207.
- 11 Голубева О.А., Греков Е.О., Титова С.А. Экструзия в технологиях переработки хрящевых рыб Северного бассейна // Вестник МГТУ. Мурманск: Издательство МГТУ. 2019. № 3 (22). С. 271–378.
- 12 Wen L., Kazuhiro U., Yasuaki T., Industrial application of fish cartilaginous tissues // Current Research in Food Science. 2022. №. 5. P. 698–709.
- 13 Сельское хозяйство в России 2021: Статистический сборник // Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/S-X_2021.pdf
- 14 Балансы товарных ресурсов отдельных товаров (видов продукции) за 2021 год // Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13272>
- 15 Овсеев В.Ю. Применение малоценных продуктов переработки птицы в производстве вареных колбас // Современные технологии сельскохозяйственного производства: сборник научных статей по материалам XXIV Международной научно-практической конференции (Гродно, 23 марта, 14 мая 2021 года): к 70 летию образования университета: агрономия, защита растений, технология хранения и переработки сельскохозяйственной продукции. Гродно: ГГАУ. 2021. С. 378–380.
- 16 Муратова Е.И., Толстых С.Г. Проектирование рецептур кондитерских изделий. Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. 32 с.
- 17 Nikitina M.A., Chernukha I.M. Multi-criteria optimization of a product recipe composition // Theory and practice of meat processing. 2018. V. 3. №. 3. P. 89-98. doi: 10.21323/2414-438X-2018-3-3-89-98
- 18 Gómez B., Munekata P.E., Gavahian M., Barba F.J. et al. Application of pulsed electric fields in meat and fish processing industries: An overview // Food research international. 2019. V. 123. P. 95-105. doi: 10.1016/j.foodres.2019.04.047
- 19 He S., Franco C., Zhang W. Functions, applications and production of protein hydrolysates from fish processing co-products (FPCP) // Food Research International. 2013. V. 50. №. 1. P. 289-297. doi: 10.1016/j.foodres.2012.10.031
- 20 Ghaly A.E., Ramakrishnan V.V., Brooks M.S., Budge S.M. et al. Fish processing wastes as a potential source of proteins // Amino acids and oils: A critical review. J. Microb. Biochem. Technol. 2013. V. 5. №. 4. P. 107-129.

References

- 1 On the approval of the Strategy for the development of industry for the processing, utilization and neutralization of production and consumption waste for the period up to 2030. Information network "Techexpert". Available at: <https://docs.cntd.ru/document/556353696> (in Russian).
- 2 Decree of the Government of the Russian Federation No. 2798 r dated November 26, 2019 "On approval of the Strategy for the development of the Fisheries complex of the Russian Federation for the period up to 2030 and the action plan for its implementation". Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72972854/#1000> (in Russian).

- 3 Government of the Russian Federation Order No. 1364 r dated June 29, 2016. Official website of the Government of the Russian Federation. Available at: <http://static.government.ru/media/files/JUDtBOPqmoAatAhvT2wJ8UPT5Wq8qlo.pdf> (in Russian).
- 4 Baidalinova L.S., Lyapustina E.E. Isolation of natural protein structure-forming agents from collagen-containing secondary fish raw materials. *News of KSTU*. 2018. no. 51. pp. 45-60. (in Russian).
- 5 Baidalinova L.S. et al. Active peptides of fish scales in gainers for sports nutrition. *Bulletin of the International Academy of Cold*. 2014. no. 2. pp. 48-52. (in Russian).
- 6 Fedotova E.S., Tungusov N.G. Directions of using the protein-containing connective tissue of fish joints. *Materials of the VI International Scientific and Technical Conference of students, postgraduates and young scientists "Integrated research in the fisheries industry"*. Vladivostok, DGTRU, 2021. pp. 293-295. (in Russian).
- 7 Phadke G.G., Rathod N.B., Ozogul F., Elavarasan K. et al. Exploiting of Secondary Raw Materials from Fish Processing Industry as a Source of Bioactive Peptide-Rich Protein Hydrolysates. *Marine drugs*. 2021. vol. 19. no. 9. pp. 480.
- 8 Results of the activities of the Federal Agency for Fisheries in 2021. Official website of the Federal Agency for Fisheries. Available at: https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2022/05/itogi_raboty_rosrybolovstvo_za_2021_god.pdf?ysclid=ld2vr422ev929372033 (in Russian).
- 9 Kravchenko D.G., Aseeva N.L., Izmyatinsky D.V. On multi-species fishing with specialized flounder fishing in the Primorye subzone from Cape Pivotny to Cape Zolotoy. *Questions of fishing*. 2021. no. 2 (22). pp. 59-71. (in Russian).
- 10 Shushkova O.A., Vasilyeva G.S., Kollert K.V. Traditional and new fishing objects of the Arctic zone of the Russian Federation in technologies of minced sterilized canned fish with improved consumer properties and enriched with valuable food components. *Collection of articles of the International Research Competition "Student of the Year 2020"*. Petrozavodsk, Publishing House "International Center for Scientific Partnership "New Science". pp. 196-207. (in Russian).
- 11 Golubeva O.A., Grekov E.O., Titova S.A. Extrusion in the processing technologies of cartilaginous fish of the Northern Basin. *Bulletin of the Moscow State Technical University. Murmansk, MSTU Publishing House*. 2019. no. 3 (22). pp. 271-378. (in Russian).
- 12 Wen L., Kazuhiro U., Yasuaki T., Industrial application of fish cartilaginous tissues. *Current Research in Food Science*. 2022. no. 5. pp. 698-709.
- 13 Agriculture in Russia 2021: Statistical Collection. Official website of the Federal State Statistics Service. Available at: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/S-X_2021.pdf (in Russian).
- 14 Balances of commodity resources of individual goods (types of products) for 2021. Official website of the Federal State Statistics Service. Available at: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13272> (in Russian).
- 15 Ovseets V.Yu. The use of low-value poultry processing products in the production of boiled sausages. *Modern technologies of agricultural production: collection of scientific articles based on the materials of the XXIV International Scientific and Practical Conference (Grodno, March 23, May 14, 2021): to the 70th anniversary of the University: agronomy, plant protection, technology of storage and processing of agricultural products*. Grodno, GGAU. 2021. pp. 378-380. (in Russian).
- 16 Muratova E.I., Tolstykh S.G. Design of confectionery recipes. Tambov, Publishing house of GOU VPO TSTU, 2010. 32 p. (in Russian).
- 17 Nikitina M.A., Chernukha I.M. Multi-criteria optimization of a product recipe composition. *Theory and practice of meat processing*. 2018. vol. 3. no. 3. pp. 89-98. doi: 10.21323/2414-438X-2018-3-3-89-98
- 18 Gómez B., Munekata P.E., Gavahian M., Barba F.J. et al. Application of pulsed electric fields in meat and fish processing industries: An overview. *Food research international*. 2019. vol. 123. pp. 95-105. doi: 10.1016/j.foodres.2019.04.047
- 19 He S., Franco C., Zhang W. Functions, applications and production of protein hydrolysates from fish processing co-products (FPCP). *Food Research International*. 2013. vol. 50. no. 1. pp. 289-297. doi: 10.1016/j.foodres.2012.10.031
- 20 Ghaly A.E., Ramakrishnan V.V., Brooks M.S., Budge S.M. et al. Fish processing wastes as a potential source of proteins. Amino acids and oils: A critical review. *J. Microb. Biochem. Technol*. 2013. vol. 5. no. 4. pp. 107-129.

Сведения об авторах

Максим П. Новожилов аспирант, кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, m.p.novozhilov@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7781-4051>

Владимир А. Гроховский д.т.н., зав. кафедрой, кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, v.grokhosky@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-1892-0257>

Юлия В. Шокина д.т.н., профессор, кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, shokinayuv@mstu.edu.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-5869-2180>

Information about authors

Maxim P. Novozhilov graduate student, food production technology department, Murmansk State Technical University, str. Sport, 13, Murmansk, 183010, Russia, m.p.novozhilov@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7781-4051>

Vladimir A. Grohovskiy Dr. Sci. (Engin.), head of department, food production technology department, Murmansk State Technical University, str. Sport, 13, Murmansk, 183010, Russia, v.grokhosky@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-1892-0257>

Yulia V. Shokina Dr. Sci. (Engin.), professor, food production technology department, Murmansk State Technical University, str. Sport, 13, Murmansk, 183010, Russia, shokinayuv@mstu.edu.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-5869-2180>

Максим М. Попов магистр, кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, maks.po2010@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6735-5795>

Илья Н. Бензик к.т.н., старший преподаватель, кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, benzikin2@mstu.edu.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1426-3824>

Екатерина А. Косарева обучающийся, кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, katakosar013@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-6779-7654>

Maxim M. Popov master, food production technology department, Murmansk State Technical University, str. Sport, 13, Murmansk, 183010, Russia, maks.po2010@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6735-5795>

Ilya N. Benzik Cand. Sci. (Engin.), senior lecturer, food production technology department, Murmansk State Technical University, str. Sport, 13, Murmansk, 183010, Russia, benzikin2@mstu.edu.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1426-3824>

Ekaterina A. Kosareva student, food production technology department, Murmansk State Technical University, str. Sport, 13, Murmansk, 183010, Russia, katakosar013@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-6779-7654>

Вклад авторов

Максим П. Новожилов написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат, провел эксперимент

Владимир А. Гроховский планирование эксперимента и консультация в ходе исследования, корректирование рукописи

Юлия В. Шокина генеральная идея исследования, консультация в ходе исследования

Максим М. Попов консультация в ходе исследования

Илья Н. Бензик, Екатерина А. Косарева обзор литературных источников, корректирование рукописи

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

Maxim P. Novozhilov experiment planning and consultation during the study wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism, conducted an experiment, performed computations

Vladimir A. Grohovskiy experiment planning and consultation during the study, correct the manuscript

Yulia V. Shokina the general idea of the study, consultation during the study

Maxim M. Popov consultation during the study

Ilya N. Benzik, Ekaterina A. Kosareva review of literature sources, correct the manuscript

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 17/01/2023	После редакции 13/02/2023	Принята в печать 01/03/2023
Received 17/01/2023	Accepted in revised 13/02/2023	Accepted 01/03/2023

Принципы рационального питания в жизни студента

Вера Н. Еременко ¹	vera_er_ko@mail.ru	 0000-0001-5439-6168
Ольга В. Синько ¹	olgasinko73@yandex.ru	 0000-0001-8784-7279
Ксения С. Агеева ¹	vera220903@gmail.com	 0000-0003-0123-1057

¹ Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия

Аннотация. В современном мире человек обязан решать разнообразные задачи, связанные с его профессиональной деятельностью, семейной жизнью и культурным развитием. В погоне за успехом он может забывать о необходимости поддерживать здоровье своего организма. Однако каждый осознаёт, что ему необходим здоровый сон, физическая активность в течение дня и еда, удовлетворяющая потребность в разнообразных веществах. Наше тело способно бесперебойно работать и регулировать все жизненные процессы только в том случае, если мы будем тщательно о нем заботиться. Забота о здоровье – это целая система действий, выполняя которые человек может поспособствовать улучшению состояния организма и профилактике различных заболеваний. Важным аспектом здорового образа жизни является питание, оно должно соответствовать всем потребностям организма в питательных веществах. Питание – ключ к здоровью, и в настоящее время это осознает всё большее количество людей, но в этой статье мы рассматриваем именно категорию студентов 2 курса. Ритм жизни студентов достаточно специфичен, это объясняется наличием объемных домашних работ и курсовых проектов, стрессом в периоды экзаменов и высокой загруженностью в течение семестра. Все сложности студенческой жизни отвлекают внимание учащихся от того, что они едят. Тем более, в современном мире существует проблема, связанная с избытком дешевой, но неполноценной пищи, поэтому часто рацион студентов составлен неграмотно. Для решения этой задачи необходимо выяснить, что студенты знают о правильном питании. В данной статье был проанализирован вопрос об осведомленности студентов о принципах рационального питания и изучены данные опроса о питании студентов.

Ключевые слова: рациональное питание, сбалансированное питание, здоровый образ жизни, режим питания, концепции здорового питания, питание студентов, баланс энергии, здоровье, культура питания.

Principles of rational nutrition in a student's life

Vera N. Eremenko ¹	vera_er_ko@mail.ru	 0000-0001-5439-6168
Olga V. Sinko ¹	olgasinko73@yandex.ru	 0000-0001-8784-7279
Ksenia S. Ageeva ¹	vera220903@gmail.com	 0000-0003-0123-1057

¹ Kuban State Technological University, Moskovskaya str., 2, Krasnodar. 350072, Russia

Abstract. In the modern world, a person is obliged to solve various tasks related to his professional activity, family life and cultural development. In pursuit of success, he may forget about the need to maintain the health of his body. However, everyone realizes that he needs a healthy sleep, physical activity during the day and food that satisfies the need for a variety of substances. Our body is able to work smoothly and regulate all life processes only if we take care of it carefully. Taking care of health is a whole system of actions, performing which a person can contribute to improving the state of the body and preventing various diseases. An important aspect of a healthy lifestyle is nutrition, it must meet all the needs of the body in nutrients. Nutrition is the key to health, and currently an increasing number of people are realizing this, but in this article we are considering the category of 2nd year students. The rhythm of students' life is quite specific, this is explained by the presence of voluminous homework and course projects, stress during exams and high workload during the semester. All the difficulties of student life distract students' attention from what they eat. Moreover, in the modern world there is a problem associated with an excess of cheap, but inferior food, so often the diet of students is illiterate. To solve this problem, it is necessary to find out what students know about proper nutrition. In this article, the question of students' awareness of the principles of rational nutrition was analyzed and the survey data on students' nutrition were studied.

Keywords: rational nutrition, balanced nutrition, healthy lifestyle, diet, healthy nutrition concepts, student nutrition, energy balance, health, nutrition culture.

Введение

Одной из самых главных и сложных проблем современного общества [1, 2], которая оказывает непосредственное влияние на жизнь и здоровье населения земного шара, является обеспечение людей полноценной пищей, удовлетворяющей всем потребностям организма в жизненно необходимых веществах:

Источниках энергии – белках, жирах, углеводах.

Незаменимых аминокислотах

Полиненасыщенных жирных кислотах

Для цитирования

Еременко В.Н., Синько О.В., Агеева К.С. Принципы рационального питания в жизни студента // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 48–53. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-48-53

Витаминах

Минеральных элементах

Воде

Питание – сложный и многофакторный процесс, его изучением занимаются различные науки. Исследования в области питания показали, что для того чтобы обеспечить организм всеми необходимыми веществами, следует руководствоваться некоторыми правилами, так как значение имеет не только состав продуктов, но и их количество, а также время приёма пищи [3, 5].

For citation

Eremenko V.N., Sinko O.V., Ageeva K.S. Principles of rational nutrition in a student's life. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 48–53. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-48-53

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

Кроме того, мы нуждаемся не только в соединениях, которые усваиваются в процессе пищеварения. Значение имеют и не перевариваемые вещества, называемые пищевыми волокнами. В основе здорового образа жизни лежат принципы рационального питания, заключающиеся в следующем:

Энергия, поступающая в организм, должна быть в адекватном соотношении с энергией, им расходуемой.

Потребности организма в соотношении и количестве пищевых веществ должны быть удовлетворены.

Пища должна быть рационально распределена в течение дня между ее приемами.

Первый принцип рационального питания основан на том, что энергия, которую получает организм в процессе питания, затрачивается на разнообразные функции, поддерживающие жизнедеятельность человеческого организма [4]. В зависимости от активности образа жизни, для осуществления мышечной деятельности требуется энергия, количество которой зависит от характера и количества совершаемой работы. Итак, для обеспечения нормального функционирования организма необходимо создать равновесие между энергией, получаемой с пищей, и энергией, расходуемой в процессе жизнедеятельности.

В соответствии со следующим принципом рационального питания потребности организма во всех пищевых веществах должны быть полностью удовлетворены. Обеспечить организм всеми макро- и микронутриентами можно с помощью разнообразного питания.

Для последнего принципа существует 3 основных правила:

Питание должно быть дробным, 3–4 приема пищи в день.

Питание должно быть регулярным и учитывать факторы, необходимые для нормального пищеварения.

При каждом приеме пищи продукты должны быть рационально подобраны.

В течение дня пища должна быть оптимально распределена, ужин должен составлять не более третьей части от всего дневного рациона.

Оптимальное распределение пищи в течение дня дифференцируется в зависимости от возраста, пола, наличия или отсутствия физической активности и ритма жизни. Для молодых людей наиболее рациональным является потребление пищи 4 раза в день [10]. Но в современном мире существует тенденция к увеличению числа приемов пищи в течение дня. Особенно распространена такая практика для студентов, которые, чаще всего, не имеют полноценных приемов пищи, так как значительную часть времени они проводят

на занятиях. Однако наука не стоит на месте, и исследования в области пищевой химии показали, что к данной тенденции можно приспособиться. Пищевая промышленность способна обеспечить людей продуктами высокого качества, способными удовлетворить потребности организма во всех пищевых веществах [8, 9]. Таким образом, сбалансированное и рациональное питание студента способствует его нормальному росту и развитию, улучшению состояния здоровья, укреплению иммунитета и усилению сопротивляемости организма вредным факторам внешней среды.

В современном мире принципы рационального питания среди учащихся высших учебных заведений в большинстве случаев не соблюдаются, а значит потребности организма в питательных компонентах и веществах не могут быть удовлетворены. Такая ситуация представляет собой проблему, ведь состояние здоровья населения, особенно молодёжи, определяет благосостояние страны. Студенты представляют собой социальную группу, которую объединяет возраст, ритм жизни, условия труда и быта. Сложности с соблюдением принципов рационального питания связаны с особенностями ритма жизни, регулярным питанием вне дома, длительностью занятий, недостатком времени, неосведомленностью о принципах правильного питания и влияния питания на здоровье, хроническим недосыпанием, нарушением режима дня и отдыха. Ситуация усугубляется в период сессии, что в совокупности приводит к проблемам со здоровьем у студентов, ухудшению их самочувствия [15, 16]. Многие люди в юном возрасте не уделяют должного внимания своему здоровью и не осознают, что правильное питание – это лучшая инвестиция для нашего тела и ума, которую мы можем сделать.

Цель работы – анализ рациона студента и изучение влияния принципов сбалансированного питания на его здоровье.

Материалы и методы

Для проведения исследования была выбрана группа студентов 18–21 лет, ритм и образ жизни которых отличается высокой умственной активностью во время учебы и слабыми физическими нагрузками в течение дня. Стоит отметить, что исследование проводилось в период интенсивной подготовки к экзаменам, когда студенты активно учат материал и получают интенсивную умственную нагрузку и, в то же время, ведут малоподвижный образ жизни. Изучение различных дисциплин и подготовка к сессии требует ответственности и усидчивости от студента, к тому же студентам свойственно переживать за предстоящие экзамены, из-за чего усиливается фактор стресса. В такое непростое время для студента рацион питания студента является особенно интересным объектом для изучения.

Из-за недостатка времени в течение дня студенты часто пренебрегают своим здоровьем и потребляют высококалорийную и сытную, но малополезную пищу. В таких продуктах содержится много простых углеводов, различных пищевых добавок и достаточно мало белков со сбалансированным аминокислотным составом и полиненасыщенных жирных кислот. Регулярное употребление однообразной пищи с низкой биологической ценностью может плохо отразиться на здоровье молодого организма. Таким образом, неправильное питание может привести к разнообразным заболеваниям.

Для исследования было необходимо проанализировать питание студентов, в ходе исследования были использованы такие методы, как анализ, анкетирование, интерпретация, обобщение. Анкетирование было проведено среди студентов 2 курса Кубанского государственного технологического университета. После чего результаты анкетирования были проанализированы с целью узнать, что включает в себя рацион современного студента, что студенты знают о принципах рационального питания и как соблюдение этих принципов отразится на их здоровье.

Результаты

В ходе исследования было проведено анкетирование, в котором участвовало приблизительно 180 женщин и 150 мужчин в возрастной категории от 18 лет до 21 года.

В первом пункте был задан вопрос о влиянии питания на здоровье. 75% опрошенных считают, что питание является важнейшим фактором влияния на формирование здоровья; 10% ответили, что питание имеет важную, но не самую главную роль для здоровья и лишь 5% не заинтересованы в вопросе питания.

Также в процессе опроса мы узнали, что 70% студентов заинтересованы в том, чтобы улучшить культуру своего питания и узнать о принципах сбалансированного питания подробнее.

Далее в ходе анкетирования мы спросили, что студенты знают о принципах рационального питания. 55% студентов известно о принципе баланса энергии; 25% знает о том, что потребности организма в соотношении и количестве пищевых веществ должны быть удовлетворены и 20% знают о принципе распределения пищи в течение дня.

В следующем пункте мы узнали, что лишь 20% студентов считают свой образ жизни правильным; 60% ответило “частично”, 10% – “нет”, 10% – “не знаю”.

Результаты следующего вопроса стали неожиданными, так как 40% студентов регулярно злоупотребляют перекусами; 30% предпочитают сбалансированную домашнюю еду; 25% сочетают в рационе и полноценную пищу и различные перекусы 5% затруднились ответить на этот вопрос.

В следующем пункте мы выясняли, что 30% студентов получают информацию о здоровом образе жизни во время занятий в университете; 55% учащихся узнают о здоровом образе жизни из Интернета и 15% из иных источников, таких как СМИ, различная литература и рассказы родителей и сверстников.

Следующий вопрос показал, что 65% студентов имеют физическую нагрузку 1–2 раза в неделю; 30% занимаются спортом 3–4 раза в неделю и 5% – каждый день.

А также выяснилось, что 50% студентов питается 5–6 раз в день, учитывая перекусы; 25% питается 3–4 раза в день и 25% не следят за количеством приемов пищи и питаются в любое удобное время.

Результаты следующих вопросов указывают на то, что 80% студентов не обращают внимания на состав продуктов.

Обсуждение

На основании проведенного опроса можно сделать вывод о том, что тема питания интересует студентов, но все принципы рационального питания знакомы не всем, однако многие осознают, что питание играет значительную роль в жизни человека. Также студентам интересно узнать о правильном питании больше. Они имеют недостаточно информации о здоровом образе жизни, а основная ее часть получена на просторах Интернета, где, как всем известно, немало и ложных фактов, способных ввести в заблуждение. Чаще всего студенты соблюдают принцип баланса энергии, и реже 2 других принципа. Это говорит о том, что студенты больше интересуются калорийностью потребляемых ими продуктов и меньше их составом. Также стоит отметить, что физическая активность и регулярные нагрузки имеют значение для соблюдения принципа баланса энергии. Спорт и физическая активность – это хороший способ потратить энергию, а также регулярные тренировки способствуют профилактике различных заболеваний и нивелировать количество стресса.

Половина опрошенных питается 5–6 раз в день, что подтверждает наличие тенденции к увеличению числа приёмов пищи. Большая часть учащихся часто питается вне дома, из-за чего они не могут контролировать качество потребляемой ими пищи. Отсутствие грамотного рациона питания может привести к серьёзным последствиям. Сами студенты считают, что их питание может быть улучшено. А сделать это можно, ознакомив их с принципами рационального питания. Если просвещать студентов на тему здорового образа жизни и правильного питания, то большинство задумается о том, что и когда они едят.

Исходя из данного опроса мы узнали, осведомлены ли студенты о том, какие существуют принципы рационального питания и какое влияние они оказывают на здоровье. Анализируя результаты анкеты, можно сделать вывод о том, что большинство студентов интересуется вопросом здорового образа жизни и стремится питаться правильно и полноценно.

В процессе получения результатов исследования мы пришли к единому мнению о том, что студентам крайне важно объяснять основы теории сбалансированного питания, так как соблюдение ее принципов оказывает положительное влияние на здоровье. С помощью корректировки рациона и регулярной физической активности можно избежать многих заболеваний.

Заключение

В жизни студента происходит много интереснейших открытий, которые помогают ему узнавать этот мир и самого себя. В стремлении к совершенству невозможно не обратить внимания на состояние своего здоровья, которое мы можем поддерживать при помощи здорового и правильного питания. Принципы рационального питания лежат в основе здорового образа жизни. Студенты, которые заботятся о своём организме и хотят сохранить его здоровье на долгие годы, придерживаются этих принципов.

Тем, кто только на пути к составлению полноценного рациона, полезным будет изучение состава пищевых продуктов, формирование удобного графика приёмов пищи и определение индивидуальной потребности в энергии. Для корректировки рациона стоит отдать предпочтение еде с хорошим составом вместо продуктов с высокой энергетической ценностью и малым количеством незаменимых пищевых веществ, несмотря на то, что полки магазинов ломятся от вкусной, но вредной еды.

Образ жизни современного человека меняется и эти изменения отражаются на культуре питания. Количество приёмов пищи у студентов увеличилось и это должно привести к изменениям в пищевой промышленности. Популярность перекусов неоспорима, поэтому необходимо обеспечить людей полезными перекусами, расфасованными в удобную мелкую упаковку. Также стоит продвигать в массы идею о том, что лучше отдавать предпочтение полноценной и качественной пище, приготовленной собственноручно или в каком-либо заведении, чем перекусам из магазинов, состав большинства которых оставляет желать лучшего.

В данном исследовании мы выяснили, что студенты знают о правильном и рациональном питании незначительное количество информации, но изменить это возможно, прививая культуру здорового образа жизни и правильного питания.

Литература

- 1 Мицык В.Ю., Невольниченко А.Ф. Невольниченко А.Ф. Рациональное питание и пищевые продукты. Киев: Урожай, 1993. 335 с.
- 2 Бакуменко О.Е., Доронин А.Ф. Изучение фактического питания учащихся вуза // Пищевая промышленность. 2008. С. 66–67.
- 3 Бароненко В.А., Рапопорт Л.А. Здоровье и физическая культура студента. Москва.: Альфа-М, 2003. 352 с.
- 4 Нечаев А.П. Пищевая химия. СПб.: ГИОРД, 2007. 640 с.
- 5 Власова Ж.Н., Жукова Т.А. Формирование здорового образа жизни студентов // Вестник Бурятского государственного университета. 2013. № 13. С. 19–21.
- 6 Кашаева О.И., Крижананскайте Г.А., Шепельков А.А. Изучение качества питания студенческой молодежи // NovaInfo (НоваИнфо). 2014. № 24. URL: <http://novainfo.ru>.
- 7 Петрова Т.Н., Зуйкова А.А. Оценка фактического питания студентов медицинского вуза: проблемы и пути их решения // Вестник новых медицинских технологий. 2013. Т. 20, № 2. С. 72–77.
- 8 Горохов В.А., Горохова С.Н. Лечебно-сбалансированное питание – путь к здоровью и долголетию. СПб.: Питер, 2011. 278 с.
- 9 Жигулина В.В. Питание студентов и их отношение к проблемам здоровья // Проблемы современной медицины: актуальные вопросы: материалы II Международной научно-практической конференции. Вып. 2. Красноярск, 2015. С. 132–133.
- 10 Жигулина В.В. Формирование здорового образа жизни студентов ТГМУ // Наука сегодня: сб. науч. тр. по матер. VII междунар. науч.-практ. конф. Вологда, 2015. Ч. 4. С. 66–68.
- 11 Данилиди К.Г., Снимщикова О.А., Ткач А.С., Балацкая О.А. Комбинированная физическая активность для обеспечения здоровья и работоспособности // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2021. № 12. (202). С. 119–122.
- 12 Кайшева А.И., Снимщикова О.А., Десенко О.П., Кузнецова М.А. Особенности организации тренировочного процесса, влияющие на физическую подготовленность студентов // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2021. № 12. (202). С. 166–168.
- 13 Снимщикова О.А. Возможности специальной педагогики комплексном коррекционном пространстве // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2022. № 4. (206). С. 400–403.
- 14 Снимщикова О.А., Ковтун Р.И. Особенности организации условий проведения спортивных занятий для студентов с ограниченными возможностями // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2022. № 5. (205). С. 374–379.

- 15 Питкин В.А., Синько О.В., Хрипко И.А. Роль правильного питания в жизни студента // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2(92). С. 110–114. doi: 10.20914/2310-1202-2022-2-110-114
- 16 Питкин В.А., Холодная Л.А., Сумарокова Ю.В. Физическая культура и оздоровительные технологии в физическом воспитании студентов // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2022. № 7(209). С. 321–327. doi: 10.34835/issn.2308-1961.2022.7.p321-327
- 17 Кайшева А.И., Лысенко Н.В., Еременко В.Н. и др. Влияние питания на функциональное состояние человека, занимающегося физической культурой // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2021. № 2. С. 243–247.
- 18 Еременко В.Н. и др. Формирование безопасного и здорового образа жизни в образовательной среде. Краснодар, 2018.
- 19 Еременко В.Н., Медведева А.С., Левченко А.А. Роль физической культуры в жизни человека // Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2019. Т. 8. № 3 (28). С. 353–355.
- 20 Еременко В.Н., Синько О.В., Федорова Н.П. Роль физкультуры в жизни молодежи // E-Scio. 2019. № 6 (33). С. 303–310.
- 21 Еременко В.Н., Левченко А.А. Влияние физических упражнений на умственную производительность студентов // Физическая культура и спорт в высших учебных заведениях: актуальные вопросы теории и практики: сборник статей по материалам национальной научно-практической конференции, посвященной 70-летию образования кафедры физического воспитания Кубанского ГАУ. Краснодар, 2020. С. 507–512.
- 22 Дьякова Н.А., Малимоненко П.С., Еременко В.Н. Проблемы физического воспитания среди студентов ВУЗа в период глобализации // Физическая культура и спорт в высших учебных заведениях: актуальные вопросы теории и практики: сборник статей по материалам национальной научно-практической конференции, посвященной 70-летию образования кафедры физического воспитания Кубанского ГАУ. Краснодар, 2020. С. 67–71.
- 23 Еременко В.Н., Левченко А.А., Синько О.В., Басов Е.Н. Влияние эпидемии на физическое и психическое состояние людей // Филологические и социокультурные вопросы науки и образования: сборник материалов V международной научно-практической очно-заочной конференции. 2020. С. 881–888.

References

1. Mitsyk V.Yu., Nevolnichenko A.F. Nevolnichenko A.F. Rational nutrition and food products. Kiev, Harvest, 1993. 335 p. (in Russian).
2. Bakumenko O.E., Doronin A.F. The study of the actual nutrition of university students. Food industry. 2008. pp. 66-67. (in Russian).
3. Baronenko V.A., Rapoport L.A. Student's health and physical culture. Moscow, Alfa-M, 2003. 352 p. (in Russian).
4. Nechaev A.P. Food chemistry. St. Petersburg, GIOR, 2007. 640 p. (in Russian).
5. Vlasova Zh.N., Zhukova T.A. Formation of a healthy lifestyle of students. Bulletin of the Buryat State University. 2013. no. 13. pp. 19-21. (in Russian).
6. Kashaeva O.I., Krizhanaukaite G.A., Shepelkov A.A. Studying the quality of nutrition of student youth. NovaInfo (NovaInfo). 2014. no. 24. Available at: <http://novainfo.ru> (in Russian).
7. Petrova T.N., Zuikova A.A. Assessment of the actual nutrition of medical university students: problems and solutions. Bulletin of New Medical Technologies. 2013. vol. 20. no. 2. pp. 72-77. (in Russian).
8. Gorokhov V.A., Gorokhova S.N. Therapeutic and balanced nutrition - the way to health and longevity. St. Petersburg, Peter, 2011. 278 p. (in Russian).
9. Zhigulina V.V. Nutrition of students and their attitude to health problems. Problems of modern medicine: topical issues: materials of the II International Scientific and practical Conference. Issue 2. Krasnoyarsk, 2015. pp. 132-133. (in Russian).
10. Zhigulina V.V. Formation of a healthy lifestyle of TSMU students. Nauka segodnya: collection of scientific tr. on mater. VII International scientific and practical conference. Vologda, 2015. Part 4. pp. 66-68. (in Russian).
11. Danilidi K.G., Snimshchikova O.A., Tkach A.S., Balatskaya O.A. Combined physical activity to ensure health and efficiency. Scientific notes of the P.F. Lesgaft University. 2021. no. 12. (202). pp. 119-122. (in Russian).
12. Kaisheva A.I., Snimshchikova O.A., Desenko O.P., Kuznetsova M.A. Features of the organization of the training process affecting the physical fitness of students. Scientific notes of the P.F. Lesgaft University. 2021. no. 12. (202). pp. 166-168. (in Russian).
13. Snimshchikova O.A. Possibilities of special pedagogy in a complex correctional space. Scientific notes of the P.F. Lesgaft University. 2022. no. 4. (206). pp. 400-403. (in Russian).
14. Snimshchikova O.A., Kovtun R.I. Features of the organization of conditions for sports activities for students with disabilities. Scientific notes of the P.F. Lesgaft University. 2022. no. 5. (205). pp. 374-379. (in Russian).
15. Pitkin V.A., Sinko O.V., Khripko I.A. The role of proper nutrition in a student's life. Proceedings of VSUET. 2022. vol. 84. no. 2(92). pp. 110-114. doi: 10.20914/2310-1202-2022-2-110-114 (in Russian).
16. Pitkin V.A., Kholodnaya L.A., Sumarokova Yu.V. Physical culture and health-improving technologies in physical education of students. Scientific notes of the P.F. Lesgaft University. 2022. no. 7(209). pp. 321-327. doi: 10.34835/issn.2308-1961.2022.7.p321-327 (in Russian).
17. Kaisheva A.I., Lysenko N.V., Eremenko V.N. et al. The influence of nutrition on the functional state of a person engaged in physical culture. Nauka. Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin). 2021. no. 2. pp. 243-247. (in Russian).
18. Eremenko V.N. et al. Formation of a safe and healthy lifestyle in an educational environment. Krasnodar, 2018. (in Russian).

19. Eremenko V.N., Medvedeva A.S., Levchenko A.A. The role of physical culture in human life. Azimut of scientific research: pedagogy and psychology. 2019. vol. 8. no. 3 (28). pp. 353-355. (in Russian).

20. Eremenko V.N., Sinko O.V., Fedorova N.P. The role of physical education in the life of youth. E-Scio. 2019. no. 6 (33). pp. 303-310. (in Russian).

21. Eremenko V.N., Levchenko A.A. Influence of physical exercises on mental performance of students. Physical culture and sport in higher educational institutions: topical issues of theory and practice: a collection of articles based on the materials of the national scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the formation of the Department of Physical Education of the Kuban State University. Krasnodar, 2020. pp. 507-512. (in Russian).

22. Dyakova N.A., Malimonenko P.S., Eremenko V.N. Problems of physical education among university students in the period of globalization. Physical culture and sport in higher educational institutions: topical issues of theory and practice: a collection of articles based on the materials of the national scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the formation of the Department of Physical Education of the Kuban State University. Krasnodar, 2020. pp. 67-71. (in Russian).

23. Eremenko V.N., Levchenko A.A., Sinko O.V., Basov E.N. The impact of the epidemic on the physical and mental state of people. Philological and socio-cultural issues of science and education: a collection of materials of the V International scientific and practical correspondence conference. 2020. pp. 881-888. (in Russian)

Сведения об авторах

Вера Н. Еременко старший преподаватель, кафедра физического воспитания и спорта, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, vera_er_ko@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5439-6168>

Ольга В. Синько преподаватель, кафедра физического воспитания и спорта, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, olgasinko73@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8784-7279>

Ксения С. Агеева студент, кафедра физического воспитания и спорта, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, vera220903@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-0123-1057>

Information about authors

Vera N. Eremenko senior lecturer, physical education and sports department, Kuban State Technological University, Moskovskaya str., 2 Krasnodar, 350072, Russia, vera_er_ko@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5439-6168>

Olga V. Sinko lecturer, physical education and sports department, Kuban State Technological University, Moskovskaya str., 2 Krasnodar, 350072, Russia, olgasinko73@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8784-7279>

Ksenia S. Ageeva student, physical education and sports department, Kuban State Technological University, Moskovskaya str., 2 Krasnodar, 350072, Russia, vera220903@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-0123-1057>

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 10/01/2023	После редакции 02/02/2023	Принята в печать 22/02/2023
Received 10/01/2023	Accepted in revised 02/02/2023	Accepted 22/02/2023

Физиологическая роль катехинов зеленого чая

Ольга А. Соболева	¹	soboleva.olga88@ya.ru	 0000-0001-7183-6647
Варвара И. Минина	^{1,2}	vminina@mail.ru	 0000-0003-3485-9123
Екатерина Е. Воробьева	²	89515923860k@gmail.com	 0000-0001-6362-7589
Ирина С. Милентьева	²	irazumnikova@mail.ru	 0000-0002-3536-562X
Евгения А. Астафьева	³	astafeva.evgenia@ya.ru	 0000-0002-5841-6311

1 Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, пр. Советский, 18, г. Кемерово, 650000, Россия

2 Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650043, Россия

3 Кемеровский государственный медицинский университет Минздрава РФ, ул. Ворошилова, 22а, г. Кемерово, 650056, Россия

Аннотация. Зеленый чай – один из самых популярных напитков, потребляемых в мире. Важными компонентами, содержащимися в зеленом чае и обладающие антиоксидантными и антиканцерогенными свойствами, являются катехины – органические вещества, относящиеся к классу полифенольных соединений. Главным образом в зеленом чае содержатся 4 основных катехина: (-)-эпикатехин, (-)-эпикатехин-3-галлат, (-)-эпигаллокатехин и (-)-эпигаллокатехин-3-галлат. В данном обзоре обобщены результаты основных исследований, выполненных преимущественно за последние 5 лет, в которых приводятся доказательства, что катехины, содержащиеся в зеленом чае, защищают от ультрафиолетового излучения, способны улучшить качество жизни пациентов, страдающих онкологическими, сердечно-сосудистыми, нейродегенеративными, вирусными, инфекционными заболеваниями, ожирением и рядом других патологий, а также служить мерой профилактики данных заболеваний у здоровых индивидуумов. Показано, что самым мощным катехином, содержащимся в зеленом чае, является (-)-эпигаллокатехин-3-галлат. Описаны антиканцерогенные эффекты (-)-эпигаллокатехин-3-галлата в случае возникновения рака простаты, рака молочной железы, колоректального рака. Мощная антиоксидантная активность катехинов может лечь в основу профилактики развития инфекционных и вирусных заболеваний, а также улучшить качество жизни пациентов с метаболическим синдромом и ожирением. Таким образом, зеленый чай является не только тонизирующим напитком, но и важным средством профилактики и лечения заболеваний человека, в патогенезе которых важную роль играет свободнорадикальное окисление и окислительный стресс. Сферами практического применения катехинов зеленого чая может быть терапия злокачественных опухолей (во время курса лучевой или химиотерапии), лечение вирусных, инфекционных, сердечно-сосудистых и нейродегенеративных заболеваний, защита кожи от действия ультрафиолетовых лучей и проч.

Ключевые слова: полифенолы, катехины, зеленый чай, антиоксиданты, (-)-эпигаллокатехин-3-галлат, заболевания.

The physiological role of green tea catechins

Olga A. Soboleva	¹	soboleva.olga88@ya.ru	 0000-0001-7183-6647
Varvara I. Minina	^{1,2}	vminina@mail.ru	 0000-0003-3485-9123
Ekaterina E. Vorobyeva	²	89515923860k@gmail.com	 0000-0001-6362-7589
Irina S. Milentyeva	²	irazumnikova@mail.ru	 0000-0002-3536-562X
Evgenia A. Astafeva	³	astafeva.evgenia@ya.ru	 0000-0002-5841-6311

1 Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the RAS, Sovetsky av., 18, Kemerovo, 650000, Russia

2 Kemerovo State University, Krasnaya st., 6, Kemerovo, 650043, Russia

3 Kemerovo State Medical University, Voroshilova St., 22a, Kemerovo, 650056, Russia

Abstract. Green tea is one of the most popular drinks consumed in the world. Important components contained in green tea and having antioxidant and anticarcinogenic properties are catechins - organic substances belonging to the class of polyphenolic compounds. Green tea contains 4 main catechins: (-)-epicatechin, (-)-epicatechin-3-gallate, (-)-epigallocatechin and (-)-epigallocatechin-3-gallate. This review summarizes the results of key studies, predominantly performed over the last 5 years, which provide evidence that catechins in green tea protect against ultraviolet radiation, can improve the quality of life of patients suffering from cancer, cardiovascular, neurodegenerative, viral, infectious diseases, obesity and a number of other pathologies, as well as serve as a measure for the prevention of these diseases in healthy individuals. The most potent catechin found in green tea has been shown to be (-)-epigallocatechin-3-gallate. The anticarcinogenic effects of (-)-epigallocatechin-3-gallate in the case of prostate cancer, breast cancer, colorectal cancer are presented. The powerful antioxidant activity of catechins can form the basis for the prevention of the development of infectious and viral diseases, as well as improve the quality of life of patients with metabolic syndrome and obesity. Thus, green tea is not only a tonic drink, but also an important tool for the prevention and treatment of human diseases, in the pathogenesis of which free radical oxidation and oxidative stress play an important role. The areas of practical application of green tea catechins can be the treatment of malignant tumors (during a course of chemotherapy or radiation therapy), the treatment of viral, infectious and cardiovascular diseases, skin protection from ultraviolet rays, etc.

Keywords: polyphenols, catechins, green tea, antioxidants, (-)-epigallocatechin-3-gallate, diseases.

Для цитирования

Соболева О.А., Минина В.И., Воробьева Е.Е., Милентьева И.С., Астафьева Е.А. Физиологическая роль катехинов зеленого чая // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 54–63. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-54-63

For citation

Soboleva O.A., Minina V.I., Vorobyeva E.E., Milentyeva I.S., Astafeva E.A. The physiological role of green tea catechins. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 54–63. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-54-63

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

Введение

Чай является вторым по популярности в мире напитком после воды. Традиционно выделяют черный чай, зеленый, улун, фруктово-травяной чай. 80% продаж приходится на черный чай, хотя полезные свойства зеленого чая значительно выше [1]. При производстве зеленого чая вместо процессов завяливания и ферментации (лежащих в основе производства черного чая) применяется тепловая обработка, обеспечивающая инактивацию окислительно-восстановительных ферментов. В результате такой обработки полифенолы, являющиеся мощным природным антиоксидантом и содержащиеся в листьях чайного куста, не подвергаются окислению до более сложных продуктов. К основным классам полифенолов растительного происхождения относятся гидроксibenзойные и гидроксикоричные фенольные кислоты, флавоноиды (флаваны, катехины, антоцианы, изофлавоноиды, флаванолы, флавонолы, флавоны, флаванолы), стильбены, лигнаны и др [2].

В листьях зеленого чая содержится примерно 36% полифенолов (30–42% сухого веса), представленных в основном катехинами [3]. Катехины являются наиболее восстановленной группой флавоноидов и, следовательно, обладают наивысшей степенью антиоксидантной активности, которая, с одной стороны, связана с их возможностью образовывать комплексы совместно с ионами тяжелых металлов, с другой стороны – действовать в качестве акцепторов свободных радикалов. В экстрактах зеленого чая обнаружено порядка десяти разновидностей катехинов, наиболее массово представленными из которых являются (–) – эпикатехин (ЭК) (6,4% всех катехинов), (–) – эпикатехин-3-галлат (ЭКГ) (13,6%), (–) – эпигаллокатехин (ЭГК) (19%) и (–) – эпигаллокатехин-3-галлат (ЭГКГ) (59%). На 100 граммов листьев зеленого чая приходится по содержанию 792±3 мг. ЭК, 1702±4 мг. ЭКГ, 1696±1 мг. ЭГК и 8295±2 мг. ЭГКГ [4]. Стоит отметить, что концентрация катехинов, содержащихся в экстракте зеленого чая, может варьировать и зависит в свою очередь от растворителя, температурного нагрева и продолжительности экстрагирования. Экспериментально установлено, что максимальная концентрация ЭГКГ, который в наибольшей степени обеспечивает целебные свойства зеленого чая, достигается при экстрагировании 35%-м раствором этанола при 90 °C в течение 60 минут [5].

По силе антиоксидантной активности катехины зеленого чая превышают таковую α-токоферола и аскорбиновой кислоты в 25–100 раз при сопоставимых условиях. Отмечено, что данная группа полифенолов способна снижать

хрупкость и проницаемость капилляров, способствует нормализации тканевого дыхания, предотвращает развитие атеросклероза, активно участвует в обмене сложных белков, влияет на активность ферментов. В частности, ЭГКГ способен повышать минерализацию костной ткани, увеличивать активность ключевых ферментов остеогенеза, ингибировать активность остеокластов, а также повышать в организме синтез ферментов глутатион S-трансферазы, нейтрализующей продукты свободнорадикального окисления и осуществляющей детоксикацию ксенобиотиков, и тем самым тормозить развитие онкологических заболеваний [6–9].

Цель обзора – обобщение результатов основных исследований, выполненных преимущественно за последние пять лет, в которых приводятся доказательства, что катехины, содержащиеся в зеленом чае, способны улучшить качество жизни индивидуумов, страдающих патологиями различного генеза и сделать вывод о физиологической роли, значении и возможной сфере применения данных полифенолов.

Стратегия и методы поиска информации

Поиск исследований проводился в поисковых системах ScienceDirect и MEDLINE с использованием стратегии поиска, принятой в организации Кокрановского сотрудничества, по ключевым словам «catechins» и «green tea», совместно с названием основных рассматриваемых патологий: «prostate cancer», «breast cancer», «colorectal cancer», «cardiovascular diseases», «neurodegenerative diseases», «obesity and metabolic syndrome», «viral and infectious diseases». Кроме того, проводился поиск с использованием данных научной электронной библиотеки Elibrary. Язык публикаций – русский или английский. В анализ включали рандомизированные, контролируемые исследования, мета-анализы и обзоры, опубликованные в период 2016–2021 гг., полный текст которых находится в открытом доступе. Также в анализ был включен ряд исследований, опубликованных ранее 2016 г., имевших с точки зрения авторов большую научную ценность. Исключали из обзора зарубежные исследования, полный текст которых был опубликован не на английском языке либо отсутствовал в открытом доступе, работы, опубликованные ранее 2016 г. (за исключением работ, оставленных на усмотрение авторов), работы, в которых совместно с катехинами, участники принимали дополнительные биологически активные вещества природного происхождения. В результате поиска по ключевым словам, критериям включения/исключения соответствовали 46 исследовательских работ. Дублирующие друг друга исследования в обзоре не представлены.

Анализ результатов

Самым мощным из известных антиоксидантов растительного происхождения является ЭГКГ [10], представляющий собой сложный эфир ЭГК и галловой кислоты, и обладающий ярко выраженными антиканцерогенными свойствами. Именно влиянием ЭГКГ были обусловлены положительные исходы подавляющего большинства рассмотренных нами исследований.

В исследовании Chang с соавт. показано, что употребление зеленого чая пациентами со злокачественными опухолями головы и шеи приводит к повышению содержания ЭГКГ в слюне примерно до 50 μM и имеет связь с защитой нормальных клеток слюнной железы и снижением количества повреждений, индуцированных химиотерапевтическим воздействием γ -облучения [11].

В обзоре Shirakami с соавт. приводится ряд результатов эпидемиологических, клинических и экспериментальных исследований, также демонстрирующих противораковую активность компонентов зеленого чая [12]. Помимо антиоксидантной активности при исследовании клеточных культур, авторами была обнаружена вовлеченность чайных катехинов в механизмы регуляции клеточного цикла, ингибирования путей рецепторной тирозинкиназы и модуляции иммунной системы. Кроме этого, есть сведения о том, что ЭГКГ способен подавлять метастазы [13].

Л.М. Рапопорт с соавт. в своей работе обобщают ряд исследований, касающихся превентивной терапии рака предстательной железы [14] и демонстрирующих статистически значимое снижение риска развития данного заболевания при суточном потреблении зеленого чая не менее одного литра и подтверждающих способность катехинов тормозить прогрессирование данной разновидности рака. Даже у пациентов с локализованным раком предстательной железы, получавших на протяжении нескольких дней перед простатэктомией пищевые добавки, производимые из декофеинизированного зеленого чая и содержащие 65% ЭГКГ и 22% других катехинов, достоверно снижался уровень простат-специфического антигена в крови [15].

В мета-анализе Cui с соавт., основанном на двух слепых плацебо-контролируемых исследованиях, сообщалось, что катехины зеленого чая демонстрируют защитный эффект у пациентов с гистологически подтвержденными поражениями простаты, а именно – с интраэпителиальной неоплазией высокой степени и атипичской мелкоацинарной пролиферацией [16]. Мета-анализ Guo с соавт. продемонстрировал, что более

высокое потребление зеленого чая было линейно связано со снижением риска развития рака предстательной железы при употреблении более 7 чашек в день [17].

Bonuccelli с соавт. заявляют, что японский порошковый зеленый чай матча способен ингибировать размножение «раковых стволовых клеток» при раке молочной железы, воздействуя на митохондриальный метаболизм, гликолиз и множественные клеточные сигнальные пути и может иметь значительный терапевтический потенциал, достигаемый через метаболическое перепрограммирование раковых клеток [18]. Romano с соавт. обобщает ряд исследований, в которых также изучается влияние ЭГКГ на протекание рака молочной железы и делает вывод, что ЭГКГ блокирует клеточный цикл, модулирует сигнальные пути, влияющие на пролиферацию и дифференцировку клеток, индуцирует апоптоз, отрицательно модулирует различные этапы метастазирования и нацеливается на ангиогенез путем ингибирования транскрипции сосудистого эндотелиального фактора роста. Пероральное введение ЭГКГ при исследованиях *in vivo*, выполненных на мышах, приводит к снижению роста опухоли, а также к антимастигматическим и антиангиогенным эффектам в моделях ксенотрансплантатов и аллотрансплантатов животных [19]. Kuban-Jankowska с соавт. заявляют о том, что катехины зеленого чая вызывают ингибирование тирозин-белковой фосфатазы нерецепторного типа (RTP1B) в раковых клетках молочной железы [20]. RTP1B регулируется окислительным стрессом и участвует в проонкогенных путях, ведущих к образованию рака молочной железы и является перспективной терапевтической мишенью при разработке методов лечения рака данной этиологии [21]. Авторами было обнаружено, что все четыре основных разновидности катехинов, содержащиеся в зеленом чае (ЭК, ЭКГ, ЭГК, ЭГКГ), могут снижать ферментативную активность фосфатазы RTP1B и жизнеспособность раковых клеток линии MCF-7. Наиболее эффективными ингибиторами жизнеспособности клеток MCF-7 в свою очередь оказались ЭГК и ЭГКГ.

Toden с соавт. исследовали химиосенсибилизирующие эффекты ЭГКГ в клетках, пораженных колоректальным раком, устойчивых к 5-фторурацилу, а также молекулярные механизмы, ответственные за химиопрофилактическую активность данного катехина [22]. ЭГКГ усиливал цитотоксичность, индуцированную 5-фторурацилом и ингибировал пролиферацию в клеточных линиях, устойчивых к 5-фторурацилу, за счет усиления апоптоза и остановки клеточного цикла.

Кроме того, ЭГКГ подавлял экспрессию Notch1, Bmi1, Suz12 и Ezh2 и активировал самообновляющиеся супрессорные малые интерферирующие РНК, которые являются одними из ключевых путей, нацеленных на клетки колоректального рака, устойчивые к 5-фторурацилу. Авторы утверждают, что ЭГКГ может применяться в качестве дополнительного лекарственного средства наряду с обычными химиотерапевтическими препаратами у пациентов с колоректальным раком.

В работе Pervin с соавт. описывается благотворное воздействие потребления зеленого чая на нейродегенеративные нарушения, такие как когнитивная дисфункция и потеря памяти [23]. Seidler с соавт. заявляют, что ЭГКГ способен разрушать белковые агрегаты в мозге, связанные с болезнью Альцгеймера [24]. В своей работе специалисты описали, каким образом ЭГКГ расщепляет фибриллы тау-белка, способные к образованию клубков, тем самым вызывая гибель нейронов, а также выявили другие молекулы, которые работают схожим образом, но эффективнее проникают в ткани мозга. Ide с соавт. заявляют, что помимо торможения болезни Альцгеймера, катехины способны также вызывать торможение развития и болезни Паркинсона [25]. Известно, что данные заболевания на молекулярном уровне обусловлены наличием в клетках амилоидных структур, фибриллообразных агрегатов белков, на основании чего данные патологии относят к группе прионовых болезней. В США запатентован способ использования экстрактов зеленого чая в целях лечения заболеваний подобного рода.

Помимо выраженного антиканцерогенного эффекта, исследователи связывают потребление зеленого чая с более низкой заболеваемостью и смертностью от сердечно-сосудистых заболеваний, включая дисфункцию сердца и кровеносных сосудов. Считается, что среди различных соединений, содержащихся в зеленом чае, именно катехины играют важную роль в благотворном воздействии на сердечно-сосудистую систему [26].

Yamagata с соавт. в своем обзоре обобщили ряд исследований, показывающих, что потребление зеленого чая обратно пропорционально частоте возникновения сердечно-сосудистых заболеваний. ЭГКГ, действуя как антиоксидант, вызывает высвобождение оксида азота (NO) и снижает продукцию эндотелина-1 в эндотелиальных клетках. ЭГКГ повышает биодоступность нормального NO за счет снижения уровня асимметричного диметиларгинина, представляющего собой метилированное производное аминокислоты L-аргинина и являющегося эндогенным ингибитором NO. Кроме того, ЭГКГ ингибирует повышенную экспрессию молекул

адгезии, таких как молекула адгезии сосудистых клеток-1 и молекула межклеточной адгезии-1, и ослабляет адгезию моноцитов, а также предотвращает усиленный окислительный стресс посредством сигнального пути Nrf2/НО-1 [27]. Эти эффекты указывают на то, что ЭГКГ может предотвращать выработку активных форм кислорода, ингибировать воспаление и уменьшать апоптоз эндотелиальных клеток на начальных стадиях атеросклероза [28].

В проспективном исследовании по типу «случай-контроль», выполненном Ikeda с соавт., были изучены связи между концентрацией катехинов в плазме и риском сердечно-сосудистых заболеваний у японцев среднего возраста. Высокие уровни ЭГКГ в плазме были связаны со сниженным риском инсульта у некурящих мужчин; скорректированное отношение шансов (95% ДИ) для наивысшего показателя ЭГКГ в плазме и неопределяемого уровня составило 0,53 (0,29–0,98). Соответствующее ОШ для курящих мужчин составило 1,23 (0,75–2,16) [29].

В мета-анализе, выполненном Xu с соавт., включающем 31 исследование с участием 3321 индивидуума, показано влияние потребления зеленого чая на уровень липидов крови [30]. Авторами продемонстрировано снижение общего уровня холестерина: средневзвешенные различия между опытной и контрольной группой составили –4,66 мг/дл; ДИ 95%: от –6,36 до –2,96 мг/дл; $p < 0,0001$. Потребление зеленого чая не влияло на уровень холестерина липопротеинов высокой плотности (ЛПВП), однако наблюдалось снижение уровня триглицеридов по сравнению с контролем (средневзвешенные различия: –3,77 мг/дл; ДИ 95%: от –8,90, до –1,37 мг/дл; $p = 0,15$).

Momose с соавт. представили систематический обзор литературы, касающейся способности ЭГКГ зеленого чая снижать уровень холестерина липопротеинов низкой плотности (ЛПНП). При потреблении 107–856 мг/сут ЭГКГ в течение 4 – 14 недель, уровень холестерина ЛПНП у участников исследования снизился на 9,29 мг/дл (95% ДИ: 12,27–6,31) Авторы пришли к выводу, что потребление ЭГКГ привело к значительному снижению уровня холестерина ЛПНП вне зависимости от исходного уровня холестерина и суточной дозы ЭГКГ, а величина эффекта незначительно зависела от исходного уровня липидов у субъектов [31].

Kaihatsu с соавт. демонстрируют противовирусный механизм действия ЭГКГ и сложных эфиров жирных кислот в отношении широкого спектра ДНК-вирусов и РНК-содержащих вирусов [32]. Авторы заявляют, что ЭГКГ способен подавлять инфекцию на ранней стадии путем вмешательства в мембранные белки вируса.

Аналогичные выводы делает Хи с соавт [33], обобщая в своем обзоре значительное количество исследований, касающихся противовирусной активности катехинов зеленого чая. Furushima с соавт. сообщают, что данные полифенолы способны ингибировать адсорбцию вируса гриппа и подавлять репликацию и активность нейраминидазы, а также повышать иммунитет против вирусной инфекции, приводя в качестве доказательств ряд эпидемиологических исследований, демонстрирующих снижение заболеваемости гриппом у индивидов, регулярно употребляющих зеленый чай. Авторы заявляют, что полоскание горла зеленым чаем, содержащим катехины, способно защитить от развития гриппозной инфекции [34]. Подобные выводы делают в своей работе Rawangkan с соавт. на основании проведенного мета-анализа, включающего восемь исследований с 5048 участниками, в которых изучалось влияние потребления катехинов зеленого чая на профилактику гриппа [35].

Heness с соавт. исследовали противовирусную активность ЭГКГ относительно инфекции тяжелого острого респираторного синдрома коронавирус-2 (SARS-CoV-2). ЭГКГ блокировал проникновение не только SARS-CoV-2, но и псевдотипированных лентивирусных векторов MERS- и SARS-CoV и ингибировал вирусные инфекции *in vitro*. Механически наблюдалось ингибирование взаимодействия спайк-рецептора SARS-CoV-2. Авторы заявляют, что ЭГКГ может подойти в качестве ведущей структуры для разработки более эффективных препаратов против COVID-19 [36]. Nishimura с соавт. *in vitro* удалось показать, что экстракты зеленого чая эффективно способны инактивировать коронавирус-2 (SARS-CoV-2) дозозависимым образом. Десятикратные серийно разведенные растворы реагента катехиновой смеси зеленого чая смешивали с вирусной культуральной жидкостью в объемном соотношении 9:1 соответственно и инкубировали при комнатной температуре в течение 5 мин. Раствор катехинового реагента 10 мг/мл снижал титр вируса на 4,2 log, а раствор 1,0 мг/мл – на 1 log. Таким образом, катехины могут иметь потенциал для подавления инфекции SARSCoV-2 [37].

Кроме этого полифенолы представляют собой старейшую и наиболее распространенную форму альтернативных методов лечения и профилактики ожирения. В настоящее время потребление биоактивных соединений природного происхождения среди населения увеличивается в связи с высокой стоимостью, наличием потенциальных побочных эффектов и ограниченных преимуществ доступных в настоящее время фармацевтических препаратов [38]. А поскольку путь окислительного стресса является одним

из вероятных механизмов этиологии метаболического синдрома, антиоксидантные эффекты катехинов зеленого чая могут лечь в основу новой стратегии преодоления данной патологии [39].

В ретроспективном анализе, выполненном Hibi с соавт., объединяющем шесть исследований, показана эффективность катехинов зеленого чая для снижения риска абдоминального ожирения и метаболического синдрома у лиц с ожирением и избыточным весом. Потребление напитков, содержащих катехины, в течение 12 недель значительно снизило общую площадь жировых отложений ($-17,7 \text{ см}^2$, 95% ДИ: от $-20,9$ до $-14,4$), площадь висцерального жира ($-7,5 \text{ см}^2$, 95% ДИ: от $-9,3$ до $-5,7$), площадь подкожного жира ($-10,2 \text{ см}^2$, 95% ДИ: от $-12,5$ до $-7,8$), массу и индекс массы тела, а также окружность талии; помимо этого значительно улучшились показатели артериального давления [40]. При разделении участников исследования на группы, характеризующиеся преметаболическим и метаболическим синдромами, наибольшие различия были показаны в группе с метаболическим синдромом по сравнению с группой плацебо (ОШ = 1,67, 95% ДИ: 1,08–2,57).

В рандомизированном клиническом исследовании с участием 70 женщин с подтвержденным диагнозом метаболического синдрома, зеленого чая на показатели данной патологии. Женщин одной группы (группа исследования) просили выпивать три порции зеленого чая по 200 мл утром, в полдень и вечером в течение восьми недель, в то время как женщин контрольной группы попросили выпивать такое же количество теплой воды по тому же графику. Антропометрические показатели, артериальное давление, уровень сахара в крови, липидный профиль, диета и физическая активность оценивались в начале и в конце исследования. Регулярное употребление зеленого чая на протяжении восьми недель значительно улучшило антропометрические показатели, артериальное давление, уровень сахара в крови и липидный профиль у женщин группы исследования. Независимый t-критерий показал, что вес ($p = 0,001$), индекс массы тела ($p = 0,001$), окружность талии ($p < 0,001$), соотношение талии и бедер ($p = 0,02$), систолическое артериальное давление ($p = 0,04$), уровень глюкозы в крови натощак ($p = 0,01$) и липопротеидов низкой плотности ($p = 0,03$) изменились значительно сильнее в группе женщин, принимавших зеленый чай, чем в контрольной группе. Межгрупповых различий не наблюдалось в показателях диастолического артериального давления, уровнях триглицеридов, общего холестерина и ЛПВП ($p > 0,05$) [41].

В работе Chatree с соавт. показано, что ЭГКГ способен снижать уровень триглицеридов в плазме, артериальное давление и уровень кисспептина (гормона, продуцируемого гипоталамусом) в сыворотке у людей с ожирением [42]. Результаты данного исследования демонстрируют, что по сравнению с исходными значениями, ЭГКГ значительно снижал уровни триглицеридов в плазме натошак ($p < 0,05$), систолическое и диастолическое артериальное давление ($p < 0,05$) и уровни кисспептина в сыворотке ($p < 0,05$) после восьми недель приема добавки. Вместе с этим не было выявлено снижения массы тела, индекса массы тела, уменьшения окружности талии и бедер, а также снижения общей массы или процентного содержания жира в организме по сравнению со значениями, зафиксированными на момент начала исследования.

Регулярное употребление зеленого чая также связывают с защитой от ультрафиолетового (УФ) излучения. Ряд исследований показали, что регулярное потребление катехинов увеличивает минимальную дозу облучения, необходимую для возникновения эритемы. Исследования, проводимые Zhang с соавт., касающиеся способности катехинов защищать кожу от УФ-излучения продемонстрировали, что данные полифенолы способны повысить фотостабильность и протективные свойства эпидермиса от УФ-лучей [43]. Проанализировав шесть рандомизированных контролируемых исследований с участием здоровых добровольцев (в общей сложности 100 человек), в которых катехины зеленого чая принимались перорально на протяжении 6–12 недель, Кароог с соавт. сообщают, что катехины зеленого чая защищают кожу от эритемного воспаления даже при повышенной минимальной эритемной дозе (МЭД) УФ излучения. Результаты мета-анализа подтверждают высокую эффективность перорального приема катехинов зеленого чая при эритематозном ответе, вызванном низкоинтенсивным УФ излучением (диапазон МЭД 1,25–1,30), по сравнению с плацебо, ($p = 0,002$); SMD (стандартизированная разница средних показателей): $-0,35$; 95% ДИ, от $-0,57$ до $-0,13$; $I^2 = 4\%$, $p = 0,40$) в модели со случайными эффектами [44].

Таким образом пероральные добавки с катехинами зеленого чая являются привлекательной стратегией фотозащиты у здоровых людей и могут применяться в качестве дополнительного фактора защиты кожи от эритемного воспаления наряду с местными солнцезащитными средствами.

Вае с соавт. в своей работе обобщает многочисленные исследования, направленные на изучение активности катехинов и их применения в различных отраслях (пищевой, косметической, фармацевтической и других видах промышленности [45]. В работе Goyal с соавт. показано, что экстракты зеленого чая значительно снижают уровень *Streptococcus mutans* в слюне и на поверхности зубов [46].

Также были найдены исследования, в которых показано, что полифенолы зеленого чая способны преодолевать гематоэнцефалический барьер и защищать нейроны [47], обладают противомикробным эффектом против большинства бактерий полости рта, а также способны улучшать здоровье ротовой полости за счет повышения активности местных пероксидаз, предотвращать развитие и прогрессирование пародонтита, снизить эрозию дентина и способствовать сохранности зубов [48].

Заключение

Зеленый чай является не только популярным тонизирующим напитком, но и важным средством профилактики и лечения заболеваний, в патогенезе которых важную роль играет свободнорадикальное окисление и оксидативный стресс. Мощнейшие антиоксидантные и антиканцерогенные свойства катехинов данного напитка могут найти применение в комбинированном лечении многочисленных заболеваний, сопровождающихся усилением окислительных процессов. В качестве сопутствующей терапии потребление данных полифенолов может иметь место при лечении злокачественных опухолей (во время курса лучевой или химиотерапии, вирусных, инфекционных, сердечно-сосудистых и нейродегенеративных заболеваний, использоваться в качестве дополнительной защиты кожи от действия УФ излучения и лечении других патологий указанной этиологии.

Литература

1. Исанбулатова Е.С. Анализ чайного рынка в России // Маркетинг и логистика. 2021. № 6(38). С. 33–40.
2. Oyenih A.B., Smith C. Are polyphenol antioxidants at the root of medicinal plant anti-cancer success? // Journal of Ethnopharmacology. 2019. V. 229. P. 54–72.
3. Sang S. Tea: Chemistry and Processing. 2016. doi: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00685-1
4. Koch W., Kukula-Koch N., Komsta L. Green tea quality evaluation based on its catechins and metals composition in combination with chemometric analysis // Molecules. 2018. V. 23. P. 1689.
5. Chowdhury A., Sarkar J., Chakraborti T. Protective role of EGCG in health and disease. A perspective // Biomed. Pharmacotherapy. 2016. V. 78. P. 50–59.

6. Schulze J., Melzer L., Smith L., Teschke R. Green tea and its extracts. In cancer prevention and treatment // Beverage. 2017. V. 3. P. 17.
7. Chowdhury A., Sarkar J., Chakraborti T. Protective role of EGCG in health and disease. A perspective // Biomed. Pharmacotherapy. 2016. V. 78. P. 50–59.
8. Singh B.N., Shankar S., Srivastava R.K. Green tea catechin EGCG-mechanisms, perspectives and clinical applications // Biochem Pharmacology. 2016. V. 82. P. 1807–1821.
9. Amit K.S., Priyanka B., Madhulika S., Sanjay M. et al. Synthesis of PLGA nanoparticles of tea polyphenols and their strong in vivo protective effect against chemically induced DNA damage // International Journal of Nanomedicine. 2013. V. 8. P. 1451–1462.
10. Зверев Я.Ф. Флавоноиды глазами фармаколога. Антиоксидантная и противовоспалительная активность // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2017. Т. 15. № 4. С. 5–13. doi: 10.17816/RCF1545–13
11. Chang H.-P., Sheen L.-Y., Lei Y.-P. The protective role of carotenoids and polyphenols in patients with head and neck cancer // Journal of the Chinese Medical Association. 2015. V. 78. № 2. P. 89–95.
12. Shirakami Y., Shimizu M. Possible Mechanisms of Green Tea and Its Constituents against Cancer // Molecules. 2018. V. 23. P. 2284.
13. Maruyama T., Murata S., Nanyama K. et al. EGCG suppresses liver metastasis of human colorectal cancer // Oncol. Rep. 2014. V. 31. P. 625–633.
14. Рапопорт Л.М., Цариченко Д.Г., Ганжа Т.М. Химиопреventивная терапия рака предстательной железы // Эффективная фармакотерапия. 2015. № 4. С. 14–21.
15. McLarty J., Bigelow R.L., Smith M. Tea polyphenols decrease serum levels of prostate-specific antigen, hepatocyte growth factor, and vascular endothelial growth factor in prostate cancer patients and inhibit production of hepatocyte growth factor and vascular endothelial growth factor in vitro // Cancer Prev. Res. (Phila.). 2009. V. 2. № 7. P. 673–682.
16. Cui K., Li X., Du Y. et al. Chemoprevention of prostate cancer in men with high-grade prostatic intraepithelial neoplasia (HGPIN): a systematic review and adjusted indirect treatment comparison // Oncotarget. 2017. V. 8. P. 36674–36684.
17. Guo Y., Zhi F., Chen P. Green tea and the risk of prostate cancer: A systematic review and meta-analysis // Medicine (Baltimore). 2017. V. 96. P. e6426.
18. Bonuccelli G., Sotgia F., Lisanti M.P. Matcha green tea (MGT) inhibits the propagation of cancer stem cells (CSCs), by targeting mitochondrial metabolism, glycolysis, and multiple cell signaling pathways // Aging. 2018. V. 10. P. 1867–1883.
19. Romano A., Martel F. The Role of EGCG in Breast Cancer Prevention and Therapy // Mini-Reviews in Medicinal Chemistry. 2021. V. 21. № 7. doi: 10.2174/1389557520999201211194445
20. Kuban-Jankowska A., Kostrzewa T., Musial C., Barone G. et al. Green Tea Catechins Induce Inhibition of PTP1B Phosphatase in Breast Cancer Cells with Potent Anti-Cancer Properties: In Vitro Assay, Molecular Docking, and Dynamics Studies // Antioxidants (Basel). 2020. V. 9. № 12. P. 1208. doi: 10.3390/antiox9121208
21. Kostrzewa T., Sahu K.K., Gorska-Ponikowska M., Tuszyński J.A. et al. Synthesis of small peptide compounds, molecular docking, and inhibitory activity evaluation against phosphatases PTP1B and SHP2 // Drug Des Devel Ther. 2018. V. 12. P. 4139–4147. doi: 10.2147/DDDT.S186614
22. Toden S., Tran H.M., Tovar-Camargo O.A., Okugawa Y. et al. Epigallocatechin-3-gallate targets cancer stem-like cells and enhances 5-fluorouracil chemosensitivity in colorectal cancer // Oncotarget. 2016. V. 7. P. 16158–16170.
23. Pervin M., Unno K., Ohishi T., Tanabe H. et al. Beneficial Effects of Green Tea Catechins on Neurodegenerative Diseases // Molecules. 2018. V. 23. P. 1297.
24. Seidler P.M., Murray K.A., Boyer D.R. Structure-based discovery of small molecules that disaggregate Alzheimer's disease tissue derived tau fibrils in vitro // Nat Commun. 2022. V. 13. doi: 10.1038/s41467-022-32951-4
25. Ide K., Matsuoka N., Yamada H., Furushima D. et al. Effects of Tea Catechins on Alzheimer's Disease: Recent Updates and Perspectives // Molecules. 2018. V. 23. P. 2357.
26. Li Y., Karim M.R., Wang B., Peng J. Effects of Green Tea (–) – Epigallocatechin-3-Gallate (EGCG) on Cardiac Function – A Review of the Therapeutic Mechanism and Potentials // Mini Rev Med Chem. 2022. V. 22. № 18. P. 2371–2382. doi: 10.2174/1389557522666220328161826
27. Zeng J., Deng Z., Zou Y., Liu C. et al. Theaflavin alleviates oxidative injury and atherosclerosis progress via activating microRNA-24-mediated Nrf2/HO-1 signal // Phytother Res. 2021. V. 35. № 6. P. 3418–3427. doi: 10.1002/ptr.7064
28. Yamagata K. Protective Effect of Epigallocatechin Gallate on Endothelial Disorders in Atherosclerosis // J Cardiovasc Pharmacol. 2020. V. 75. № 4. P. 292–298. doi: 10.1097/FJC.0000000000000792
29. Ikeda A., Iso H., Yamagishi K., Iwasaki M. et al. JPHC Study Group. Plasma tea catechins and risk of cardiovascular disease in middle-aged Japanese subjects: The JPHC study // Atherosclerosis. 2018. V. 277. P. 90–97. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2018.08.001
30. Xu R., Yang K., Li S., Dai M. et al. Effect of green tea consumption on blood lipids: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials // Nutr J. 2020. V. 19. № 1. P. 48. doi: 10.1186/s12937-020-00557-5
31. Momose Y., Maeda-Yamamoto M., Nabetani H. Systematic review of green tea epigallocatechin gallate in reducing low-density lipoprotein cholesterol levels of humans // Int J Food Sci Nutr. 2016. V. 67. № 6. P. 606–13. doi: 10.1080/09637486.2016.1196655
32. Kaihatsu K., Yamabe M., Ebara Y. Antiviral Mechanism of Action of Epigallocatechin-3-gallate and Its Fatty Acid Esters // Molecules. 2018. V. 23. P. 2475.
33. Xu J., Xu Z., Zheng W. A review of the antiviral role of green tea catechins // Molecules. 2017. V. 22. P. 1337.
34. Furushima D., Ide K., Yamada H. Effect of Tea Catechins on Influenza Infection and the Common Cold with a Focus on Epidemiological / Clinical Studies // Molecules. 2018. V. 23. P. 1795.
35. Rawangkan A., Kengkla K., Kanchanasurakit S., Duangjai A. et al. Anti-Influenza with Green Tea Catechins: A Systematic Review and Meta-Analysis // Molecules. 2021. V. 26. № 13. P. 4014. doi: 10.3390/molecules26134014
36. Henss L., Auste A., Schürmann C., Schmidt C. et al. The green tea catechin epigallocatechin gallate inhibits SARS-CoV-2 infection // J Gen Virol. 2021. V. 102. № 4. P. 001574. doi: 10.1099/jgv.0.001574

37. Nishimura H., Okamoto M., Dapat I., Katsumi M. et al. Inactivation of SARS-CoV-2 by Catechins from Green Tea // *Jpn J Infect Dis*. 2021. V. 74. № 5. P. 421–423. doi: 10.7883/yoken. JJID.2020.902
38. Carrasco-Pozo C., Cires M.J., Gotteland M. Quercetin and Epigallocatechin Gallate in the Prevention and Treatment of Obesity: From Molecular to Clinical Studies // *J Med Food*. 2019. V. 22. № 8. P. 753–770. doi: 10.1089/jmf.2018.0193
39. Esmaeelpanah E., Razavi B.M., Hosseinzadeh H. Green tea and metabolic syndrome: A 10-year research update review // *Iran J Basic Med Sci*. 2021. V. 24. № 9. P. 1159–1172. doi: 10.22038/IJBMS.2021.52980.11943
40. Hibi M., Takase H., Iwasaki M., Osaki N. et al. Efficacy of tea catechin-rich beverages to reduce abdominal adiposity and metabolic syndrome risks in obese and overweight subjects: a pooled analysis of 6 human trials // *Nutr Res*. 2018. V. 55. P. 1–10. doi: 10.1016/j.nutres.2018.03.012
41. Mortazavi F., Paknahad Z., Hasanzadeh A. Effect of green tea consumption on the metabolic syndrome indices in women: a clinical trial study // *Nutrition & Food Science*. 2019. V. 49. № 1. P. 32–46. doi: 10.1108/NFS-03-2018-0091
42. Chatree S., Sitticharoon C., Maikaew P., Pongwattanapakin K. et al. Epigallocatechin gallate decreases plasma triglyceride, blood pressure, and serum kisspeptin in obese human subjects // *Exp Biol Med (Maywood)*. 2021. V. 246. № 2. P. 163–176. doi: 10.1177/1535370220962708
43. Zhang W., Yang Y., Lv T., Fan Z. et al. Sucrose esters improve the colloidal stability of nanoethosomal suspensions of (–) – epigallocatechin gallate for enhancing the effectiveness against UVB-induced skin damage // *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2016. V. 105. P. 2416–25.
44. Kapoor M.P., Sugita M., Fukuzawa Y., Timm D. et al. Green Tea Catechin Association with Ultraviolet Radiation-Induced Erythema: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Molecules*. 2021. V. 26. № 12. P. 3702. doi: 10.3390/molecules26123702
45. Bae J. et al. Activity of catechins and their applications // *Biomedical Dermatology*. 2020. V. 4. P. 1–10. doi: 10.1186/s41702-020-0057-8
46. Goyal A., Bhat M., Sharma M., Garg M. et al. Effect of green tea mouth rinse on *Streptococcus mutans* in plaque and saliva in children: an in vivo study // *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. 2017. V. 35. P. 41–46.
47. Figueira G., Garcia R.C. Polyphenols journey through blood-brain barrier towards neuronal protection // *Scientific Reports*. 2017. V. 7. № 1.
48. De Moraes M.D.R., Carneiro J.R.M., Passos V.F., Santiago S.L. Effect of green tea as a protective measure against dental erosion in coronary dentine // *Brazilian Oral Research*. 2016. V. 30. № 1.

References

1. Isanbulatova E.S. Analysis of the tea market in Russia. Marketing and logistics. 2021. no. 6(38). pp. 33–40. (in Russian).
2. Oyenihni A.B., Smith C. Are polyphenol antioxidants at the root of medicinal plant anti-cancer success? *Journal of Ethnopharmacology*. 2019. vol. 229. pp. 54–72.
3. Sang S. Tea: Chemistry and Processing. 2016. doi: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00685-1
4. Koch W., Kukula-Koch N., Komsta L. Green tea quality evaluation based on its catechins and metals composition in combination with chemometric analysis. *Molecules*. 2018. vol. 23. pp. 1689.
5. Chowdhury A., Sarkar J., Chakraborti T. Protective role of EGCG in health and disease. A perspective. *Biomed. Pharmacotherapy*. 2016. vol. 78. pp. 50–59.
6. Schulze J., Melzer L., Smith L., Teschke R. Green tea and its extracts. In cancer prevention and treatment. *Beverage*. 2017. vol. 3. pp. 17.
7. Chowdhury A., Sarkar J., Chakraborti T. Protective role of EGCG in health and disease. A perspective. *Biomed. Pharmacotherapy*. 2016. vol. 78. pp. 50–59.
8. Singh B.N., Shankar S., Srivastava R.K. Green tea catechin EGCG-mechanisms, perspectives and clinical applications. *Biochem Pharmacology*. 2016. vol. 82. pp. 1807–1821.
9. Amit K.S., Priyanka B., Madhulika S., Sanjay M. et al. Synthesis of PLGA nanoparticles of tea polyphenols and their strong in vivo protective effect against chemically induced DNA damage. *International Journal of Nanomedicine*. 2013. vol. 8. pp. 1451–1462.
10. Zverev Ya.F. Flavonoids through the eyes of a pharmacologist. Antioxidant and anti-inflammatory activity. *Reviews on clinical pharmacology and drug therapy*. 2017. vol. 15. no. 4. pp. 5–13. doi: 10.17816/RCF1545-13 (in Russian).
11. Chang H.-P., Sheen L.-Y., Lei Y.-P. The protective role of carotenoids and polyphenols in patients with head and neck cancer. *Journal of the Chinese Medical Association*. 2015. vol. 78. no. 2. pp. 89–95.
12. Shirakami Y., Shimizu M. Possible Mechanisms of Green Tea and Its Constituents against Cancer. *Molecules* 2018. vol. 23. pp. 2284.
13. Maruyama T., Murata S., Nanyama K. et al. EGCG suppresses liver metastasis of human colorectal cancer. *Oncol. Rep*. 2014. vol. 31. pp. 625–633.
14. Rapoport L.M., Tsarichenko D.G., Ganzha T.M. Chemopreventive therapy of prostate cancer. *Effective pharmacotherapy*. 2015. no. 4. pp. 14–21. (in Russian).
15. McLarty J., Bigelow R.L., Smith M. Tea polyphenols decrease serum levels of prostate-specific antigen, hepatocyte growth factor, and vascular endothelial growth factor in prostate cancer patients and inhibit production of hepatocyte growth factor and vascular endothelial growth factor in vitro. *Cancer Prev. Res. (Phila.)*. 2009. vol. 2. no. 7. pp. 673–682.
16. Cui K., Li X., Du Y. et al. Chemoprevention of prostate cancer in men with high-grade prostatic intraepithelial neoplasia (HGPIN): a systematic review and adjusted indirect treatment comparison. *Oncotarget*. 2017. vol. 8. pp. 36674–36684.
17. Guo Y., Zhi F., Chen P. Green tea and the risk of prostate cancer: A systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2017. vol. 96. pp. e6426.
18. Bonuccelli G., Sotgia F., Lisanti M.P. Matcha green tea (MGT) inhibits the propagation of cancer stem cells (CSCs), by targeting mitochondrial metabolism, glycolysis, and multiple cell signaling pathways. *Aging*. 2018. vol. 10. pp. 1867–1883.
19. Romano A., Martel F. The Role of EGCG in Breast Cancer Prevention and Therapy. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry* 2021. vol. 21. no. 7. doi: 10.2174/1389557520999201211194445

20. Kuban-Jankowska A., Kostrzewa T., Musial C., Barone G. et al. Green Tea Catechins Induce Inhibition of PTP1B Phosphatase in Breast Cancer Cells with Potent Anti-Cancer Properties: In Vitro Assay, Molecular Docking, and Dynamics Studies. *Antioxidants* (Basel). 2020. vol. 9. no. 12. pp. 1208. doi: 10.3390/antiox9121208
21. Kostrzewa T., Sahu K.K., Gorska-Ponikowska M., Tuszyński J.A. et al. Synthesis of small peptide compounds, molecular docking, and inhibitory activity evaluation against phosphatases PTP1B and SHP2. *Drug Des Devel Ther.* 2018. vol. 12. pp. 4139–4147. doi: 10.2147/DDDT.S186614
22. Toden S., Tran H.M., Tovar-Camargo O.A., Okugawa Y. et al. Epigallocatechin 3 gallate targets cancer stem-like cells and enhances 5 fluorouracil chemosensitivity in colorectal cancer. *Oncotarget.* 2016. vol. 7. pp. 16158–16170.
23. Pervin M., Unno K., Ohishi T., Tanabe H. et al. Beneficial Effects of Green Tea Catechins on Neurodegenerative Diseases. *Molecules.* 2018. vol. 23. pp. 1297.
24. Seidler P.M., Murray K.A., Boyer D.R. Structure-based discovery of small molecules that disaggregate Alzheimer's disease tissue derived tau fibrils in vitro. *Nat Commun.* 2022. vol. 13. doi: 10.1038/s41467-022-32951-4
25. Ide K., Matsuoka N., Yamada H., Furushima D. et al. Effects of Tea Catechins on Alzheimer's Disease: Recent Updates and Perspectives. *Molecules.* 2018. vol. 23. pp. 2357.
26. Li Y., Karim M.R., Wang B., Peng J. Effects of Green Tea (–) – Epigallocatechin 3 Gallate (EGCG) on Cardiac Function – A Review of the Therapeutic Mechanism and Potentials. *Mini Rev Med Chem.* 2022. vol. 22. no. 18. pp. 2371–2382. doi: 10.2174/1389557522666220328161826
27. Zeng J., Deng Z., Zou Y., Liu C. et al. Theaflavin alleviates oxidative injury and atherosclerosis progress via activating microRNA 24 mediated Nrf2/HO 1 signal. *Phytother Res.* 2021. vol. 35. no. 6. pp. 3418–3427. doi: 10.1002/ptr.7064
28. Yamagata K. Protective Effect of Epigallocatechin Gallate on Endothelial Disorders in Atherosclerosis. *J Cardiovasc Pharmacol.* 2020. vol. 75. no. 4. pp. 292–298. doi: 10.1097/FJC.0000000000000792
29. Ikeda A., Iso H., Yamagishi K., Iwasaki M. et al. JPHC Study Group. Plasma tea catechins and risk of cardiovascular disease in middle-aged Japanese subjects: The JPHC study. *Atherosclerosis.* 2018. vol. 277. pp. 90–97. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2018.08.001
30. Xu R., Yang K., Li S., Dai M. et al. Effect of green tea consumption on blood lipids: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutr J.* 2020. vol. 19. no. 1. pp. 48. doi: 10.1186/s12937-020-00557-5
31. Momose Y., Maeda-Yamamoto M., Nabetani H. Systematic review of green tea epigallocatechin gallate in reducing low-density lipoprotein cholesterol levels of humans. *Int J Food Sci Nutr.* 2016. vol. 67. no. 6. pp. 606–13. doi: 10.1080/09637486.2016.1196655
32. Kaihatsu K., Yamabe M., Ebara Y. Antiviral Mechanism of Action of Epigallocatechin 3 gallate and Its Fatty Acid Esters. *Molecules.* 2018. vol. 23. pp. 2475.
33. Xu J., Xu Z., Zheng W. A review of the antiviral role of green tea catechins. *Molecules.* 2017. vol. 22. pp. 1337.
34. Furushima D., Ide K., Yamada H. Effect of Tea Catechins on Influenza Infection and the Common Cold with a Focus on Epidemiological / Clinical Studies. *Molecules.* 2018. vol. 23. pp. 1795.
35. Rawangkan A., Kengkla K., Kanchanasurakit S., Duangjai A. et al. Anti-Influenza with Green Tea Catechins: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Molecules.* 2021. vol. 26. no. 13. pp. 4014. doi: 10.3390/molecules26134014
36. Henss L., Auste A., Schürmann C., Schmidt C. et al. The green tea catechin epigallocatechin gallate inhibits SARS-CoV 2 infection. *J Gen Virol.* 2021. vol. 102. no. 4. pp. 001574. doi: 10.1099/jgv.0.001574
37. Nishimura H., Okamoto M., Daput I., Katsumi M. et al. Inactivation of SARS-CoV 2 by Catechins from Green Tea. *Jpn J Infect Dis.* 2021. vol. 74. № 5. pp. 421–423. doi: 10.7883/yoken. JJID.2020.902
38. Carrasco-Pozo C., Cires M.J., Gotteland M. Quercetin and Epigallocatechin Gallate in the Prevention and Treatment of Obesity: From Molecular to Clinical Studies. *J Med Food.* 2019. vol. 22. no. 8. pp. 753–770. doi: 10.1089/jmf.2018.0193
39. Esmaelpanah E., Razavi B.M., Hosseinzadeh H. Green tea and metabolic syndrome: A 10 year research update review. *Iran J Basic Med Sci.* 2021. vol. 24. no. 9. pp. 1159–1172. doi: 10.22038/IJBMS.2021.52980.11943
40. Hibi M., Takase H., Iwasaki M., Osaki N. et al. Efficacy of tea catechin-rich beverages to reduce abdominal adiposity and metabolic syndrome risks in obese and overweight subjects: a pooled analysis of 6 human trials. *Nutr Res.* 2018. vol. 55. pp. 1–10. doi: 10.1016/j.nutres.2018.03.012
41. Mortazavi F., Paknahad Z., Hasanzadeh A. Effect of green tea consumption on the metabolic syndrome indices in women: a clinical trial study. *Nutrition & Food Science.* 2019. vol. 49. no. 1. pp. 32–46. doi: 10.1108/NFS-03-2018-0091
42. Chatree S., Sitticharoon C., Maikaew P., Pongwattanapakin K. et al. Epigallocatechin gallate decreases plasma triglyceride, blood pressure, and serum kisspeptin in obese human subjects. *Exp Biol Med (Maywood).* 2021. vol. 246. no. 2. pp. 163–176. doi: 10.1177/1535370220962708
43. Zhang W., Yang Y., Lv T., Fan Z. et al. Sucrose esters improve the colloidal stability of nanoethosomal suspensions of (–) – epigallocatechin gallate for enhancing the effectiveness against UVB-induced skin damage. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2016. vol. 105. pp. 2416–25.
44. Kapoor M.P., Sugita M., Fukuzawa Y., Timm D. et al. Green Tea Catechin Association with Ultraviolet Radiation-Induced Erythema: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Molecules.* 2021. vol. 26. no. 12. pp. 3702. doi: 10.3390/molecules26123702
45. Bae J. et al. Activity of catechins and their applications. *Biomedical Dermatology.* 2020. vol. 4. pp. 1–10. doi: 10.1186/s41702-020-0057-8
46. Goyal A., Bhat M., Sharma M., Garg M. et al. Effect of green tea mouth rinse on Streptococcus mutans in plaque and saliva in children: an in vivo study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent.* 2017. vol. 35. pp. 41–46.
47. Figueira G., Garcia R.C. Polyphenols journey through blood-brain barrier towards neuronal protection. *Scientific Reports.* 2017. vol. 7. no. 1.
48. De Moraes M.D.R., Carneiro J.R.M., Passos V.F., Santiago S.L. Effect of green tea as a protective measure against dental erosion in coronary dentine. *Brazilian Oral Research.* 2016. vol. 30. no. 1.

Сведения об авторах

Ольга А. Соболева ведущий инженер-технолог, лаборатория цитогенетики, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, пр. Советский, 18, г. Кемерово, 650000, Россия, soboleva.olga88@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7183-6647>

Варвара И. Минина д.б.н., профессор кафедры генетики и фундаментальной медицины, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650043, Россия, vminina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3485-9123>

Екатерина Е. Воробьева магистрант, кафедра бионанотехнологии, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650043, Россия, 89515923860k@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-6362-7589>

Ирина С. Милентьева к.т.н., доцент, кафедра бионанотехнологии, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650043, Россия, irazumnikova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3536-562X>

Евгения А. Астафьева ассистент, кафедра морфологии и судебной медицины, Кемеровский государственный медицинский университет Минздрава РФ, ул. Ворошилова, 22а, г. Кемерово, 650056, Россия, astafeva.evgenia@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5841-6311>

Вклад авторов

Ольга А. Соболева, Екатерина Е. Воробьева написание рукописи, несет ответственность за плагиат

Варвара И. Минина, Ирина С. Милентьева корректура рукописи до подачи в редакцию

Евгения А. Астафьева обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Olga A. Soboleva leading engineer, laboratory of cytogenetics, The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Sovetsky av., 18, Kemerovo, 650000, Russia, soboleva.olga88@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7183-6647>

Varvara I. Minina Dr. Sci. (Biol.), professor, genetics and fundamental medicine department, Kemerovo State University, Krasnaya st., 6, Kemerovo, 650043, Russia, vminina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3485-9123>

Ekaterina E. Vorobyeva master student, bionanotechnology department, Kemerovo State University, Krasnaya st., 6, Kemerovo, 650043, Russia, 89515923860k@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-6362-7589>

Irina S. Milentyeva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, bionanotechnology department, Kemerovo State University, Krasnaya st., 6, Kemerovo, 650043, Russia, irazumnikova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3536-562X>

Evgenia A. Astafeva assistant, morphology and forensic department, Kemerovo State Medical University, Voroshilova St., 22a, Kemerovo, 650056, Russia, astafeva.evgenia@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5841-6311>

Contribution

Olga A. Soboleva, Ekaterina E. Vorobyeva wrote the manuscript and is responsible for plagiarism

Varvara I. Minina, Irina S. Milentyeva correction of the manuscript before submission to the editor

Evgenia A. Astafeva review of the literature on an investigated problem,

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 23/01/2023	После редакции 15/02/2023	Принята в печать 03/03/2023
Received 23/01/2023	Accepted in revised 15/02/2023	Accepted 03/03/2023

Обоснование выбора сырья и рецептурных ингредиентов для производства молочных десертов на основе деминерализованной сыворотки

Владимир И. Омельчук ¹	omelchukvova@rambler.ru	 0000-0002-2709-8824
Татьяна В. Калиновская ¹	kalinovskaya_88@mail.ru	 0000-0000-8052-2014
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 усовершенствованию технологии молочного десерта и разработка рецептуры продукта повышенной биологической ценности. Проведен анализ литературных источников и поиск актуальных направлений развития в молокоперерабатывающей отрасли, в частности в производстве полезных молочных десертов. Установлено, что перспективным направлением исследований является разработка технологии десертов на основе сухой деминерализованной сыворотки, полученной из нанофильтрационного пермеата молочной сыворотки. Исследованы свойства сыворотки подсырной деминерализованной для производства нового вида структурированного десерта. Обоснован выбор сырья и рецептурных компонентов для производства молочных десертов повышенной биологической ценности. Рассчитана энергетическая, пищевая и биологическая ценность разработанного десерта, результаты показали, что продукт является низкокалорийным, с повышенным содержанием белков и незаменимых аминокислот.

Ключевые слова: молочный десерт, сыворотка подсырная деминерализованная, нанофильтрация, структурообразование.

Rationale for the choice of raw materials and prescription ingredients for the production of dairy desserts based on demineralized whey

Vladimir I. Omelchuk ¹	omelchukvova@rambler.ru	 0000-0002-2709-8824
Tatiana V. Kalinovskaya ¹	kalinovskaya_88@mail.ru	 0000-0000-8052-2014
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 improvement of the milk dessert technology and the development of a product formulation of increased biological value. The analysis of literary sources and the search for current directions of development in the dairy industry, in the production of healthy dairy desserts, were carried out. It has been established that a promising area of research is the development of technology for desserts based on dry demineralized whey obtained from nanofiltration permeate of whey. The properties of demineralized cheese whey to produce a new type of structured dessert have been studied. The choice of raw materials and prescription components to produce dairy desserts of increased biological value is substantiated. The energy, nutritional and biological value of the developed dessert was calculated, the results showed that the product is low-calorie, with a high content of proteins and essential amino acids.

Keywords: milk dessert, demineralized cheese whey, nanofiltration, structure formation.

Введение

Развитие молочной индустрии можно оценивать по степени и полноте переработки молочного сырья, что обеспечивает использование всех составляющих молока и получения на их основе высококачественных продуктов. За последние годы в Российской Федерации получили распространение технологии, позволяющие повысить эффективность переработки молочной сыворотки.

В условиях роста цен на молочное сырье потребность полного использования ценного молочного сырья является экономически обоснованным. Необходимость переработки молочной сыворотки обусловлена также ухудшением экологической ситуации, так как при сбросах сыворотки в канализацию вместе с потерей ценных пищевых веществ, возникает проблема очистки сточных вод [1–3].

Цель работы – усовершенствование технологии молочного десерта и разработка рецептуры продукта повышенной биологической ценности.

Для цитирования

Омельчук В.И., Калиновская Т.В., Гаврилов А.В. Обоснование выбора сырья и рецептурных ингредиентов для производства молочных десертов на основе деминерализованной сыворотки // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 64–70. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-64-70

For citation

Omelchuk V.I., Kalinovskaya T.V., Gavrilov A.V. Rationale for the choice of raw materials and prescription ingredients for the production of dairy desserts based on demineralized whey. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 64–70. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-64-70

Материалы и методы

При выполнении работы использовали комплекс общепринятых, специальных физических, технологических, химических, микробиологических, органолептических, структурно-механических, статистических, экспериментально-статистических методов с использованием современных устройств и компьютерных технологий.

В качестве материалов исследования использовали сухую деминерализованную сыворотку ООО «Новатор».

Результаты и обсуждение

На сегодняшний день в РФ ассортимент продуктов на основе молочной сыворотки достаточно ограничен. Одной из основных проблем при переработке молочной сыворотки является крайне нестабильное качество исходного сырья. В частности, это касается кислой молочной сыворотки, использование которой ограничивается нарастанием кислотности во время резервирования.

Очевидно, что традиционные методы переработки молочной сыворотки не могут обеспечить полноту ее использования в пищевых целях. Сфера применения сухой сыворотки обычно ограничена из-за повышенной кислотности, высокой гигроскопичности, недостатков органолептических свойств (солонватый и кислотоватый вкус, выраженный сывороточный запах).

Современный уровень развития мембранных технологий расширяет возможности переработки сыворотки в молочной отрасли [1]. Основным преимуществом мембранных процессов является способность направленного регулирования состава и свойств молочной сыворотки во время ее обработки, обеспечение безотходных технологических циклов при меньших энергетических затратах. Кроме того, достигнут значительный прогресс относительно возможностей получения новых видов продуктов из молочной сыворотки [2].

Среди современных мембранных технологий к которым относят обратный осмос, микрофильтрацию, ультрафильтрацию, нанофильтрацию и электродиализ. В Российской Федерации практическое применение приобрели нанофильтрация и электродиализ.

Мембранные технологии в молочной промышленности позволяют получить ультрафильтрационные (УФ) концентраты цельного

молока, которые в большей степени обеднены лактозой и солями кальция. Это улучшает дальнейшие реологические свойства и вкус продуктов (творога или сметаны).

Баромембранные процессы, в основном ультрафильтрационные, позволяют получить молоко с повышенным содержанием белка, что важно при производстве качественных йогуртов. Себестоимость изготовления сухого цельного или обезжиренного молока, которое предварительно сконцентрировано обратным осмосом, намного ниже, чем при применении только процесса испарения.

Применение диафильтрации (дополнительное разбавление водой) позволяет получить молоко, которое полностью обеднено лактозой, так называемое «безлактозное» молоко. В последнее время получила развитие холодная пастеризация молока микрофильтрацией.

И это далеко не весь перечень возможного применения мембранных технологий в молокоперерабатывающей отрасли пищевой промышленности.

Внедрение мембранных технологий является тем направлением, которое сможет поднять отечественную молочную промышленность на новый, более высокий уровень организации производственных процессов, повысить рентабельность производства и конкурентоспособность продукции. Исследования в этом направлении являются важной научной и практической задачей.

Анализ аспектов рационального питания и значение десертных блюд, в частности молочных десертов, в питании человека, позволяет сделать вывод, что производство десертов на основе деминерализованной сыворотки является перспективным [4–12].

Традиционно для производства молочных десертов за основу используют молоко коровье, а для производства низкокалорийных десертов – обезжиренное молоко. Использование деминерализованной сыворотки будет способствовать получению продукта обогащенного полноценными белками, в частности незаменимыми аминокислотами [13–20].

В таблице 1 приведены результаты органолептической оценки сыворотки молочной деминерализованной (уровень деминерализации 50%).

Таблица 1.

Результаты органолептической оценки сыворотки сухой молочной деминерализованной (уровень деминерализации 50%)

Table 1.

The results of the organoleptic evaluation of dry milk whey demineralized (demineralization level 50%)

Показатель Indicator	Результаты Results
Консистенция Consistency	тонкодисперсный порошок, при растворении в воде – однородная жидкость без осадка и хлопьев fine powder, when dissolved in water – a homogeneous liquid without sediment and flakes
Вкус и запах Taste and smell	чистый, присущий подсырной сыворотке, без посторонних привкусов и запахов, сладкий вкус pure, inherent in cheese whey, without foreign tastes and odors, sweet taste
Цвет Colour	белый с кремовым оттенком creamy white

Таблица 2.

Физико-химические и микробиологические показатели сыворотки молочной деминерализованной (уровень деминерализации 50%)

Table 2.

Physicochemical and microbiological parameters of demineralized milk whey (demineralization level 50%)

Показатель Indicator	Результаты Results
Титруемая кислотность, ° Т Titratable acidity, ° Т	10,0
Активная кислотность, pH Active acidity, pH	6,07
Степень чистоты по эталону, группа Degree of purity according to the standard, group	1
Массовая доля сухих веществ, % Mass fraction of solids, %	94,0
Массовая доля жира, % Mass fraction of fat, %	0,05
Массовая доля белка, % Mass fraction of protein, %	10,0
Массовая доля лактозы, % Mass fraction of lactose, %	75,0
Массовая доля солей после деминерализации Mass fraction of salts after demineralization	0,09%
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г The number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms, CFU/g	1×10 ⁷
БГКП (колиформы) и патогенные микроорганизмы (в том числе сальмонеллы) BGKP (coliforms) and pathogenic microorganisms (including salmonella)	не выявлено not found

Проанализировав полученные данные установлено, что сыворотка молочная деминерализованная (уровень деминерализации 50%) имеет содержание белка – 10,4%, жира – 1,0%, отличные микробиологические показатели, а следовательно пригодна для производства опытных образцов десертов. Кроме того, учитывая информацию литературных источников, известно, что пищевая и биологическая ценность молочной сыворотки достаточно высока, поэтому целесообразно использование ее в производстве молочной продукции.

Для проведения экспериментов подготовили контрольный образец из сыворотки молочной деминерализованной (уровень деминерализации 50%) с добавлением структурообразующих веществ – концентрата животных белков (КЖБ) или желатин и высокоэтерифицированный пектин, соотношением структурообразователей при производстве молочных десертов является 1: 1,

что вероятно такая композиция стабилизаторов позволит получить десерт со стойкой консистенции на протяжении всего срока хранения.

Анализ литературы показал, что для повышения в продукте содержания минеральных веществ и витаминов целесообразно использовать фруктово-ягодные наполнители. Также при выборе ягодного наполнителя для производства продукта повышенной биологической ценности, необходимо, чтобы молочная и растительная системы дополняли друг друга по содержания биологически-активных веществ. Таким образом, в качестве вкусового наполнителя при производстве десертов на основе деминерализованной сыворотки выбран наполнитель из черной смородины.

На следующем этапе совершенствования технологии молочных десертов на основе деминерализованной сыворотки были разработаны рецептуры продукта. Предложенные рецептуры молочного десерта имеют следующий состав и соотношение компонентов, указанных в таблице 3.

Таблица 3.

Состав и соотношение компонентов в теоретически рассчитанных рецептурах

Table 3.

Composition and ratio of components in theoretically calculated recipes

Рецептура № Recipe №	Состав и соотношение компонентов, масс. % Composition and ratio of components, wt. %				
	сыворотка whey	сахар sugar	наполнитель jam	КЖБ gelatin	пектин pectin
1	83,0	5,0	10,0	2,0	–
2	80,0	5,0	12,5	2,5	–
3	75,0	2,5	20,0	2,5	–
4	80,0	5,0	12,0	3,0	–
5	80,0	5,0	13,0	1,0	1,0

Образцы готовили следующим образом: сухую сыворотку растворяли в воде с температурой 60 °С, оставляли для набухания белков, периодически перемешивая, затем вносили сахар, после подогрели смесь до 55 °С и вносили предварительно набухший в воде (или сыворотке) желатин. В почти остывшую смесь вносили наполнитель смородиновый.

Желатин предварительно выдерживается в необходимом по рецептуре количества холодной воды для набухания не менее 30 мин, затем раствор нагревается до (55–65) °С до полного растворения. Пектин, для лучшего растворения, вносили в некоторое количество воды при температуре 10–15 °С и выдерживают для набухания 40–60 мин. Приготовленные смеси структуро-

образователей вносили в подготовленную сыворотку. Молочную смесь тщательно перемешивали, охлаждали при комнатной температуре 25 °С, охлаждали до температуры 4 ± 2 °С в холодильной камере, для желирования в течение 3 ч. В процессе структурообразования продукта определяли динамическую вязкость, для определения оптимального времени процесса.

В образцах определяли органолептические показатели (вкус, запах, консистенция), титруемую и активно кислотности, динамическую вязкость используя общепринятые методы исследований. Полученные результаты исследований представлены в таблице 4.

Итак, все образцы показали хорошо плотный сгусток при определении динамической вязкости. Но при использовании комбинации гидроколлоидов КЖБ с пектином образуются хлопья, что можно пояснить образованием коллоидных помутнений при взаимодействии углеводов с белками сыворотки. Поэтому было решено в качестве структурообразователя для десерта использовать КЖБ.

При увеличении дозировки КЖБ сгусток становится слишком плотным, что является негативным показателем для легкого воздушного десерта. Проведя анализ полученных результатов пришли к выводу, что рекомендуемое содержание КЖБ в молочном десерте 2,5%.

Следующим этапом исследования было исследование влияния дозировки КЖБ на качественные показатели молочного десерта. В процессе структурообразования продукта определяли динамическую вязкость (рисунок 1), для определения рекомендованного времени процесса.

Исследование продолжительности структурообразования образцов показало, что значение динамической вязкости в течение процесса желирования каждого образца сильно отличались, но общим было то, что все образцы в течение первых 3 часов в холодильной камере при температуре 4 ± 2 °С показывали стремительное изменение значения показателя вязкости, а начиная с 3 ч значение приобрело постоянное значение. Таким образом, для процесса структурообразования рекомендуется достаточно 3 часов в холодильной камере при температуре 4 ± 2 °С.

Далее исследовали влияния фруктового наполнителя на качественные показатели молочного десерта и возможность сочетания с молочными компонентами. Весомым показателем для выбора содержания вкусового наполнителя в продукте является его органолептическая оценка. При органолептической оценке молочных десертов сначала определяют состояние поверхности, вид на разрезе (изломе) и цвет. Кроме того, оценивают способность сохранять форму в готовом продукте. Особое внимание обращают на текстуру (консистенцию). Затем оценивают запах и вкус.

Таблица 4.

Органолептические и физико-химические показатели образцов десерта

Table 4.

Organoleptic and physico-chemical indicators of dessert samples

Показатель Indicator	Значение Value				
	1	2	3	4	5
Органолептические показатели: Organoleptic indicators:					
внешний вид appearance	глянцевая желейная масса, цвет приятный, согласно использованного наполнителя (смородиновый) glossy jelly mass, pleasant color, according to the filler (currant)				
консистенция consistency	гель слабый, не держит форму weak gel, does not hold its shape	гель прочный gel durable	гель прочный, жесткий hard gel	гель слабый, с хлопьями weak gel, with flakes	
вкус и запах taste and smell	приятный pleasant		сильно сладкий strongly sweet	приятный pleasant	
Физико-химические показатели: Physical and chemical indicators:					
титруемая кислотность, °T titrated acidity, °T	15,5	16,0	17,0	16,0	16,0
pH	6,3	6,4	6,5	6,4	6,4
динамическая вязкость, Па×с dynamic viscosity, Pa×s	2,5	3,5	4,0	5,0	3,0

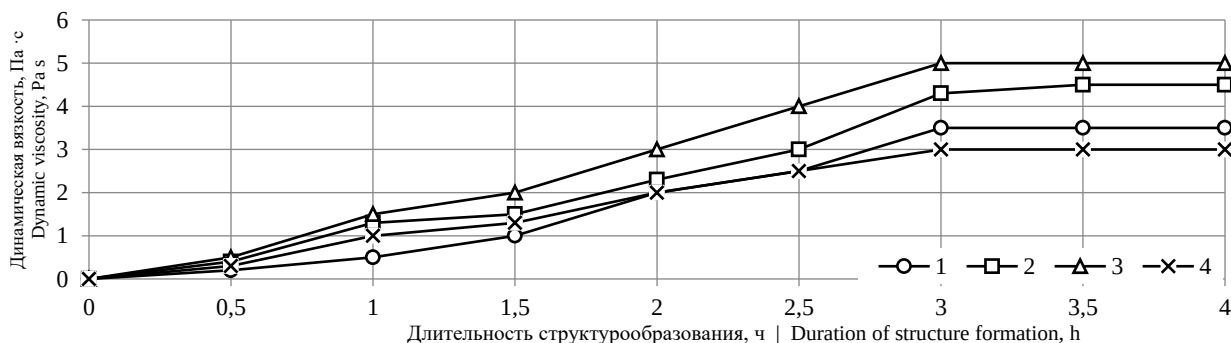


Рисунок 1. Продолжительности структурообразования образцов: 1 – контроль; 2 – образец 2; 3 – образец 4; 4 – образец 5
Figure 1. Duration of structure formation of samples: 1 – control; 2 – sample 2; 3 – sample 4; 4 – sample 5

На рисунке 2 представлена профилограмма, на которой показаны изменения органолептических показателей молочного десерта с дозой наполнителя 10, 15 и 20% в зависимости от показателей контрольного образца (молочный десерт без наполнителя).

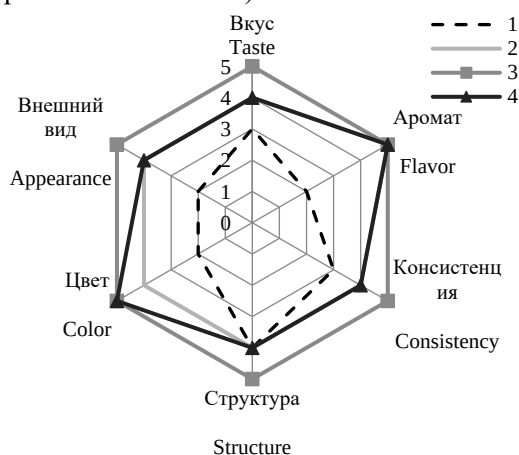


Рисунок 1. Органолептические показатели образцов: 1 – контроль; 2 – образец 2; 3 – образец 4; 4 – образец 5
Figure 2. Organoleptic characteristics of samples: 1 – control; 2 – sample 2; 3 – sample 4; 4 – sample 5

По показателям представленным на профилограмме видно, что для образца контрольного характерен не выраженный вкус. При введении наполнителя в количестве 15% (образец № 2)

интенсивность выраженного вкуса наполнителя увеличивается, вкус становится гармоничным, а при 20% наполнителя (образец № 3) вкус приобретает слишком выраженный привкус наполнителя.

Все образцы продуктов были исследованы на степень синерезиса, результаты показали, что консистенция является стабильной и не выделяется влага. Итак, внесение наполнителя не влияет на синерезис, что является очень важным показателем при производстве молочных десертов.

Таким образом, для производства десертов на основе деминерализованной сыворотки целесообразно выбрать вкусовой наполнитель в количестве до 15% (образец № 2), что наиболее из указанных образцов удовлетворяет органолептическим показателям (вкус, аромат, консистенция, структура, цвет, внешний вид).

В процессе разработки десертов на основе деминерализованной сыворотки были рассчитаны и теоретически охарактеризованы следующие его характеристики: пищевая, биологическая, энергетическая ценность и биологическая эффективность.

Пищевая ценность на 100 г. изготовленного десертов на основе деминерализованной сыворотки представлена в таблице 5. Калорийность изготовленного продукта рассчитывалась теоретически.

Таблица 5.

Пищевая ценность десертов на основе деминерализованной сыворотки

Table 5.

Nutritional value of desserts based on demineralized whey

Нутриенты Nutrients	Количество в продукте Quantity in the product	Норма потребления в сутки Consumption rate per day	% от нормы, в 100 г. % of the norm, in 100 g
Белки Proteins	9,50 г. g	76,0 г g	12,5%
Жиры Fats	0,75 г. g	60,0 г g	1,25%
Углеводы Carbohydrates	17,25 г. g	211,0 г g	8,17%
Вода Water	72,50 г. g	2400,0 г g	3,02%
Калорийность Calories	114 ккал kcal	1684,0 ккал kcal	6,77%

Из таблицы 5 видно, что произведенный продукт имеет хороший показатель содержания белка, а также является низкокалорийным (114 ккал на 100 г. продукта).

Расчетным методом было определено содержание аминокислот в готовом десерте. Лимитирующей биологическую ценность аминокислотой в десерте на основе деминерализованной сыворотки является валин (АКС 117,67%), а в аналоге метионин + цистин (АКС 85,94%). Количество незаменимых аминокислот в десерте на основе деминерализованной сыворотки (539,35 мг/1 г белка) больше на 71,31 мг чем в традиционном молочном десерте. Белок разработанного продукта является полноценным, так как аминокислотные скоры всех незаменимых аминокислот больше 100%.

Существенное значение имеет сбалансированность незаменимых аминокислот, особенно соотношение таких эссенциальных аминокислот, как триптофан, метионин и лизин. Оптимальное их соотношение 1:2:3,5(4,0). В изготовленном десерте на основе деминерализованной сыворотки соотношение триптофана, метионина и лизина составляет 1:2,3:4,42, что является близким к оптимальному.

Заключение

Анализ информационных источников показал, что на сегодняшний день большим спросом пользуются молочные десерты, поскольку кроме отличных вкусовых качеств, они также имеют повышенные биологические свойства. Молочная десертная группа представлена широким ассортиментом, ведь в их рецептурах возможно использование различных наполнителей.

Для приготовления десертов доказана целесообразность использования сухой молочной сыворотки, изготовленной согласно ГОСТ Р 56833–2015 ООО «Новатор». Для исследования возможности использования в качестве основы молочного десерта сухой деминерализованной сыворотки готовили образцы, в которых определяли органолептические, физико-химические показатели. Все образцы показали хороший плотный сгусток при определении степени сгустка и вязкости.

Разработаны и научно обоснованы рецептуры и усовершенствованная технология производства молочных десертов. Путем комплексных экспериментальных исследований установлено: эффективную дозу внесения КЖБ – 1,8%, дозу внесения наполнителя – до 15%, рекомендованы технологические параметры производства.

Рассчитана энергетическая, пищевая и биологическая ценность десертов. Результаты показали, что разработанный десерт является низкокалорийным, с повышенным содержанием белков и незаменимых аминокислот.

Литература

- 1 Евдокимов И.А. Обработка молочного сырья мембранными методами / И.А. Евдокимов, Д.Н. Володин, М.В. Головкина, М.С. Золотарёва, В.К. Топалов // Молочная промышленность. – 2012. – № 2. – С. 34–37.
- 2 Продукты, получаемые с помощью методов мембранной фильтрации / [автор текста ООО «ГЕА Процессный инжиниринг». // Молочная промышленность. – 2010. – № 1. – С. 38–39.
- 3 Евдокимов И.А. Мембранные технологии в молочном производстве / И.А. Евдокимов, Д.Н. Володин, В.С. Сомов, Б.В. Чаблин, В.А. Михнева, М.С. Золоторева // Молочная промышленность. – 2013. – № 9. – С. 25–26.
- 4 Просеков, А.Ю. Биотехнология изготовления десертной продукции из молочной сыворотки [Текст] / А.Ю. Просеков, О.В. Козлова, Д.В. Сметанин // Переработка молока: Специализированный информационный бюллетень. – 2009. – № 11. – С. 54–56
- 5 Маркелова В.В., Красникова Л.В. Десерты из молочной сыворотки – продукты функционального назначения // Сборник материалов XIV Всероссийского конгресса диетологов и нутрициологов «Питание и здоровье». – Москва, 2012. – С. 45
- 6 Kimberlee (K.J.) Burrington. Whey protein heat stability / Kimberlee (K.J.) Burrington // U.S. Dairy Export Council. – 2012. – № 1 – P. 1–8
- 7 7 Агаркова Е.Ю. Технологии продуктов на основе баромембранных методов / Е.Ю. Агаркова, Г.В. Фриденберг // Молочная промышленность. – 2011. – № 7. – С. 28–29.
- 8 8 Володин Д.Н. Прогрессивный подход к классическим технологиям / Д.Н. Володин, В.К. Топалов, М.В. Головкина, Г.С. Анисимов, В.А. Везирян // Молочная промышленность. – 2012. – № 10. – С. 31–32.
- 9 Волокитина З.В. Использование белков молочной сыворотки [Текст] / З.В. Волокитина, Ж.Л. Гучок, И.И. Ионова // Молочные реки. – 2008. – № 4 (32). – С. 16–19.
- 10 Богданова, Е.В. Гидролизаты сывороточных белков в технологии продуктов для спортивного питания / Е.В. Богданова, Е.И. Мельникова // Молочная промышленность. – 2018. – № 4. – С. 45–47.
- 11 Богданова, Е.В. Усвояемость гидролизата β-лактоглобулина в экспериментах in vivo / Е.В. Богданова, Е.И. Мельникова, А.В. Гребенщиков // Молочная промышленность. – 2019. – № 3. – С. 41–42.
- 12 Гарбуз, С.А. Методы получения биологически активных пептидов путем гидролиза молочных белков / С.А. Гарбуз, Л.А. Забодалова // 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 / S.R. Cabral // Journal of Membrane Science & Research. – 2019. – Vol. 5. – Issue 2. – P. 172–177.
- 14 Henriques, M. Liquid Whey Protein Concentrates Produced by Ultrafiltration as Primary Raw Materials for Thermal Dairy Gels / M. Henriques, D. Gomes, C. Pereira // Food Technology and Biotechnology. – 2017. – No 55 (4). – P. 454–463
- 15 Iwaniak, A. Understanding the nature of bitter-taste di- and tripeptides derived from food proteins based on chemometric analysis/ A. Iwaniak et al. // Journal of Food Biochemistry. – 2018. – Vol. 11. – P. 235–244.
- 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.
- 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.
- 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.
- 19 Dnaz-Ramirez M., Calderyn-Domínguez G., Garcha-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.
- 20 Oboceanu 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. Pico J., Reguilyn M.P., Bernal J., Gyme 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.

References

- 1 Evdokimov I.A. Processing of milk raw materials by membrane methods / I.A. Evdokimov, D.N. Volodin, M.V. Golovkina, M.S. Zolotareva, V.K. Topalov // Dairy industry. – 2012. – no. 2. – pp. 34–37. (in Russian).
- 2 Products obtained using membrane filtration methods / [author of the text GEA Process Engineering LLC]. // Dairy industry. – 2010. – no. 1. – pp. 38–39. (in Russian).

- 3 Evdokimov I.A. Membrane technologies in dairy production / I.A. Evdokimov, D.N. Volodin, V.S. Somov, B.V. Chablin, V.A. Mikhneva, M.S. Zolotoreva // *Molochnaya industry*. – 2013. – no. 9. – pp. 25–26. (in Russian).
- 4 Prosekov, A. Yu. Biotechnology for the manufacture of dessert products from whey [Text] / A. Yu. Prosekov, O.V. Kozlova, D.V. Smetanin // *Milk processing: Specialized information bulletin*. – 2009. – no. 11. – P. 54–56 (in Russian).
- 5 Markelova V.V., Krasnikova L.V. Desserts from whey – functional products // Collection of materials of the XIV All-Russian Congress of Dietitians and Nutritionists "Nutrition and Health". – Moscow, 2012. – pp. 45. (in Russian).
- 6 Kimberlee (K.J.) Burrington. Whey protein heat stability / Kimberlee (K.J.) Burrington // *U.S. Dairy Export Council*. – 2012. – № 1 – P. 1–8
- 7 Agarkova E. Yu. Product technologies based on baromembrane methods / E. Yu. Agarkova, G.V. Friedenberg // *Dairy industry*. – 2011. – no. 7. – pp. 28–29. (in Russian).
- 8 Volodin D.N. Progressive approach to classical technologies / D.N. Volodin, V.K. Topalov, M.V. Golovkina, G.S. Anisimov, V.A. Veziryan // *Dairy industry*. – 2012. – no. 10. – pp. 31–32. (in Russian).
- 9 Volokitina Z.V. Use of whey proteins [Text] / Z.V. Volokitina, Zh. L. Guchok, I.I. Ionova // *Dairy rivers*. – 2008. – no. 4 (32). – pp. 16–19. (in Russian).
- 10 Bogdanova, E.V. Whey protein hydrolysates in the technology of products for sports nutrition / E.V. Bogdanova, E.I. Melnikova // *Dairy industry*. – 2018. – no. 4. – pp. 45–47. (in Russian).
- 11 Bogdanova, E.V. Digestibility of β -lactoglobulin hydrolyzate in experiments in vivo / E.V. Bogdanova, E.I. Melnikova, A.V. Grebenshchikov // *Dairy industry*. – 2019. – no. 3. – pp. 41–42. (in Russian).
- 12 Garbuz, S.A. Methods of obtaining biologically active peptides by hydrolysis of milk proteins / S.A. Garbuz, L.A. Zabodalova // *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 / S.R. Cabral // *Journal of Membrane Science & Research*. – 2019. – Vol. 5. – Issue 2. – P. 172–177.
- 14 Henriques, M. Liquid Whey Protein Concentrates Produced by Ultrafiltration as Primary Raw Materials for Thermal Dairy Gels / M. Henriques, D. Gomes, C. Pereira // *Food Technology and Biotechnology*. – 2017. – no. 55 (4). – P. 454–463
- 15 Iwaniak, A. Understanding the nature of bitter-taste di- and tripeptides derived from food proteins based on chemometric analysis/ A. Iwaniak et al. // *Journal of Food Biochemistry*. – 2018. – Vol. 11. – P. 235–244.
- 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.
- 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.
- 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.
- 19 Dnaz-Ramirez M., Calderyn-Dominguez G., Garcha-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.
- 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. 102–101.

Сведения об авторах

Владимир И. Омельчук к.т.н., доцент, кафедра технологии и оборудования производства и переработки продукции животноводства, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, пр-т Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Россия, omelchukvova@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2709-8824>

Татьяна В. Калиновская к.с.-х.н., доцент, кафедра технологии и оборудования производства и переработки продукции животноводства, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, пр-т Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Россия, kalinovskaya_88@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0000-8052-2014>

Александр В. Гаврилов к.т.н., доцент, кафедра технологии и оборудования производства и переработки продукции животноводства, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, пр-т Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Россия, 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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Vladimir I. Omelchuk Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technologies and equipment for production and processing of livestock products department, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Vernadskogo av., 4, Simferopol, Russia, 295007, omelchukvova@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2709-8824>

Tatiana V. Kalinovskaya Cand. Sci. (Agricultural), associate professor, technologies and equipment for production and processing of livestock products department, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Vernadskogo av., 4, Simferopol, Russia, 295007, kalinovskaya_88@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0000-8052-2014>

Alexander V. Gavrilov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technologies and equipment for production and processing of livestock products department, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Vernadskogo av., 4, Simferopol, Russia, 295007, tehfac@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3382-0307>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/12/2022	После редакции 20/01/2023	Принята в печать 01/02/2023
Received 20/12/2022	Accepted in revised 20/01/2023	Accepted 01/02/2023

Анализ показателей качества цельнозернового хлеба на хмелевых заквасках

Екатерина И. Быковская	¹	ekaterina.bykovskaya@inbox.ru	 0000-0002-8629-7954
Анна Е. Ковалева	¹	a.e.kovaleva@ya.ru	 0000-0001-7807-1755
Эльвира А. Пьяникова	¹	alia1969@ya.ru	 0000-0003-4424-7323
Ирина А. Говядова	¹	tt-kstu@ya.ru	

¹ Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия

Аннотация. В исследовании представлен сравнительный анализ органолептических и физико-химических показателей пяти образцов цельнозернового хлеба, выработанного с применением различных заквасок на основе хмелевых шишек. Оценка качества проводилась по показателям: форма, поверхность, цвет, пропеченность, пористость, промес, вкус и запах, а затем все образцы сопоставлялись с показаниями ГОСТ и сравнивались друг с другом. По результатам анализа показателей качества выявлен рецептурный состав, который обладает наиболее перспективными химическими и физическими характеристиками. Все образцы цельнозернового хлеба с предлагаемыми заквасками по органолептическим показателям соответствовали контрольному образцу, выработанному по классической рецептуре и требованиям, указанным в ГОСТ. По физико-химическим показателям все исследуемые образцы также отвечали требованиям ГОСТ. Применение в рецептуре хлеба цельнозернового закваски на основе хмелевых шишек благоприятно сказывалось на органолептических показателях готового продукта. При этом изделия приобретали цвет от золотистого до темно-золотистого (более темный оттенок у образца №3 с добавлением корня солодки в закваску), имели приятные хлебный вкус и запах, свойственные данному наименованию изделий. При оценке пористости установлено, что во всех образцах, кроме образца №3, наблюдается более развитая структура, но показатель не выходит за пределы требований нормативных документов. В процессе хранения образцов цельнозернового хлеба по истечении 72 часов влажность мякиша уменьшилась у образца №1 на 1,5%, образца №2 – на 2,3%, образца №3 – на 3,1%, образца №4 – на 3,1%. По данному показателю образец №3 не соответствовал требованиям ГОСТ. Образцы хлеба цельнозернового №1, №2 и №4 по результатам проведенных исследований отвечают требованиям нормативной документации, но лучшим и рекомендуемым к внедрению является образец №1.

Ключевые слова: хлеб цельнозерновой, хмелевая закваска, органолептические показатели, физико-химические показатели, сроки годности.

Analysis of the quality indicators of whole grain bread on hop ferments

Ekaterina I. Bykovskaya	¹	ekaterina.bykovskaya@inbox.ru	 0000-0002-8629-7954
Anna E. Kovaleva	¹	a.e.kovaleva@ya.ru	 0000-0001-7807-1755
Elvira A. Pyanikova	¹	alia1969@ya.ru	 0000-0003-4424-7323
Irina A. Govyadova	¹	tt-kstu@ya.ru	

¹ South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia

Abstract. The study presents a comparative analysis of the organoleptic and physico-chemical parameters of five samples of whole-grain bread produced using various ferments based on hop cones. The quality assessment was carried out according to the following indicators: shape, surface, color, baking, porosity, promes, taste and smell, and then all samples were compared with the GOST readings and compared with each other. According to the results of the analysis of quality indicators, a prescription composition has been identified that has the most promising chemical and physical characteristics. All samples of whole-grain bread with the proposed ferments according to organoleptic parameters corresponded to the control sample developed according to the classical recipe and the requirements specified in GOST. According to physico-chemical parameters, all the studied samples also met the requirements of GOST. The use of whole-grain sourdough based on hop cones in the bread recipe had a positive effect on the organoleptic characteristics of the finished product. At the same time, the products acquired a color from golden to dark golden (a darker shade in sample No. 3 with the addition of licorice root to the starter), had a pleasant bread taste and smell characteristic of this product name. When assessing porosity, it was found that in all samples, except sample No. 3, a more developed structure is observed, but the indicator does not go beyond the requirements of regulatory documents. During the storage of whole grain bread samples after 72 hours, the moisture content of the crumb decreased in sample No. 1 by 1.5%, sample No. 2 – by 2.3%, sample No. 3 – by 3.1%, sample No. 4 – by 3.1%. According to this indicator, sample No. 3 did not meet the requirements of GOST. Samples of wholegrain bread No. 1, No. 2 and No. 4 according to the results of the conducted studies meet the requirements of regulatory documentation, but the best and recommended for implementation is sample No. 1.

Keywords: whole grain bread, hop starter culture, organoleptic indicators, physico-chemical indicators, shelf life.

Введение

В течение нескольких тысяч лет хлеб был и остается одним из основных компонентов рациона человека, а пшеница, безусловно, является самым важным злаком в хлебопечении [1].

Двумя наиболее важными факторами успеха хлеба как основного продукта питания являются его простота в плане ингредиентов и приготовления, а также разнообразие злаков, которые можно использовать для его выпечки [2].

Для цитирования

Быковская Е.И., Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А., Говядова А.И. Анализ показателей качества цельнозернового хлеба на хмелевых заквасках // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 71–78. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-71-78

For citation

Bykovskaya E.I., Kovaleva A.E., Pyanikova E.A., Govyadova I.A. Analysis of the quality indicators of whole grain bread on hop ferments. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 71–78. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-71-78

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

Качество продукции определяется безопасностью и потребительскими характеристиками.

Оценка качества продуктов питания потребителями в значительной степени зависит от их вкусовых свойств. Помимо пищевой ценности и происхождения продукты должны быть приятными при употреблении. Эта оценка зависит от внешнего вида, формы, текстуры, запаха и вкуса, то есть органолептических свойств [3–5]. Запах и вкус цельнозернового хлеба на закваске зависят от ферментирующей микрофлоры и сырья, используемого для производства [6].

Закваска используется для улучшения качественных показателей хлеба. Она представляет собой смесь из воды и зерновой муки и включает в себя сложную, неасептическую ферментационную экосистему, которую можно использовать в качестве добавки при выпечке хлеба. Закваска также оказывает решающее влияние на качество конечного продукта, включая антимикробное, питательное, функциональное действие [7].

Применение заквасок, приготовленных на натуральном растительном сырье, в технологии хлебопечения оказывает положительное воздействие на текстуру, вкусовые качества, аромат, сроки годности и пищевую ценность пшеничного и ржаного хлеба [8–10].

Цель работы – проанализировать показатели качества цельнозернового хлеба на хмелевых заквасках.

Материалы и методы

Оценка качества образцов хлеба по органолептическим показателям проводится в соответствии с требованиями нормативных документов по следующим показателям: внешний вид, состояние мякиша, вкус и запах [11].

Внешний вид оценивают по форме, состоянию поверхности, цвету, состоянию и толщине корки. Отмечают симметричность и правильность формы хлеба. Формовые изделия должны соответствовать хлебной форме, без боковых выплывов. Подовые изделия должны иметь не расплывчатую форму: округлую, овальную или продолговато-овальную.

Изделия должны иметь гладкую поверхность, без крупных трещин и подрывов. Трещины – это разрывы, проходящие через верхнюю корку. Подрывом считается отрыв боковой корки от верхней у формового хлеба или по окружности – у подового.

Стандартом допускается цвет корки – от светло-коричневого до темно-коричневого. Цвет можно характеризовать как бледный, золотисто-желтый, светло-коричневый, темно-коричневый и коричневый.

Состояние мякиша оценивают по пропеченности, отсутствию признаков непромеса, цвету, эластичности и пористости.

Состояние мякиша по пропеченности характеризуют как «пропеченный, не липкий, не влажный на ощупь, эластичный», по отсутствию признаков непромеса характеризуют как «без комочков и следов непромеса».

Цвет мякиша определяют при дневном свете, отмечая равномерность окраски.

Структуру пористости оценивают по размеру, равномерности распределения и толщине стенок пор как «развитая без пустот и уплотнений». Эластичность определяют легким надавливанием пальцами на мякиш.

Вкус и запах хлеба определяют при дегустации, отмечают соответствие их данному наименованию, наличие или отсутствие посторонних привкуса и запаха.

Органолептическая оценка качества продукта может быть дифференцированной (по отдельным показателям качества) и комплексной, учитывающей значение всех показателей, характерных для данного продукта. При органолептическом анализе качества продукта используют систему предпочтительной оценки и систему балльной оценки.

Балльная система органолептического анализа позволяет количественно определить качество продукта. Для органолептической оценки была разработана шкала балльной оценки качества хлеба, в которой на каждый показатель отводилось максимальное количество баллов – 5, общая сумма баллов составляла 40 баллов. Шкала балльной оценки хлеба представлена в таблице 1.

К числу основных физико-химических показателей качества хлеба относят массовую долю влаги, кислотность и пористость мякиша.

От массовой доли влаги хлеба зависит его физиологическая ценность и технико-экономические показатели работы хлебопекарных предприятий. Чем выше массовая доля влаги мякиша хлеба, тем меньше в нем питательных веществ и ниже его энергетическая ценность.

Определение массовой доли влаги хлеба позволяет контролировать правильность ведения технологического процесса: точность дозирования сырья, муки, воды и других ингредиентов. Определение проводят по ГОСТ 21094–75 путем высушивания в сушильном шкафу при определенных условиях и выражают в процентах.

Кислотность готовых изделий определяют по ГОСТ 5670–96 титрованием фильтрата, полученного из крошки хлебных изделий.

Пористость готовых хлебобулочных изделий определяют по ГОСТ 5669–96 и указывают нижний предел пористости хлеба при помощи пробника Журавлева. Пористость характеризует усвояемость хлеба. Структура пористости определяется величиной пор, однородностью и толщиной стенок.

Таблица 1.

Шкала балльной оценки качества хлеба

Table 1.

Bread quality score scale

Показатели Indicators	Балльная шкала оценки Score scale of assessment			
	5	4	3	2
Форма Form	Округлая, овальная или продолговато-овальная, не расплывчатая, без притисков Rounded, oval or oblong-oval, not blurry, without prisms	Округлая, овальная или продолговато-овальная, не расплывчатая, с небольшими притисками Rounded, oval or oblong-oval, not blurry, with small prisms	Форма округлая, овальная или продолговато-овальная, слегка расплывчатая, с притисками The shape is rounded, oval or oblong-oval, slightly blurry, with prisms	Не соответствует хлебной форме, расплывчатая, с опавшей корочкой Does not correspond to the bread form, vague, with a fallen crust
Поверхность Surface	Без крупных трещин и подрывов, с наколами или надрезами, или без; гладкая или шероховатая. Допускается: мучнистость для подового хлеба Without large cracks and explosions, with or without punctures or incisions; smooth or rough. Allowed: meakyness for hearth bread	Гладкая или шероховатая, с небольшими трещинами и подрывами, Допускается: мучнистость Smooth or rough, with small cracks and explosions, Allowed: meakyness	Шероховатая, без глянца поверхность, с трещинами и подрывами. Допускается мучнистость The surface is rough, without gloss, with cracks and explosions. Meakyness is allowed	Опавшая корка. Шероховатая, без глянца поверхность с крупными трещинами и подрывами. Отслоение корки от мякиша Fallen crust. Rough, glossless surface with large cracks and explosions. Peeling of the crust from the crumb
Цвет Colour	От светло-желтого до темно-коричневого From light yellow to dark brown	От светло-коричневого до темно-коричневого From light brown to dark brown	От бледно-коричневого до темно-коричневого From pale brown to dark brown	Бледно-серый или коричнево-серый до черного Pale grey or brownish grey to black
Пропеченность Baking	Пропеченный, не влажный на ощупь. Эластичный, после легкого надавливания пальцами мякиш должен принимать первоначальную форму Baked, not moist to the touch. Elastic, after light pressure with fingers, the crumb should take its original shape	Не влажный на ощупь. После легкого надавливания пальцами мякиш медленно принимает первоначальную форму Not wet to the touch. After light pressure with your fingers, the crumb slowly takes its original shape	Влажный на ощупь. После легкого надавливания пальцами мякиш не принимает первоначальную форму Moist to the touch. After light pressure with your fingers, the crumb does not take its original shape	Не пропеченный, влажный на ощупь. Не эластичный, после легкого надавливания пальцами мякиш не принимает начальную форму Unpeeled, moist to the touch. Not elastic, after light pressure with fingers, the crumb does not take its initial shape
Промес Promes	Без комочков и следов непромеса Without lumps and traces of non-kneading	Наблюдаются небольшие комочки, без следов непромеса Small lumps are observed, without traces of non-kneading	Наблюдаются небольшие комочки и следы непромеса There are small lumps and traces of non-kneading	С комочками и плохо промешанное With lumps and poorly mixed
Пористость Porosity	Развитая, без пустот и уплотнений Developed, without voids and seals	Не сильно развитая, без пустот, без уплотнений Not very developed, without voids, without seals	Плохо развитая, без пустот, с небольшими уплотнениями у корки Poorly developed, without voids, with small seals at the crust	Неразвитая, с пустотами или сильно уплотненная Undeveloped, with voids or heavily compacted
Вкус Taste	Свойственный данному виду изделия, без постороннего привкуса Characteristic of this type of product, without extraneous taste	Слабо выраженный вкус данного продукта, без постороннего привкуса Weakly pronounced taste of this product, without extraneous taste	Плохо выраженный вкус данного продукта с вносимой добавкой, с посторонним привкусом Poorly expressed taste of this product with an added additive, with an extraneous taste	Не свойственный данному виду изделий с ярко выраженным посторонним вкусом не свойственным дополнительно вводимому сырью Not peculiar to this type of products with a pronounced extraneous taste not peculiar to the additionally introduced raw materials
Запах Smell	Свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха Characteristic of this type of product, odorless	Слабо выраженный запах данного продукта, без постороннего запаха Weakly pronounced smell of this product, without foreign smell	Плохо выраженный запах данного продукта, с посторонним запахом Poorly expressed odor of this product, with an extraneous odor	Не свойственный данному виду изделий, с посторонним запахом, запахом затхлости и плесени Not peculiar to this type of products, with an extraneous odor, the smell of mustiness and mold

Органолептические показатели образцов хлеба

Таблица 2.

Table 2.

Organoleptic characteristics of bread samples

Показатели Indicators	Образцы Samples				
	контрольный control	№1	№2	№3	№4
Форма Form	Овальная форма, без боковых выплывов, с отчетливой выпуклой коркой Oval shape, without lateral bulges, with a distinct convex crust	Прямоугольная, правильная форма, хлебная корка отчетливо выпуклая, без боковых выплывов Rectangular, regular shape, the bread crust is distinctly convex, without lateral bulges	Прямоугольная, правильная форма, корка хлеба выпуклая и без выплывов Rectangular, regular shape, the crust of bread is convex and without bulges	Прямоугольная, правильная форма, отсутствуют боковые выплывы, корка хлеба умеренно выпуклая Rectangular, regular shape, no side bulges, bread crust moderately convex	Овальной формы, с выпуклой верхней коркой, без боковых выплывов Oval shape, with a convex upper crust, without lateral bulges
Поверхность Surface	Присутствуют небольшие трещины и рельефные следы на поверхности, без надрезов и наколов There are small cracks and relief marks on the surface, without incisions and punctures	Имеются мелкие незначительные трещины на поверхности и продольный рельеф There are small minor cracks on the surface and longitudinal relief	Присутствуют трещины, с продольным рельефом There are cracks, with a longitudinal relief	По краю хлеба идет продольный рельеф, имеются трещины There is a longitudinal relief along the edge of the bread, there are cracks	Трещины на поверхности хлебного изделия, по краю хлеба – круговой рельеф Cracks on the surface of the bread product, a circular relief along the edge of the bread
Цвет Colour	Коричневый Brown	Золотистый Golden	Темно-золотистый Dark golden	Темно-золотистый Dark golden	Светло-коричневый Light brown
Пропеченность Baking	Пропечен, эластичный, мякиш не влажный на ощупь, после надавливания принимает изначальную форму Baked, elastic, the crumb is not moist to the touch, after pressing it takes its original shape	Мякиш не влажный на ощупь, пропеченный, принимает первоначальную форму The crumb is not moist to the touch, baked, takes its original shape	Мякиш не влажный на ощупь, после надавливания принимает первоначальную форму The crumb is not wet to the touch, after pressing it takes its original shape	Не влажный на ощупь. После легкого надавливания пальцами мякиш медленно принимает первоначальную форму Not wet to the touch. After light pressure with your fingers, the crumb slowly takes its original shape	Мякиш не влажный на ощупь, пропеченный, принимает первоначальную форму The crumb is not moist to the touch, baked, takes its original shape
Промес Promes	Наблюдаются небольшие комочки, без следов непомеса Small lumps are observed, without traces of non-kneading	Наблюдаются небольшие комочки, без следов непомеса Small lumps are observed, without traces of non-kneading	Без комков и следов непомеса Without lumps and traces of non-kneading	Наблюдаются небольшие комочки, без следов непомеса Small lumps are observed, without traces of non-kneading	Без комков и следов непомеса Without lumps and traces of non-kneading
Пористость Porosity	Развитая, без пустот и уплотнений Developed, without voids and seals	Развитая, без пустот и уплотнений Developed, without voids and seals	Развитая, без пустот и уплотнений Developed, without voids and seals	Развитая, без пустот и уплотнений Developed, without voids and seals	Развитая, без пустот и уплотнений Developed, without voids and seals
Вкус Taste	Хлебный приятный вкус, кисло-сладкий привкус, без постороннего привкуса Bread has a pleasant taste, sweet and sour taste, without foreign taste	Приятный вкус, без постороннего привкуса Pleasant taste, without foreign taste	Соответствует хлебному изделию Corresponds to a bread product	Вкус имеет легкий и приятный привкус ржаных отрубей The taste has a light and pleasant taste of rye bran	Чувствуется вкус отрубей, вкус приятный и соответствует The taste of bran is felt, the taste is pleasant and corresponds to
Запах Smell	Хлебный приятный запах, без постороннего запаха Bread has a pleasant smell, without foreign smell	Запах имеет приятные хлебные ноты The smell has pleasant bread notes	Присутствует приятный хлебный запах There is a pleasant bread smell	Отсутствует посторонний запах, присутствует хлебный запах There is no foreign smell, there is a bread smell	Запах соответствует хлебному изделию, пахнет приятно The smell corresponds to the bread product, it smells nice

Результаты и обсуждение

На основе разработанных рецептов заквасок были предложены рецептурные составы хлеба цельнозернового пшеничного [10]. Оценка показателей выпеченных образцов хлеба проводилась с использованием экспертного и органолептического методов. Экспертный метод основан на том, что каждый из 5 экспертов, участвующих в опросе, присваивает каждому из критериев определенный балл [12].

Органолептические показатели образцов хлеба представлены в таблице 2.

При сопоставлении органолептических показателей образцов установлено, что они полностью соответствуют требованиям нормативных документов. Среднее значение балльной оценки экспертов для разработанных образцов хлеба цельнозернового на заквасках представлено в таблице 3.

Таблица 3.

Оценка экспертов

Table 3.

Expert assessment

Показатели Indicators	Балльная оценка экспертов Expert score				
	контроль control	Образец № 1 Sample № 1	Образец № 2 Sample № 1	Образец № 3 Sample № 3	Образец № 4 Sample № 4
Форма Form	4,6	5,0	5,0	5,0	5,0
Поверхность Surface	4,8	5,0	4,8	4,6	4,6
Цвет Colour	5,0	5,0	5,0	5,0	4,8
Пропеченность Baking	4,8	5,0	4,8	4,8	5,0
Промес Promes	4,8	4,8	5,0	4,8	5,0
Пористость Porosity	4,8	4,8	4,8	5,0	4,8
Вкус Taste	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Запах Smell	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Итого Total	38,8	39,6	39,4	39,0	39,0

В ходе проведенного исследования было выявлено, что лучшим оказался образец хлеба № 1, получивший 39,6 балла из 40 возможных. Максимальные оценки дегустаторы поставили данному образцу по показателям «форма», «поверхность», «цвет», «пропеченность», «вкус» и «запах». Цвет у изделия золотистый, форма прямоугольная без выплывов, поверхность без крупных трещин и надрывов, без надрезов и наколов. Мякиш пропеченный и эластичный, изделие имеет хлебный приятный вкус и запах, без посторонних запахов и привкусов.

У образца хлеба № 2 форма правильная, прямоугольная. Поверхность – слегка шероховатая. Цвет у изделия темно-золотистый. Мякиш пропеченный и эластичный, пористость однородная и равномерная. Следов непромеса не наблюдалось. Один дегустатор отметил, что у образца № 2 на поверхности присутствуют небольшие подрывы, за что и снизил ему балл. Запах и вкус приятные, хлебные.

У образца хлеба № 3 форма правильная, прямоугольная, без притисков. Поверхность – слегка шероховатая, немного выпуклая. Цвет

у изделия темно-золотистый. Мякиш пропеченный, пористость однородная. По показателю «поверхность» два дегустатора отметили присутствие трещин, по промесу один дегустатор обратил внимание на присутствие в мякише вкраплений в виде комочков. Запах и вкус у изделия приятные, хлебные.

У образца хлеба № 4 форма прямоугольная, правильная, с выпуклой верхней коркой. На поверхности присутствует незначительная шероховатость. Цвет – светло-коричневый. Мякиш пропеченный, не влажный на ощупь. Комочки и следы непромеса отсутствуют. Запах и вкус приятные, хлебные. По показателю «поверхность» два дегустатора отметили присутствие мучнистости, за что и снизили баллы. Один дегустатор отметил, что цвет у хлеба имеет сероватый оттенок, и оценил его в 4 балла. Вкус и запах приятные, соответствуют требованиям.

Разработанные образцы цельнозернового хлеба на заквасках были исследованы по физико-химическим показателям качества. Полученные результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Физико-химические показатели образцов хлеба

Table 4.

Physico-chemical parameters of bread samples

Показатель Indicator	ГОСТ 31807-2018 GOST 31807-2018	Образцы Samples				
	пшенично-ржаной wheat-rye	контроль control	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Влажность мякиша, % Crumb moisture, %	19–50	50	46	42	42	46
Кислотность мякиша, °Т, < Acidity of the crumb, °Т, <	11	3,6	3,6	3,2	3,2	3,8
Пористость мякиша, %, > Porosity of the crumb, %, >	46	50	65	64	64	64

Из полученных в ходе исследований физико-химических показателей качества хлеба (влажность, кислотность и пористость) результатов видно, что у всех образцов показатели отличаются незначительно и варьируются в довольно узких пределах.

По показателю «кислотность» образцы хлеба цельнозернового также не превышают нормы и составляют для образцов № 1, № 2, № 3 и № 4 соответственно 3,6, 3,2, 3,2 и 3,8 град. У образца № 3 значение данного показателя немного выше, чем у трех других. Возможно, это связано с тем, что в нем содержится большее количество цельнозерновой пшеничной муки.

По показателю «пористость»: для образца № 1 этот показатель составил 65%, для образцов № 2, № 3 и № 4 – по 64%.

Также было проведено исследование разработанных образцов хлеба цельнозернового на заквасках на установление сроков годности. Для этого исследуемые образцы хлеба закладывались на хранение в закрытые емкости при комнатной температуре и режимах, соответствующих стандартным условиям хранения хлеба. По истечении выделенного времени проводили исследования физико-химических показателей: влажности, кислотности и пористости. Результаты проведенного исследования представлены в таблице 5.

Таблица 5.
Характеристика физико-химических показателей цельнозернового хлеба в процессе хранения
Table 5.

Characteristics of physico-chemical parameters of whole grain bread during storage

Показатель Indicator	ГОСТ 31807-2018 GOST 31807-2018 пшенично-ржаной wheat-rye	Образцы Samples							
		4 часа хранения 4 hours of storage				72 часа хранения 72 hours of storage			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Влажность мякиша, % Crumb moisture, %	19–50	46	42	42	46	44,5	39,7	38,9	42,9
Кислотность мякиша, °T, < Acidity of the crumb, °T, <	11	3,6	3,2	3,2	3,8	3,5	3,2	3,2	3,8
Пористость мякиша, %, > Porosity of the crumb, %, >	46	65	64	64	64	64	63,6	63,5	63

В ходе проведенного исследования установлено, что конечные изменения показателей кислотности и пористости мякиша хлеба не имеют существенной разницы от начала данного исследования, в отличие от влажности мякиша, где произошло небольшое уменьшение данных изначально значений.

Влажность мякиша образца № 1 уменьшилась на 1,5%, образца № 2 – на 2,3%, образца № 3 – на 3,1%, образца № 4 – на 3,1% спустя 72 часа. Наиболее интенсивно процесс потери влаги протекает в первые 24 часа хранения. При этом значительных отличий в характере протекания рассматриваемого процесса отмечено не было.

Кислотность мякиша образца № 1 уменьшилась на 0,1°, у образцов № 2, № 3 и № 4 изменения показателей отсутствуют спустя 72 часа. Показатели данных образцов соответствуют нормам показателей ГОСТ спустя данный промежуток времени.

Пористость мякиша образца № 1 уменьшилась на 1%, образца № 2 – на 0,4%, образца № 3 – на 0,5%, образца № 4 – на 1% спустя 72 часа. Показатели данных образцов соответствуют нормам показателей ГОСТ спустя данный промежуток времени.

Заключение

В ходе проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

– применение хмелевой закваски (без добавления отвара корня солодки и неферментированного солода – образец № 1) в рецептуре хлеба благоприятно сказывается на органолептических показателях цельнозернового хлеба: изделие приобретает золотистый цвет, имеет правильную форму, приятные хлебный вкус и запах;

– использование хмелевой закваски (образец № 1) оказывает влияние на пористость цельнозернового хлеба (она становится более развитая), снижает кислотность и влажность мякиша в сравнении с контрольным образцом хлеба;

– применение обогащающих компонентов в заквасках для хлеба (хмеля, солода неферментированного и корня солодки) позволяет замедлить процесс потери влаги в процессе хранения и не оказывает влияние на другие физико-химические показатели хлеба;

– по результатам проведенных исследований разработанных образцов хлеба цельнозернового по органолептическим и физико-химическим показателям лучшим и рекомендуемым к внедрению является образец № 1.

Литература

1. Ktenioudaki A., Alvarez-Jubete L., Gallagher E. A review of the process-induced changes in the phytochemical content of cereal grains: the breadmaking process // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2015. V. 55 (5). P. 611–619.
2. Carocho M., Morales P., Ciudad-Mulero M. et.al. Comparison of different bread types: Chemical and physical parameters // Food Chemistry. 2020. V.310. P. 125954. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125954

3. Clement H., Prost C., Rannou C., Chiron H. et.al. Can instrumental characterization help predicting sour taste perception of wheat sourdough bread? // Food Research International. 2020. V. 133. P. 109159. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109159
4. Pontonio E., Rizzello C.G., Cagno Di R. et.al. How organic farming of wheat may affect the sourdough and the nutritional and technological features of leavened baked goods // International Journal of Food Microbiology. 2016. V. 239. P. 44–53. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2016.07.013
5. Калужских А.Г., Долгополова Н.В., Котельникова М.Н. Исследование возможности использования кориандра в технологии производства пшеничного хлеба // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 1. С. 30–37.
6. Corona O., Alfonzo A., Ventimiglia G. et.al. Industrial application of selected lactic acid bacteria isolated from local semolinas for typical sourdough bread production // Food Microbiology. 2016. V. 59. P. 43–56.
7. Jagelaviciute J., Cizeikiene D. The influence of non-traditional sourdough made with quinoa, hemp and chia flour on the characteristics of gluten-free maize/rice bread // LWT. 2021. V. 137. P. 110457. doi: 10.1016/j.lwt.2020.110457
8. Cai L.M., Choi I., Park C.S., Baik B.K. Bran hydration and physical treatments improve the bread-baking quality of whole grain wheat flour // Cereal Chem. 2015. V. 92. P. 557–564.
9. Ma F., Lee Y.Y., Parkd E. et.al. Influences of hydrothermal and pressure treatments of wheat bran on the quality and sensory attributes of whole wheat Chinese steamed bread and pancakes // J. of Cereal Science. 2021. V. 102. P. 103356.
10. Пьяникова Э.А., Ковалева А.Е., Быковская Е.И., Говядова И.А. и др. Разработка технологии цельнозернового хлеба с применением различных заквасок // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 4. С. 23–30.
11. Заикина М.А. Разработка и оценка качества нетрадиционного ржано-пшеничного заварного хлеба // Новые концептуальные подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности в современных условиях: сборник статей VI Международной научно-практической конференции. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2019. С. 130–134.
12. Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А. Оценка показателей качества хлеба пшеничного, обогащенного вторичным яблочным сырьем // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 1. С. 200–206.
13. Matos M.E., Rosell C.M. Quality indicators of rice-based gluten-free bread-like products: relationships between dough rheology and quality characteristics // Food and Bioprocess Technology. 2013. V. 6. P. 2331-2341. doi: 10.1007/s11947-012-0903-9
14. Dilmurodovich D.S., Shakirjanovich K.N. Analysis of yield and grain quality traits in the advanced yield trial of winter bread wheat // Euro-Asia Conferences. 2021. V. 1. №. 1. P. 550-555.
15. Morreale F., Garzón R., Rosell C.M. Understanding the role of hydrocolloids viscosity and hydration in developing gluten-free bread. A study with hydroxypropylmethylcellulose // Food hydrocolloids. 2018. V. 77. P. 629-635. doi: 10.1016/j.foodhyd.2017.11.004
16. Korus J. et al. The influence of acorn flour on rheological properties of gluten-free dough and physical characteristics of the bread // European Food Research and Technology. 2015. V. 240. P. 1135-1143. doi: 10.1007/s00217-015-2417-y
17. Licciardello F., Cipri L., Muratore G. Influence of packaging on the quality maintenance of industrial bread by comparative shelf life testing // Food Packaging and Shelf Life. 2014. V. 1. №. 1. P. 19-24. doi: 10.1016/j.fpsl.2013.10.001
18. Horstmann S.W., Foschia M., Arendt E.K. Correlation analysis of protein quality characteristics with gluten-free bread properties // Food & function. 2017. V. 8. №. 7. P. 2465-2474. doi: 10.1039/C7FO00415J
19. Aktaş M., Şevik S., Aktekel B. Development of heat pump and infrared-convective dryer and performance analysis for stale bread drying // Energy Conversion and Management. 2016. V. 113. P. 82-94. doi: 10.1016/j.enconman.2016.01.028
20. Ghendov-Mosanu A., Cristea E., Patras A., Sturza R. et al. Potential application of Hippophae Rhamnoides in wheat bread production // Molecules. 2020. V. 25. №. 6. P. 1272. doi: 10.3390/molecules25061272

References

1. Ktenioudaki A., Alvarez-Jubete L., Gallagher E. A review of the process-induced changes in the phytochemical content of cereal grains: the breadmaking process. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2015. vol. 55 (5). pp. 611–619.
2. Carocho M., Morales P., Ciudad-Mulero M. et.al. Comparison of different bread types: Chemical and physical parameters. Food Chemistry. 2020. vol. 310. pp. 125954. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125954
3. Clement H., Prost C., Rannou C., Chiron H. et.al. Can instrumental characterization help predicting sour taste perception of wheat sourdough bread? Food Research International. 2020. vol. 133. pp. 109159. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109159
4. Pontonio E., Rizzello C.G., Cagno Di R. et.al. How organic farming of wheat may affect the sourdough and the nutritional and technological features of leavened baked goods // International Journal of Food Microbiology. 2016. vol. 239. pp. 44–53. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2016.07.013
5. Kaluzhskikh A.G., Dolgoplova N.V., Kotelnikova M.N. Investigation of the possibility of using coriander in wheat bread production technology. Technologies of the food and processing industry of the agroindustrial complex – healthy food products. 2022. no. 1. pp. 30-37. (in Russian).
6. Corona O., Alfonzo A., Ventimiglia G. et.al. Industrial application of selected lactic acid bacteria isolated from local semolinas for typical sourdough bread production. Food Microbiology. 2016. vol. 59. pp. 43–56.
7. Jagelaviciute J., Cizeikiene D. The influence of non-traditional sourdough made with quinoa, hemp and chia flour on the characteristics of gluten-free maize/rice bread. LWT. 2021. vol. 137. pp. 110457. doi: 10.1016/j.lwt.2020.110457
8. Cai L.M., Choi I., Park C.S., Baik B.K. Bran hydration and physical treatments improve the bread-baking quality of whole grain wheat flour. Cereal Chem. 2015. vol. 92. pp. 557–564.

9. Ma F., Lee Y.Y., Parkd E. et.al. Influences of hydrothermal and pressure treatments of wheat bran on the quality and sensory attributes of whole wheat Chinese steamed bread and pancakes. *J. of Cereal Science*. 2021. vol. 102. pp. 103356.
10. Pyanikova E.A., Kovaleva A.E., Bykovskaya E.I., Govyadova I.A. et al. Development of whole-grain bread technology with the use of various starter cultures. *Technologies of the food and processing industry of the agroindustrial complex - healthy food products*. 2022. no. 4. pp. 23-30. (in Russian).
11. Zaikina M.A. Development and evaluation of the quality of non-traditional rye-wheat custard bread. *New conceptual approaches to solving the global problem of ensuring food security in modern conditions: collection of articles of the VI International Scientific and Practical Conference. Kursk, Yugo-Zapad. gos. un-t, 2019. pp. 130-134. (in Russian).*
12. Kovaleva A.E., Pyanikova E.A. Evaluation of wheat bread quality indicators enriched with secondary apple raw materials. *Bulletin of VSUIT*. 2020. vol. 82. no. 1. pp. 200-206. (in Russian).
13. Matos M.E., Rosell C.M. Quality indicators of rice-based gluten-free bread-like products: relationships between dough rheology and quality characteristics. *Food and Bioprocess Technology*. 2013. vol. 6. pp. 2331-2341. doi: 10.1007/s11947-012-0903-9
14. Dilmurodovich D.S., Shakirjanovich K.N. Analysis of yield and grain quality traits in the advanced yield trial of winter bread wheat. *Euro-Asia Conferences*. 2021. vol. 1. no. 1. pp. 550-555.
15. Morreale F., Garzón R., Rosell C.M. Understanding the role of hydrocolloids viscosity and hydration in developing gluten-free bread. A study with hydroxypropylmethylcellulose. *Food hydrocolloids*. 2018. vol. 77. pp. 629-635. doi: 10.1016/j.foodhyd.2017.11.004
16. Korus J. et al. The influence of acorn flour on rheological properties of gluten-free dough and physical characteristics of the bread. *European Food Research and Technology*. 2015. vol. 240. pp. 1135-1143. doi: 10.1007/s00217-015-2417-y
17. Licciardello F., Cipri L., Muratore G. Influence of packaging on the quality maintenance of industrial bread by comparative shelf life testing. *Food Packaging and Shelf Life*. 2014. vol. 1. no. 1. pp. 19-24. doi: 10.1016/j.fpsl.2013.10.001
18. Horstmann S.W., Foschia M., Arendt E.K. Correlation analysis of protein quality characteristics with gluten-free bread properties. *Food & function*. 2017. vol. 8. no. 7. pp. 2465-2474. doi: 10.1039/C7FO00415J
19. Aktaş M., Şevik S., Aktekel B. Development of heat pump and infrared-convective dryer and performance analysis for stale bread drying. *Energy Conversion and Management*. 2016. vol. 113. pp. 82-94. doi: 10.1016/j.enconman.2016.01.028
20. Ghendov-Mosanu A., Cristea E., Patras A., Sturza R. et al. Potential application of Hippophae Rhamnoides in wheat bread production. *Molecules*. 2020. vol. 25. no. 6. pp. 1272. doi: 10.3390/molecules25061272

Сведения об авторах

Екатерина И. Быковская магистр, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, ekaterina.bykovskaya@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8629-7954>

Анна Е. Ковалева к.х.н., доцент, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, a.e.kovaleva@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7807-1755>

Эльвира А. Пьяникова к.т.н., доцент, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, alia1969@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4424-7323>

Ирина А. Говядова магистр, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, tt-kstu@ya.ru

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Ekaterina I. Bykovskaya master student, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia, ekaterina.bykovskaya@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8629-7954>

Anna E. Kovaleva Cand. Sci. (Chem.), associate professor, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia, a.e.kovaleva@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7807-1755>

Elvira A. Pyanikova Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia, alia1969@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4424-7323>

Irina A. Govyadova master student, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia, tt-kstu@ya.ru

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/10/2020	После редакции 20/11/2020	Принята в печать 18/12/2020
Received 20/10/2020	Accepted in revised 20/11/2020	Accepted 18/12/2020

Рентгенодифракционный анализ мальтодекстринов, полученных при кислотном и ферментном гидролизе крахмалов

Анастасия М. Федорова	¹	anastasija.fedorova-af2014@ya.ru	 0000-0002-8071-4411
Дмитрий М. Руссаков	¹	dm.russakov@gmail.com	 0000-0001-5170-7530
Ирина С. Милентьева	¹	irazumnikova@mail.ru	 0000-0002-3536-562X
Анна В. Позднякова	¹	anjab12@mail.ru	 0000-0002-6854-0850
Ольга Г. Альтшулер	¹	alt_og@bk	

¹ Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия

Аннотация. Рентгеновская дифракция является одним из методов, который может быть успешно применен для идентификации различных химических соединений в поликристаллических смесях, например, таких как пищевые добавки. Рентгеновская дифракция позволяет понять составы таких смесей. Мальтодекстрин является многофункциональным пищевой добавкой, которую получают путем неполного ферментного или кислотного гидролиза крахмала. Целью проведения исследования является изучение образцов мальтодекстрина на основе картофельного и кукурузного крахмала методом рентгенодифракционного анализа. Основными объектами исследования являлись мальтодекстрин, полученный путем ферментного и кислотного расщепления картофельного и кукурузного крахмала. Для получения дифрактограмм образцов мальтодекстрина применяли порошковый дифрактометр (ДРОН-8, Россия) в параллельных лучах, фокусируемых зеркалом Гебеля (Германия). В ходе исследования дифрактограмм установлена фазовая структура для всех образцов крахмала и мальтодекстринов. Так для мальтодекстрина, полученного при ферментном расщеплении картофельного и кукурузного крахмала установлена аморфная структура, у мальтодекстрина, полученного при кислотном гидролизе картофельного и кукурузного крахмала, присутствует частично кристаллизованная структура. Степень кристаллизации при кислотном расщеплении крахмалов составляет 28 %. В образцах мальтодекстринов, полученных при ферментном гидролизе кукурузного крахмала установлено некоторое содержание кальция (3,69 кэВ), хлора (2,62 и 2,82 кэВ) и калия (3,31 и 3,59 кэВ). В образцах мальтодекстринов, полученных при кислотном расщеплении картофельного и кукурузного крахмала, содержание кальция имеется в большем количестве (4,01 кэВ).

Ключевые слова: мальтодекстрины, картофельный и кукурузный крахмал, дифрактограммы, рентгенодифракционный метод.

X-ray diffraction analysis of maltodextrins obtained by acid and enzyme hydrolysis of starch

Anastasia M. Fedorova	¹	anastasija.fedorova-af2014@ya.ru	 0000-0002-8071-4411
Dmitry M. Russakov	¹	dm.russakov@gmail.com	 0000-0001-5170-7530
Irina S. Milentyeva	¹	irazumnikova@mail.ru	 0000-0002-3536-562X
Anna V. Pozdnyakova	¹	anjab12@mail.ru	 0000-0002-6854-0850
Olga G. Altshuler	¹	alt_og@bk	

¹ Kemerovo State University, Krasnaya str., 6, Kemerovo, 650000, Russia

Abstract. X-ray diffraction is one of the methods that can be successfully applied to identify various chemical compounds in polycrystalline mixtures, for example, such as food additives. X-ray diffraction makes it possible to understand the compositions of such mixtures. Maltodextrin is a multifunctional food additive, which is obtained by incomplete enzymatic or acid hydrolysis of starch. The purpose of the study is to study samples of maltodextrin based on potato and corn starch by X-ray diffraction analysis. The main objects of the study were maltodextrin obtained by enzymatic and acid cleavage of potato and corn starch. To obtain diffractograms of maltodextrin samples, a powder diffractometer (DRON-8, Russia) was used in parallel beams focused by a Goebel mirror (Germany). During the study of diffractograms, the phase structure was established for all starch and maltodextrin samples. Thus, an amorphous structure has been established for maltodextrin obtained by enzymatic cleavage of potato and corn starch, maltodextrin obtained by acid hydrolysis of potato and corn starch has a partially crystallized structure. The degree of crystallization during acid splitting of starches is 28%. In the samples of maltodextrins obtained by enzymatic hydrolysis of corn starch, some content of calcium (3.69 keV), chlorine (2.62 and 2.82 keV) and potassium (3.31 and 3.59 keV) was found. In the samples of maltodextrins obtained by acid splitting of potato and corn starch, the calcium content is present in greater quantities (4.01 keV).

Keywords: maltodextrin, potato and corn starch, diffractograms, X-ray diffraction method.

Введение

Мальтодекстрин является продуктом неполного ферментного, кислотного или кислотного ферментного гидролиза растительного крахмала (картофельный, кукурузный) или крахмало-содержащего сырья (пшеничная мука) [1].

Мальтодекстрин представляет смесь сахаров, в которую входят три молекулы глюкозы (декстрозы), две молекулы мальтозы и молекула мальтотриозы. Главной характеристикой мальтодекстрина является скорость протекания гидролиза крахмала или крахмалосодержащего сырья, то есть

Для цитирования

Федорова А.М., Руссаков Д.М., Милентьева И.С., Позднякова А.В., Альтшулер О.Г. Рентгенодифракционный анализ мальтодекстринов, полученных при кислотном и ферментном гидролизе крахмалов // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 85. № 1. С. 79–86. doi:10.20914/2310-1202-2022-1-79-86

For citation

Fedorova A.M., Russakov D.M., Milentyeva I.S., Pozdnyakova A.V., Altshuler O.G. X-ray diffraction analysis of maltodextrins obtained by acid and enzyme hydrolysis of starch. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 85. no. 1. pp. 79–86. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-1-79-86

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

его восстанавливающая способность – декстрозный эквивалент (значение DE). Степень DE мальтодекстрина составляет от 2 до 22% [2]. В России производство мальтодекстрина из крахмалосодержащего сырья и крахмала мало развито в сравнении с другими зарубежными странами. В результате мальтодекстрины в основном поставляются из других стран мира (Китай – 68,1%, Франция – 16,3%, Германия – 3,6%, Словакия – 1,9%, США – 1,3%), так главным поставщиком мальтодекстрина является Китай. Объем импорта мальтодекстрина в Россию в 2020 г. в натуральном выражении составил 589 тыс. тонн, что на 16% выше, чем в 2019 г. Среди всех сегментов, поставку мальтодекстрина в Россию в 2020 г., в стоимостном выражении лидирует торговая марка «Hebei», Китай [3–5]. В результате низкого отечественного производства мальтодекстрина становится актуальным получение мальтодекстрина с определенными параметрами. Так, на базе ФГБУ ВО «Кемеровского государственного университета» разработана технология получения мальтодекстрина путем ферментного и кислотного расщепления из картофельного и кукурузного крахмала для молочной промышленности [6–9].

Рентгенодифракционный анализ играет важную роль в исследовании практически всех твердых веществ [10, 11]. Данный метод используется для: идентификации неизвестных соединений, исследования полиморфизма, идентификации сольватации и солевой формы, определения физико-химических свойств и примесей в исследуемых образцах [12]. Каждое кристаллическое вещество имеет характерную рентгеновскую дифракционную картину с определенным расположением дифракционных линий и их интенсивностями. Дифракционную картину можно рассматривать как набор межплоскостных расстояний d (h , k , l) и соответствующих им интенсивностей линий. Важно, чтобы каждая фаза, входящая в состав смеси, была независимой в процессе создания дифракционной картины, которая представляет собой сумму дифракционных картин сосуществующих фаз [13]. Полученная дифракционная картина содержит информацию об угле отражения θ и длине волны λ , поэтому, используя уравнение Брэгга, можно рассчитать межплоскостное расстояние d [14]. В отличие от рентгеноспектрального метода анализа, ИК-спектроскопии, Оже-спектроскопии, которые способны установить лишь элементарный состав исследуемых веществ, рентгенодифракционный анализ дает возможность определить, из каких фаз состоит исследуемый образец [15]. Данный метод позволяет применять рентгенофазовый анализ в качестве метода для отличия поддельных

фармацевтических препаратов от подлинных в юридической химии [16]. Таким образом, метод является одним из удобных неразрушающих аналитических инструментов, не требующих специальной пробоподготовки в сравнении с хроматографическими методами анализа. Исходя из актуальности рентгенодифракционного анализа образцы мальтодекстрина проанализированы на наличие примесей и исследована их структура.

Цель работы – изучение образцов мальтодекстрина, полученных при неполном ферментном и кислотном расщеплении картофельного и кукурузного крахмала, методом рентгенодифракционного анализа.

Материалы и методы

В качестве объектов для исследования служили картофельный и кукурузный крахмал («Пышечка», Россия), мальтодекстрины, полученные методом неполного кислотного и ферментного расщепления картофельного и кукурузного крахмала, мальтодекстрина марки («MultyDex Sun Premium», Россия).

Образцы мальтодекстрина получали исходя из методики, описанной в работе Федоровой А.М. и ее коллег [17]. Данная методика описывает технологию получения мальтодекстрина с DE 12–13% из картофельного и кукурузного крахмала путем ферментного расщепления крахмалов, используя ферментный препарат Амилолюкс АТС («Сиббиофарм», Россия), и путем кислотного гидролиза, используя 10% серную кислоту в качестве катализатора.

Дифрактограммы получены на порошковом дифрактометре («ДРОН-8», Россия) в параллельных лучах, фокусируемых зеркалом Гебеля (Германия), с системой быстрой регистрации на основе стрипового позиционно-чувствительного кремниевоего детектора (Mythen 2R 1D, Швейцария) и трубкой с медным анодом (Cu K α , $\lambda = 1.5406$ Å). Диапазон регистрации по 2θ 2–100°, эффективный шаг сканирования 0.0144°.

Образцы мальтодекстрина готовили методом прессования в плоских кварцевых кюветах (чистые и обезжиренные), всю поверхность кювет с образцами тщательно выравнивали специальным шпателем. Далее кювету устанавливали в дифрактометр и закрепляли держателем для порошковых образцов с вращением, затем осуществлялось сканирование образца направленным рентгеновским пучком дифрактометра.

Для определения межплоскостного расстояния d (h , k , l) применяли формулу Вульфа-Брэгга [18] (1):

$$d = \lambda / 2 \sin \theta \quad (1)$$

где λ – длина волны; θ – угол скольжения.

Оценка размеров малых частиц (кристаллов) произведена по формуле Шеррера [19] (2):

$$D = \lambda / \beta \cos \theta \quad (2)$$

где β – уширение дифракционных линий, вычисляемое как разность между шириной линии и шириной крупнокристаллического стандарта (кварц).

Каждой линии соответствует свое направление в кристаллитах, поэтому различие величин оценок размеров, скорее всего, указывает на анизотричность кристаллитов.

Затем рассчитывалась степень кристалличности (СК), которая рассчитывается по формуле (3):

$$СК = I_{\text{крист}} / (I_{\text{крист}} + I_{\text{аморфн}}) \quad (3)$$

где $I_{\text{крист}}$ – общая площадь максимумов кристаллической фазы; $I_{\text{аморфн}}$ – общая площадь дифракционного рассеяния аморфной фазы.

Рентгенофлуоресцентный анализ мальтодекстрина, полученного при кислотном и ферментном гидролизе картофельного и кукурузного крахмала, проводился при излучении 25 кэВ дифрактометра ДИФРЕЙ-401 с энергодисперсионным детектором АМРТЕК. При таком облучении веществ происходит ионизация глубинных уровней атомов элементов, входящих в вещество, и возбуждаются электронные переходы на освободившиеся уровни. В случае легких элементов это, как правило, переходы К-серии, сопровождающиеся возникновением пары спектральных

рентгенофлуоресценных линий К- α и К- β : при переходах соответственно с уровня 2р (α -линия) и 3р (β -линия) на 1s. Вследствие большей удаленности 3р-электронов от ядра атома и экранирования их нижележащими электронными уровнями переходы с 3р уровня на 1s менее вероятны, и β -линия слабее α -линии в 4–5 раз [20].

Результаты и обсуждения

На первых этапах исследования рассмотрены дифрактограммы картофельного (№ 1) и кукурузного (№ 2) крахмалов. Данные дифрактограммы картофельного и кукурузного крахмала указывают на структурные различия (рисунок 1). Большая часть структурно организованных цепочек с некоторыми отличиями уложены в слои с межплоскостными расстояниями в интервале 3.9–5.8 Å, кроме этого, в кукурузном крахмале выделяется также периодичность на уровне 15.8 Å (5.6°). Однако значительная часть вещества представляет собой рентгеноаморфное состояние, характеризующееся сильным рассеянием в области 15–25°. На рисунке 1 представлены результаты исследования дифрактометрического анализа образцов картофельного (№ 1) и кукурузного (№ 2) крахмала и образцов мальтодекстрина, полученных при ферментном гидролизе картофельного крахмала (№ 3) и кукурузного крахмала (№ 4).

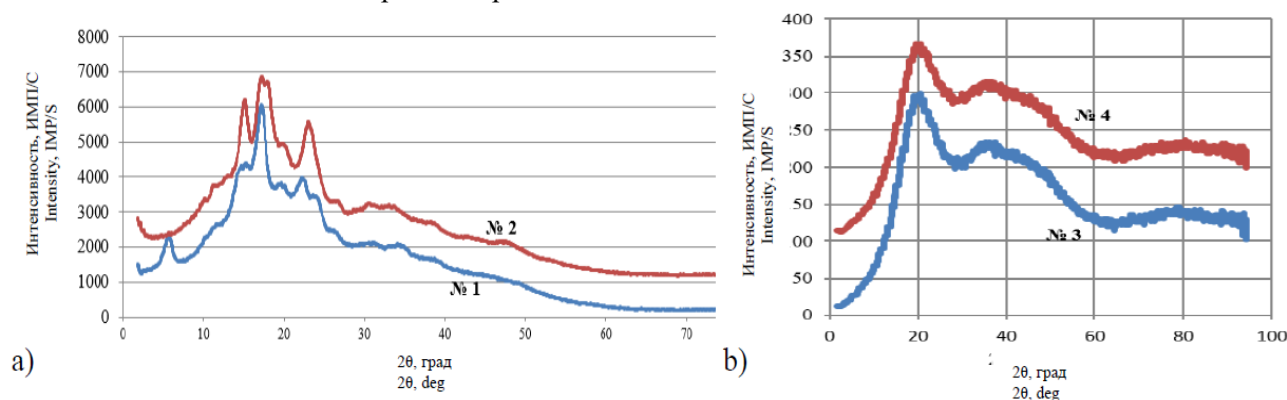


Рисунок 1. Дифрактограммы: а) картофельного (№ 1) и кукурузного (№ 2) крахмала; б) ферментный гидролиз картофельного крахмала (№ 3) и ферментный гидролиз кукурузного крахмала (№ 4) до множенные на $\sin \theta$

Figure 1. Diffractograms: a) potato (No. 1) and corn (No. 2) starch; b) ferment hydrolysis of potato starch (No. 3) and enzyme hydrolysis of corn starch (No. 4) multiplied by $\sin \theta$

Исходя из результатов дифрактометрического анализа образцы мальтодекстрина, полученные при ферментном гидролизе картофельного и кукурузного крахмала, имеют схожую аморфную структуру с крахмалом и с окристаллизованной целлюлозой в рентгеновских лучах, на которой выделяется широкий и довольно интенсивный максимум в области 18–19°. Также имеются менее оформленные более слабые максимумы,

которые выделены в специальных координатах (рисунок 1). Причем оба образца (№ 3 и № 4) имеют схожие дифракционные картины, вид которых в значительной мере определяется комплексом межатомных расстояний, которые очень близки у моно-, ди- и полисахаридам, так как в основе этих аморфных структур одно и то же вещество – глюкоза.

Результаты дифрактометрического анализа мальтодекстрина, полученного при кислотном гидролизе картофельного (№ 5) и кукурузного (№ 6) крахмала и сравнительные дифрактограммы

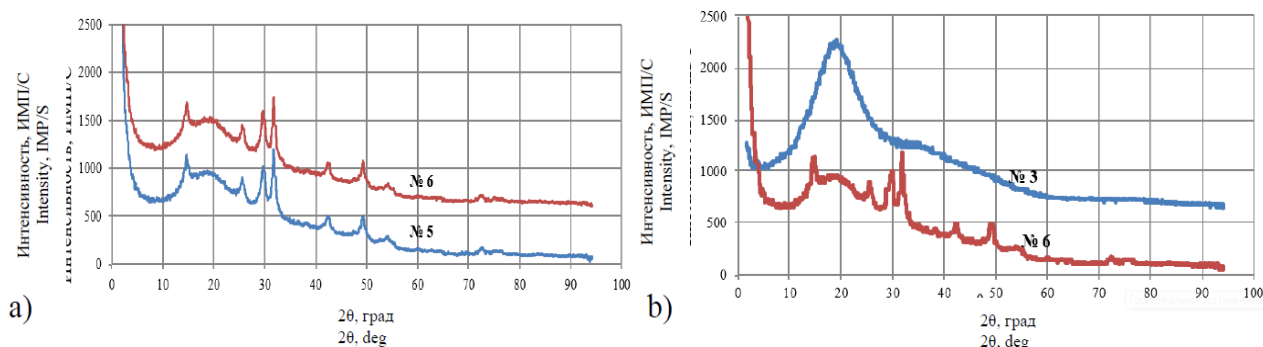


Рисунок 2. Дифрактограммы мальтодекстрина: а) № 5 (кислотный гидролиз картофельного крахмала) и № 6 (кислотный гидролиз кукурузного крахмала); б) № 3 (ферментный гидролиз картофельного крахмала) и № 6 (кислотный гидролиз кукурузного крахмала)

Figure 2. Maltodextrin diffractograms: a) No. 5 (acid hydrolysis of potato starch) and No. 6 (acid hydrolysis of corn starch); b) No. 3 (enzyme hydrolysis of potato starch) and No. 6 (acid hydrolysis of corn starch)

Мальтодекстрины, полученные при кислотном гидролизе крахмала являются частично окристаллизованными, и также в высшей степени сходны между собой, несмотря на разное происхождение (рисунок 2).

Если полагать, что в результате гидролиза в обоих случаях происходит разложение крахмала до моно- и дисахаридов, возникает вопрос, почему при выделении твердого и сухого продукта, осуществляемом одинаковым методом и образом, формирование твердой фазы приводит к различной структурной организации твердой фазы.

Одной из причин этого является различный состав конечного продукта, другой – различный состав самой среды, из которой осуществляется «кристаллизация». В результате, в одном случае достигается лишь частичная и очень ограниченная взаимная сориентированность, в другом хотя бы часть вещества представлена небольшими областями, в которых молекулы довольно регулярным образом укладываются в кристаллическую решетку.

Исходя из результатов дифрактометрического анализа произвести оценку СК образцов мальтодекстрина, полученных методом ферментного гидролиза картофельного и кукурузного крахмала невозможно, так как данные образцы имеют аморфную структуру. Для других образцов мальтодекстрина, полученных кислотным гидролизом картофельного и кукурузного крахмала, была возможность определения СК, так как дифрактограммы показали частичную кристаллизацию (рисунок 2). Определение СК осуществлялось для № 5. Для этого необходимо осуществить отсечение аморфной структуры для определения интенсивности (площади) кристаллических максимумов и оценки размера

мальтодекстрина, полученного при ферментном гидролизе картофельного крахмала – № 3 и при кислотном гидролизе кукурузного крахмала – № 6 представлены на рисунке 2.

кристаллитов. После отсечения фона определены дифракционные углы линий кристаллической фазы, соответствующие им межплоскостные расстояния, оценены размеры кристаллитов (таблица 1). Каждой линии соответствует свое направление в кристаллитах, поэтому различие величин оценок размеров указывают на анизометричность кристаллитов. Суммарная площадь максимумов кристаллической фазы составляет 1193 у. е., общая площадь под кривой дифракционного рассеяния (кристаллического и аморфного), определенная аналогично площадям для кристаллических максимумов – 4240 у. е., отсюда оценка СК равна всего 28%.

Таблица 1.
Дифракционные углы (2θ), межплоскостные расстояния (d), площадь дифракционных максимумов (S) и оценка размера (D) кристаллической фазы № 5

Table 1.
Diffraction angles (2θ), interplane distances (d), area of diffraction maxima (S) and size estimation (D) of crystal phase No. 5

$2\theta, ^\circ$	$d, \text{\AA}$	$S, \text{y. e.}$	D, nm
17,78	5,99	173	9
25,58	3,483	95	13
29,61	3,017	243	11
31,79	2,814	331	14
42,29	2,137	89	9
49,25	1,850	146	12
53,92	1,700	80	–
72,71	1,301	36	8

На рисунке 3 представлена сравнительная дифрактограмма мальтодекстрина (№ 3), полученного при ферментном расщеплении картофельного крахмала, и приобретенного мальтодекстрина «MultyDex Sun Premium» (№ 7).

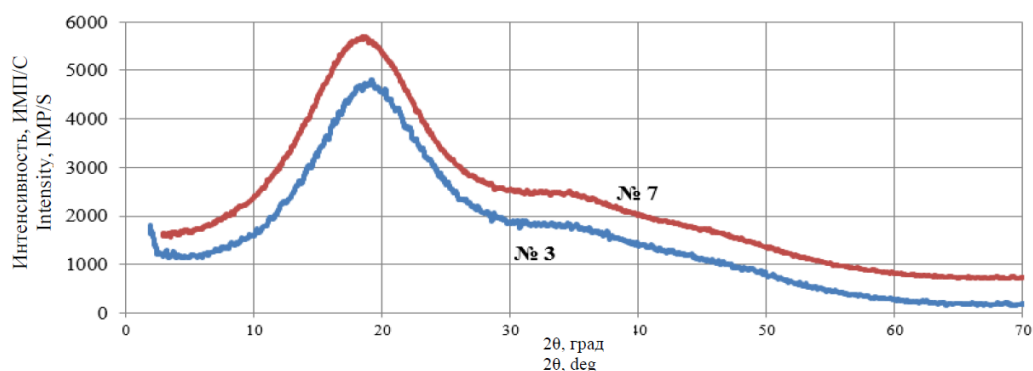


Рисунок 3. Дифрактограммы мальтодекстрина ферментного гидролиза картофельного крахмала (№ 3) и мальтодекстрина «MultyDex Sun Premium» (№ 7)

Figure 3. Diffractograms of maltodextrin of enzymatic hydrolysis of potato starch (No. 3) and maltodextrin "MultyDex Sun Premium" (No. 7)

Также в ходе исследования дифракционного анализа рассматривался мальтодекстрин марки «MultyDex Sun Premium» (№ 7). Дифрактограмма, представленная на рисунке 3, говорит о том, что приобретенный мальтодекстрин также имеет аморфное состояние. Аморфная структура мальтодекстрина немного отличается по дифракционной картине от продуктов ферментного гидролиза крахмалов тем, что главный максимум расположен

в меньших углах – примерно на 18.5° против 19.1° (рисунок 2 и 3), но, по-видимому, более близка к продуктам кислотного гидролиза, у которых главный максимум также около 18.5° .

На рисунке 4 представлены результаты рентгенофлуоресцентного анализа образцов мальтодекстрина, полученных при ферментном (№ 3 и № 4) и кислотном (№ 5 и № 6) расщеплении картофельного и кукурузного крахмала.

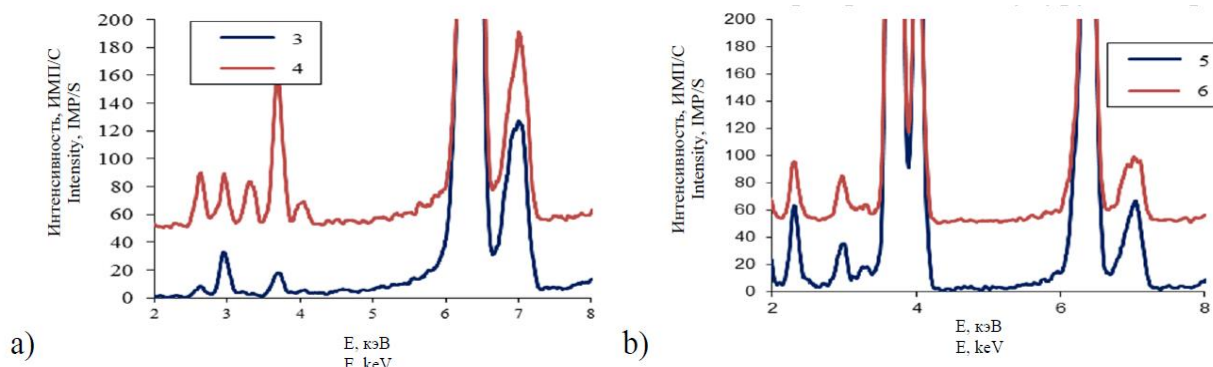


Рисунок 4. Рентгенофлуоресцентные спектры мальтодекстрина: а) ферментного гидролиза картофельного (№ 3) и кукурузного (№ 4) крахмалов и б) кислотного гидролиза картофельного (№ 5) и кукурузного (№ 6) крахмалов

Figure 4. X-ray fluorescence spectra of maltodextrin: a) enzymatic hydrolysis of potato (#3) and maize (#4) starches and b) acid hydrolysis of potato (#5) and maize (#6) starches

По результатам рентгенофлуоресцентного анализа образцы мальтодекстрина резко различаются содержанием кальция (3.69 и 4.01 кэВ, рисунок 4). В больших количествах данный элемент обнаружен у мальтодекстрина, полученного при кислотном гидролизе крахмалов (№ 5 и № 6, рисунок 4), в то время как мальтодекстрины, полученные при ферментном гидролизе крахмалов (№ 3 и № 4, рисунок 4), имеют незначительное количество кальция.

Что касается линий железа (6.40 и 7.06 кэВ) то, этот результат относительно слабого рассеяния образцами излучения используемой в аппарате рентгеновской трубки с железным анодом.

В органических образцах мальтодекстрина № 3 и 4, полученных ферментным гидролизом, линии железа не являются слабыми на фоне линий аргона и слабых линий фактически примесных элементов (Cl, K, Ca) нет.

При кислотном гидролизе крахмала обнаружена сера (2.31 и 2.46 кэВ) при равном с кальцием молярном содержании, так как дает слабые линии, чем кальций (рисунок 4 (b)). В образцах мальтодекстрина ферментного гидролиза картофельного и кукурузного крахмала (№ 3 и № 4, № 9) сера не обнаруживается, но можно отметить наличие хлора (2.62 и 2.82 кэВ), причем в образцах мальтодекстрина, полученных

из кукурузного крахмала его в несколько раз больше, чем в образцах мальтодекстрина, полученных из картофельного крахмала (рисунок 4 (а)), при этом соотношение интенсивностей линий хлора и кальция сопоставимо, из чего можно сделать предположение о присутствии этих элементов в форме хлорида кальция. Также небольшое содержание калия (3.31 и 3.59 кэВ) характерно для мальтодекстрина полученного из кукурузного крахмала.

Заключение

Рентгенодифракционный анализ оказался информационным методом для технологического производства мальтодекстрина, так как данный метод позволил выявить присутствие различных примесей и установить, какой из двух представленных методов гидролиза крахмалов является более безопасным для пищевой промышленности.

По результатам дифрактограмм видно, что образцы мальтодекстрина полученные методом ферментного гидролиза имеют аморфную структуру, также имеют схожие дифракционные картины, вид которых определяется комплексом межатомных расстояний очень близких к моно-, ди- и полисахаридам. Также дифрактограммы мальтодекстрина ферментного расщепления

крахмалов имеет абсолютное сходство с приобретенным мальтодекстрином марки «MultyDex Sun Premium», следовательно, данный мальтодекстрин получали методом ферментного расщепления. С помощью рентгенофлуоресцентного анализа установлены наличие примесей, которые содержались в мальтодекстрине ферментного и кислотного гидролиза. Так, в образцах мальтодекстрина ферментного гидролиза картофельного и кукурузного крахмала содержание кальция обнаружено незначительное количество (3.69 кэВ), в то время как в образцах мальтодекстрина кислотного гидролиза картофельного и кукурузного крахмала содержание кальция имеется в большем количестве (4.01 кэВ). Следовательно, степень очистки конечных продуктов при кислотном расщеплении крахмалов является достаточно слабой. Присутствие серы в образцах мальтодекстрина, полученных при ферментном расщеплении крахмала не обнаружено, но есть следы хлора (2.62 и 2.82 кэВ) и калия (3.31 и 3.59 кэВ) в образцах мальтодекстрина, полученного при ферментном гидролизе кукурузного крахмала.

Благодарности

Работа была выполнена с использованием оборудования ЦКП «Инструментальные методы анализа в области прикладной биотехнологии» на базе КемГУ.

Литература

1. Iakovchenko N.V., Arseneva T.P. Tapioca maltodextrin in the production of soft unripened cheese // *Acta Sci Pol Technol Aliment*. 2016. P. 47–56.
2. Toraya-Aviles R., Segura-Campos M., Chel-Guerrero L. Some nutritional characteristics of enzymatically resistant maltodextrin from cassava (*manihot esculenta crantz*) starch // *Plant Foods Hum Nutr*. 2017. P. 149–155.
3. Abd Ghani A., Adachi S., Shiga H. Effect of different dextrose equivalents of maltodextrin on oxidation stability in encapsulated fish oil by spray drying // *Biosci Biotechnol Biochem*. 2017. P. 705–711.
4. Haghighat-Kharazi S., Kasaai M.R., Milani J.M. Optimization of encapsulation of maltogenic amylase into a mixture of maltodextrin and beeswax and its application in gluten-free bread // *J Texture Stud*. 2020. P. 631–641.
5. Федорова А.М., Милентьева И.С. Экономическое обоснование использования мальтодекстринов для молочной промышленности // *Все о мясе*. 2020. С. 374–378.
6. Федорова А.М., Милентьева И.С. Исследование влияния процесса сушки для производства мальтодекстрина // *Инновационные технологии пищевых производств. сборник тезисов докладов II Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. 2020. С. 56–58.
7. Федорова А.М., Веснина А.Д., Чекушкина Д.Ю. Разработка технологии получения биологически активной добавки мальтодекстрина и изучение его свойств // *Инновационный конвент «Образование, наука, инновации. Молодежный вклад в развитие научно-образовательного центра «Кузбасс»»*. 2019. С. 171–174.
8. Федорова А.М., Величкович Н.С., Милентьева И.С. Мальтодекстрины из крахмалосодержащего сырья и крахмала // *Инновационный конвент "Кузбасс: образование, наука, инновации"*. 2019. С. 229–232.
9. Федорова А.М., Милентьева И.С. Подбор параметров гидролиза крахмалосодержащего сырья // *Инновации в пищевой биотехнологии: сборник тезисов VII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. 2019. С. 86–88.
10. Ademosun A.O. Glycemic properties of Soursop-based ice cream enriched with Moringa leaf powder // *Foods and Raw Materials*. 2021. P. 207–214.
11. Bredihin S.A., Andreev V.N., Martekha A.N. Erosion potential of ultrasonic food processing // *Foods and Raw Materials*. 2021. P. 335–344.
12. Grujic R., Cvjetkovic V.G., Marjanovic-Balaban Ž. Separation of gliadins from wheat flour by capillary gel electrophoresis: optimal conditions // *Foods and Raw Materials*. 2020. P. 411–421.
13. Jendrzejewska I. Application of X-Ray Powder Diffraction for Analysis of Selected Dietary Supplements Containing Magnesium and Calcium // *Front Chem*. 2020. P. 672.

14. Jendrzewska I., Zajdel P., Pietrasik E., Barsova Z., Goryczka T. Application of X-ray powder diffraction and differential scanning calorimetry for identification of counterfeit drugs // *Monatsh Chem.* 2018. P. 977–985.
15. Takegami K., Hayashi H., Okino H., Kimoto N. et al. Estimation of identification limit for a small-type OSL dosimeter on the medical images by measurement of X-ray spectra // *Radiol Phys Technol.* 2016. P. 286–92.
16. Dilanian R.A., Darmanin C., Varghese J.N., Wilkins S.W. et al. A new approach for structure analysis of two-dimensional membrane protein crystals using X-ray powder diffraction data // *Protein Sci.* 2011. P. 457–64.
17. Федорова А.М., Козлова О.В., Славянский А.А. Исследование и разработка технологии получения мальтодекстринов для молочной промышленности // *Техника и технология пищевых производств.* 2020. С. 616–629.
18. Shustov D.B., Baydakova M.V., Val'kovskiy G.A., Yagovkina M.A. Rentgenovskaya difraktometriya polikristalov [X-ray diffractometry of polycrystals]. St. Petersburg: Methodological guidelines for laboratory work on the diagnosis of materials, 2011. P. 25.
19. Hayashi K., Happon N., Hosokawa S. X-ray fluorescence holography // *J Phys Condens Matter.* 2012. P. 093201.
20. Винокуров А.Ю., Коптелова Е.К., Лукин Н.Д. Морфологические, структурные и реологические свойства катионированного в водной суспензии крахмала // *Вестник технологического университета.* 2015. С. 135–140.

References

1. Iakovchenko N.V., Arseneva T.P. Tapioca maltodextrin in the production of soft unripened cheese. *Acta Sci Pol Technol Aliment.* 2016. pp. 47–56.
2. Toraya-Aviles R., Segura-Campos M., Chel-Guerrero L. Some nutritional characteristics of enzymatically resistant maltodextrin from cassava (*manihot esculenta crantz*) starch. *Plant Foods Hum Nutr.* 2017. pp. 149–155.
3. Abd Ghani A., Adachi S., Shiga H. Effect of different dextrose equivalents of maltodextrin on oxidation stability in encapsulated fish oil by spray drying. *Biosci Biotechnol Biochem.* 2017. pp. 705–711.
4. Haghighat-Kharazi S., Kasaai M.R., Milani J.M. Optimization of encapsulation of maltogenic amylase into a mixture of maltodextrin and beeswax and its application in gluten-free bread. *J Texture Stud.* 2020. pp. 631–641.
5. Fedorova A.M., Milentyeva I.S. Economic justification of the use of maltodextrins for the dairy industry. All about meat. 2020. pp. 374–378. (in Russian).
6. Fedorova A.M., Milentyeva I.S. Investigation of the influence of the drying process for the production of maltodextrin // *Innovative technologies of food production. collection of abstracts of the II All-Russian Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and young scientists.* 2020. pp. 56–58. (in Russian).
7. Fedorova A.M., Vesnina A.D., Chekushkina D.Yu. Development of technology for obtaining a biologically active additive maltodextrin and the study of its properties. *Innovation Convention "Education, Science, innovation. Youth contribution to the development of the scientific and educational center "Kuzbass"."* 2019. pp. 171–174. (in Russian).
8. Fedorova A.M., Velichkovich N.S., Milentva I.S. Maltodextrins from starch-containing raw materials and starch. *The Innovation Convention "Kuzbass: education, science, innovation"."* 2019. pp. 229–232.
9. Fedorova A.M., Milentyeva I.S. Selection of parameters of hydrolysis of starch-containing raw materials. *Innovations in food biotechnology. collection of abstracts of the VII International Scientific Conference of students, postgraduates and young scientists.* 2019. pp. 86–88. (in Russian).
10. Ademosun A.O. Glycemic properties of Soursop-based ice cream enriched with Moringa leaf powder. *Foods and Raw Materials.* 2021. pp. 207–214.
11. Bredihin S.A., Andreev V.N., Martekha A.N. Erosion potential of ultrasonic food processing. *Foods and Raw Materials.* 2021. pp. 335–344.
12. Grujic R., Cvjetkovic V.G., Marjanovic-Balaban Ž. Separation of gliadins from wheat flour by capillary gel electrophoresis: optimal conditions. *Foods and Raw Materials.* 2020. pp. 411–421.
13. Jendrzewska I. Application of X-Ray Powder Diffraction for Analysis of Selected Dietary Supplements Containing Magnesium and Calcium. *Front Chem.* 2020. pp 672.
14. Jendrzewska I., Zajdel P., Pietrasik E., Barsova Z., Goryczka T. Application of X-ray powder diffraction and differential scanning calorimetry for identification of counterfeit drugs. *Monatsh Chem.* 2018. pp 977–985.
15. Takegami K., Hayashi H., Okino H., Kimoto N. et al. Estimation of identification limit for a small-type OSL dosimeter on the medical images by measurement of X-ray spectra. *Radiol Phys Technol.* 2016. pp 286–92.
16. Dilanian R.A., Darmanin C., Varghese J.N., Wilkins S.W. et al. A new approach for structure analysis of two-dimensional membrane protein crystals using X-ray powder diffraction data. *Protein Sci.* 2011. pp 457–64.
17. Fedorova A.M., Kozlova O.V., Slavyansky A.A. Research and development of technology for obtaining maltodextrins for the dairy industry. *Technique and technology of food production.* 2020. pp. 616–629. (in Russian).
18. Shustov D.B., Baydakova M.V., Val'kovskiy G.A., Yagovkina M.A. Rentgenovskaya difraktometriya polikristalov [X-ray diffractometry of polycrystals]. St. Petersburg, Methodological guidelines for laboratory work on the diagnosis of materials, 2011. pp 25.
19. Hayashi K., Happon N., Hosokawa S. X-ray fluorescence holography. *J Phys Condens Matter.* 2012. pp. 093201.
20. Vinokurov A. Yu., Koptelova E.K., Lukin N.D. Morphological, structural and rheological properties of starch cated in aqueous suspension. *Bulletin of the Technological University.* 2015. pp. 135–140. (in Russian).

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>

Дмитрий М. Руссаков зав. лаборатории, лаборатория электронной микроскопии, кафедра экспериментальной физики, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, dm.russakov@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5170-7530>

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>

Анна В. Позднякова к.т.н., доцент, кафедра бионанотехнологии, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, anjap12@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6854-0850>

Ольга Г. Альтшулер д.х.н., Лаборатория супрамолекулярной химии полимеров, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, alt_og@bk

Вклад авторов

Анастасия М. Федорова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент

Дмитрий М. Руссаков обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент

Ирина С. Милентьева консультация в ходе исследования

Анна В. Позднякова написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Ольга Г. Альтшулер выполнил расчёты

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Anastasia M. Fedorova junior researcher, Department of Bionanotechnology, Kemerovo State University, B-r Stroiteley, 47, Kemerovo, 650000, Russia, anastasija.fedorova-af2014@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8071-4411>

Dmitry M. Russakov head of the laboratory, Laboratory of Electron Microscopy, Department of Experimental Physics, Kemerovo State University, Krasnaya str., 6, Kemerovo, 650000, Russia, dm.russakov@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5170-7530>

Irina S. Milentyeva Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Bionanotechnology, Kemerovo State University, Krasnaya str., 6, Kemerovo, 650000, Russia, irazumnikova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3536-562X>

Anna V. Pozdnyakova Cand. Sci. (Engin.), associate Professor, Department of Bionanotechnology, Kemerovo State University, Krasnaya str., 6, Kemerovo, 650000, Russia, anjap12@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6854-0850>

Olga G. Altshuler Dr. Sci. (Chem.), Laboratory of Supramolecular Chemistry of Polymers, Kemerovo State University, Krasnaya str., 6, Kemerovo, 650000, Russia, alt_og@bk

Contribution

Anastasia M. Fedorova review of literature sources on the problem under study, conducted an experiment

Dmitry M. Russakov review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Irina S. Milentyeva consultation during the study

Anna V. Pozdnyakova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Olga G. Altshuler performed calculations

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/12/2022	После редакции 12/01/2023	Принята в печать 22/01/2023
Received 20/12/2022	Accepted in revised 12/01/2023	Accepted 22/01/2023

Панировочные системы: I. Виды, свойства, качество

Елена Н. Молчанова¹melena2004@yandex.ru 0000-0003-0708-1694Марал Бердимуратова¹maral.berdimuratova@mail.ru 0000-0002-4894-8621¹ Российский биотехнологический университет, Волоколамское ш., 11, г. Москва, 125080, Россия

Аннотация. Жареные продукты ценятся во всем мире из-за их вкусовых качеств. Особая роль в текстурных свойствах таких продуктов принадлежит панировочным системам. Изменения в пищевых привычках населения способствуют увеличению потребления продуктов в кляре и панировочных сухарях. Целью работы являлось обобщение и анализ научных публикаций, посвященных панировочным системам, их классификации, составам, роли отдельных компонентов в формировании качества, а также влиянию фритюрной жарки на абсорбцию масла и способам ее уменьшения. Объектом исследования являлась рецензируемая зарубежная и отечественная научная литература, размещенная в базах данных Scopus, ScienceDirect, РИНЦ. Использованы методы поиска, отбора, систематизации, обобщения и анализа научных публикаций. Определено, что термином панировочные системы можно охарактеризовать любую комбинацию компонентов, наносимых на полуфабрикат для создания хрустящей корочки и желаемого вкуса при дальнейшей тепловой обработке. Основная роль в качестве традиционных панировочных систем отводится клейковинным белкам пшеницы, которые при замешивании формируют структурную матрицу, имеющую адгезивные свойства. Анализ научной литературы показал, что одной из проблем изделий в панировке является повышенная калорийность за счет абсорбции масла при приготовлении. Среди нескольких механизмов данного процесса наибольшая роль отводится «вакуумному» эффекту при охлаждении продукта. На поглощение жира влияют свойства пищевых продуктов и фритюрного масла. Установлено, что, одним из эффективных способов снижения абсорбции жира является формирование барьерной пленки дополнительными ингредиентами пищевой матрицы (белками животного и растительного происхождения, производными целлюлозы и различными камедями), а также использование новых приемов жарки. Показано, что данное направление представляет интерес для дальнейших исследований и открывает новые возможности перед промышленностью для формирования востребованной продукции.

Ключевые слова: кляр, панировка, панировочные сухари, поглощение жира, фритюрная жарка, хрусткость.

Breading systems: I. Types, properties, quality

Elena N. Molchanova¹melena2004@yandex.ru 0000-0003-0708-1694Maral Berdimuratova¹maral.berdimuratova@mail.ru 0000-0002-4894-8621¹ Russian Biotechnological University, Volokolamskoe h., 19 Voronezh, 125080, Russia

Abstract. Fried foods are valued all over the world for their taste. Breading systems play a special role in the textural properties of such products. Changes in the dietary habits of the population contribute to an increase in the consumption of products in batter and breadcrumbs. The aim of the work was to summarize and analyze scientific publications on breading systems, their classification, composition, the role of individual components in the formation of quality, as well as the effect of deep frying on oil absorption and ways to reduce it. The object of the study was peer-reviewed foreign and domestic scientific literature, placed in the Scopus, Sciencedirect, RSCI databases. Methods of search, selection, systematization, generalization and analysis of scientific publications are used. It has been determined that the term breading systems can characterize any combination of components applied to the semi-finished product to create a crispy crust and the desired taste during further heat treatment. The main role as traditional breading systems is given to wheat gluten proteins, which, when kneaded, form a structural matrix with adhesive properties. An analysis of scientific literature has shown that one of the problems of breaded products is an increased calorie content due to the absorption of oil during cooking. Among several mechanisms of this process, the greatest role is given to the "vacuum" effect during cooling of the product. Fat absorption is affected by the properties of food and cooking oil. It has been established that one of the effective ways to reduce fat absorption is the formation of a barrier film with additional ingredients of the food matrix (proteins of animal and vegetable origin, cellulose derivatives and various gums), as well as the use of new frying techniques. It is shown that this direction is of interest for further research and opens up new opportunities for the industry to form products in demand.

Keywords: batter, breading, breadcrumbs, fat absorption, deep frying, crispiness.

Введение

Несмотря на разнообразие кулинарных приемов, жареные продукты ценятся во всем мире из-за их вкусовых качеств – хрустящей корочки и приятного аромата. Продукты в кляре и панировочных сухарях давно присутствуют в питании населения, но изменения в пищевых привычках населения и появление различных панированных полуфабрикатов привели к увеличению их потребления. Процесс панирования широко применяется при приготовлении

практически всех групп пищевого сырья: рыбы, морепродуктов, сыра, овощей, птицы, мяса, как в сфере общественного питания, так и в пищевой промышленности.

Текстура является ключевым фактором приемлемости любых пищевых продуктов. Для изделий в панировочных системах главная роль отводится хрусткости [22, 62]. Восприятие хрустящей корочки является сочетанием тактильных и слуховых ощущений и зависит от макро- и микроскопических особенностей продукта [61].

Для цитирования

Молчанова Е.Н., Бердимуратова М. Панировочные системы: I. Виды, свойства, качество // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 87–98. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-87-98

For citation

Molchanova E. N., Berdimuratova M. Breading systems: I. Types, properties, quality. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 87–98. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-87-98

© 2023, Молчанова Е.Н. и Бердимуратова М. / Molchanova E. N., Berdimuratova M.

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

При изменении рецептурных составов, например, для получения более здоровых продуктов стараются сохранить высокое качество именно текстурного профиля. Помимо хрустящей корочки вкус и аромат также являются важным фактором, обуславливающим популярность жареных продуктов. По сравнению с ароматами других термических обработок, в том числе и инновационных, аромат данных кулинарных изделий характеризуется богатым разнообразием летучих соединений (например, альдегидов, спиртов, кетонов, углеводов, карбоновых кислот, фуранов, пиазинов и пиридинов) и зависит как от состава продукта и вида масла для жарки, так и параметров тепловой обработки [16]. Комбинация дополнительных компонентов, например аланина и глюкозы совместно с фосфолипидами яичного желтка может обогатить профиль летучих соединений и выступить в качестве характерных одорантов липидного происхождения и реакции Майяра [66].

Помимо органолептического аспекта панировочные системы действуют как барьер против потери влаги, обеспечивая сочность и выход готового продукта после дальнейшей тепловой обработки. Немаловажно, что с их помощью можно получить большое разнообразие привычных блюд с кардинально измененным вкусом или цветом.

Цель работы – обобщение и анализ научных публикаций, посвященных панировочным системам, их классификации, составам, роли отдельных компонентов в формировании качества, а также влияния фритюрной жарки на поглощение масла. аромата.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлась рецензируемая зарубежная и отечественная научная литература за последние двадцать лет, размещенная в базах данных Scopus, ScienceDirect, РИНЦ. Поиск осуществлялся по запросу слов «batter», «breader», «breeding», «breadcrumbs», «coatings», «tempura», «nuggets» а также «панировка», «панировочные сухари», «кляр». Использованы методы поиска, отбора, систематизации, обобщения и анализа научных публикаций. Обзор включал анализ исследовательских и обзорных публикаций, соответствующих тематике запроса, а также главы из книг, исключая материалы конференций, сборники трудов и т. д.

Результаты и обсуждение

1. Виды панировочных систем

Термином «панировочные системы» можно охарактеризовать любую комбинацию компонентов, наносимых на полуфабрикат (субстрат) для создания хрустящей корочки и желаемого вкуса при дальнейшей тепловой обработке.

Панировочные системы различаются по составу (одно- или многокомпонентные с присутствием большого количества как основных, так и дополнительных ингредиентов); консистенции (сухие – мука и панировочные сухари и жидкие – тесто); назначению (для жарки, запекания или приготовления в микроволновой печи); месту в многокомпонентной панировочной системе (в качестве внешнего или внутреннего слоя); цвету готовых изделий (от типичных кремового или светло-коричневого до разноцветных) и др.

Панировочные системы, представленные в сухом виде, различаются по размеру частиц (от очень мелких – 1–2 мм до крупных, как правило, удлиненных по форме с размером 10–20 мм), влажности (от сухой – 14% и менее до влажности мякиша хлеба), форме (от чешуйчатой до сферической), текстуре (от нежной до твердой) [28].

Процесс приготовления панированных изделий может состоять из одного этапа, когда на полуфабрикат наносится мука (панировочные сухари / тесто), или нескольких, включающих предварительную обсыпку, погружение в тесто и нанесение панировки внешнего слоя. Последние две операции могут повторяться дважды, причем промежуточная панировка, как правило, включает мелкие панировочные сухари [28]. Известно, внешний слой отвечает за органолептические свойства после тепловой обработки, в частности, хрустящую корочку, а внутренний слой предназначен для увеличения адгезии или поглощения воды, выделяемой при тепловой обработке субстратом. Как правило, в многослойной панировочной системе на предварительное напыление приходится около 7%, жидкое тесто – 30%, – остальное – более 60% – на панировочные сухари. В целом на панировочную систему может приходиться 30–50% массы полуфабриката [28, 33, 49].

В России отсутствует специальный термин, характеризующий слой предварительного напыления. Такую предварительную «обсыпку», как и панировочные сухари, называют панировкой.

Предварительное «напыление» – первый компонент многослойной системы покрытия, целью которого является создание более прочного соединения полуфабриката с тестом. Обычно данную роль выполняет пшеничная мука. На гладких и твердых поверхностях часто возникают проблемы с адгезией, поэтому предварительное напыление улучшает удержание теста на продукте. В продуктах с неровной поверхностью при данной операции образуется впитывающий слой, который придает большую однородность. Для субстратов, имеющих влажную поверхность, предварительная «обсыпка» поглощает влагу с поверхности, обеспечивая лучшее сцепление теста с продуктом. Во многих случаях этот компонент панировочной системы

может включать широкий спектр приправ или других добавок, способствующих вкусу.

Предварительную «обсыпку» можно разделить на три вида: мука без добавок; классическая, содержащая дополнительно соль, перец или ограниченное количество других пряностей и иногда сахар, и оригинальная – композиция различных видов муки с множеством специй, трав и приправ [17]. Пшеничная мука наиболее часто используется для этих целей, но существуют и другие альтернативы с использованием крахмала или белковых компонентов. Естественные адгезивные свойства муки способствуют ее удерживанию на субстрате, в дальнейшем это способствует лучшей адгезии для следующего слоя панировочной системы – теста [28].

Панировочные сухари (панировка) – кулинарный продукт, состоящий из более или менее крупных крошек, полученных из хлеба или сухарей. Традиционный способ производства панировочных сухарей включает приготовление теста, непродолжительное брожение и выпечку с последующим предварительным дроблением, сушкой, помолом, просеиванием до требуемого гранулометрического состава. В России в промышленности панировочные сухари получают из сухарей хлебных, приготовленных из муки пшеничной различных сортов (высшего первого, второго), кукурузных или пшеничных хлопьев или кукурузных палочек [2] или из просроченной продукции надлежащего качества. Гостом они определяются как достаточно однородная по размеру крупка.

В общественном питании панировочные сухари, полученные из пшеничного хлеба, называют красной панировкой. Для белой панировки используют мякиш белого хлеба. Подсушенный белый хлеб, нарезанный мелким кубиком или соломкой, считаются фигурной панировкой.

В зарубежной практике используют несколько видов панировочных сухарей, в том числе приготовленных не только традиционным способом из хлеба, но и из крекеров, дающих впоследствии твердую хрустящую текстуру, а также экструзионных продуктов [17, 32, 48]. Так называемые американские панировочные сухари в виде крошки обычно применяют для продуктов, предназначенных для разогрева или жарки в духовке. Их текстура менее жесткая, чем крошка из крекера. Панировочные сухари в японском стиле (панко) имеют более вытянутую форму, пористую структуру. Они обеспечивают более нежную и хрустящую корочку по сравнению с другими панировками. Хлеб для панко готовят нетрадиционным способом – с помощью электрического тока. Специализированный процесс выпечки позволяет получить булочки без корки с мякишем однородного цвета.

Повышенная влажность в панко способствует образованию пустот во время фритюрной жарки, и как следствие более хрустящей и легкой текстуре. Также панко имеют более высокую устойчивость к потемнению в процессе жарки [17, 29, 32]. Панировку из кукурузных хлопьев можно использовать для разных видов полуфабрикатов, наиболее предпочтительна она для запекания, поскольку хрустящая корочка уже сформирована [31]. Наряду с классическими вариантами панировочных сухарей производители предлагают панировку, состоящую из крошек разного размера для создания неоднородного слоя [61]. В панировку могут быть включены другие ингредиенты, такие как кусочки бекона, специи, сухие зелень или овощи [17]. Также существуют специальные виды, например, для покрытия полуфабрикатов из курицы в ряде предприятий американской кухни.

Жидкое тесто (кляр) – включает воду, муку и другие ингредиенты, обеспечивающие необходимые вкусовые и текстурные характеристики. Тесто может быть одним из промежуточных слоев панировочной системы как связывающее вещество для удержания панировочных сухарей или единственным компонентом покрытия. Рецепт теста может различаться в зависимости от используемого полуфабриката или желаемого внешнего вида готового продукта. В качестве промежуточного слоя могут выступать взбитое яйцо или отдельно взбитые белок или желток. Наиболее распространенными ингредиентами теста являются пшеничная и кукурузная мука, крахмал, камеди, белковые продукты, ароматизаторы, приправы и соль.

В зависимости от степени вязкости тесто можно разделить на адгезионное (низкой вязкости), когезионное (средней вязкости) и темпурное (высокой вязкости) [60]. Адгезионное тесто применяют в качестве промежуточного слоя между полуфабрикатом и покрытием из панировочных сухарей [25]. Для приготовления блюд японской кухни – темпуры, как правило, из морепродуктов, мяса или овощей, обжаренных во фритюре, в тесто добавляют разрыхлитель, который способствует его расширению во время жарки [17, 65]. Примечательно, что термином «темпура» обозначают не только кулинарные изделия, но и тесто, а также сам процесс приготовления.

Сохранение требуемой вязкости на протяжении всего производственного процесса является одним из необходимых условий при приготовлении теста, т. к. это обеспечивает эффективность системы покрытия во время жарки, однородность текстуры и соответствующий внешний вид. Так, по этой причине тесто темпура готовят небольшими порциями, чтобы получить продукт стабильного качества.

В настоящее время в качестве промежуточного звена между субстратом и панировкой внешнего слоя рассматривают гели на основе животного белка из высокоочищенного коллагенового сырья [5]. Такой вид покрытия предлагается для изделий, подвергающихся запеканию.

2. Роль отдельных компонентов в составе панировочных систем

Мука. Основным компонентом панировочных систем, как сухих, так и влажных, является пшеничная мука, которая обеспечивает привычный вкус и текстуру. Клейковинные белки пшеницы при замешивании формируют структурную матрицу, которая улавливает и удерживает пузырьки воздуха в тесте, а также способствуют его однородности и адгезии [37]. Особая роль клейковинных белков проявляется в тесте для темпуры, т. к. требуется удержание газов, образованных разрыхлителем. В дальнейшем это приводит к меньшей плотности и, следовательно, к более пористой и хрустящей текстуре [50]. Для панировочных систем важна стабильность качества муки, поскольку ее водопоглощительная способность влияет на физические свойства теста и в дальнейшем на технологические и функциональные свойства панировочных систем. В наибольшей степени ответственными за качество можно считать количество и качества белка, содержание поврежденных зерен крахмала, ферментативную активность и наличие пентозанов [17]. Белки в жидком тесте также ответственны за конечный выход жареных продуктов [50].

Пшеничная мука часто используется в смеси с кукурузной. Последняя поддерживает низкую вязкость теста и помогает нейтрализовать крахмалистый вкус пшеничной муки [17]. В настоящее время рассматриваются добавление и других видов муки – овсяной, амарантовой, ячменной, гречневой, чечевичной, нутовой, люпиновой, а также рыбной [11, 47, 52, 57–59]. Однако реологическое поведение теста при использовании нетрадиционной муки, например ячменной, может быть подвержено значительному варьированию в зависимости, как размера частиц, так и от добавленной жидкости [59]. Для улучшения реологических характеристик теста используется экструдированная мука [48]. Известно, что экструзия приводит к изменениям крахмала и белков, соответственно изменяются и водопоглощительная способность муки и реологические свойства жидкого теста [38]. Более высокая вязкость способствует удерживанию большего количества теста на полуфабрикате [48]. При этом наблюдается более высокая адгезия и хрустящая текстура в готовом продукте, а также происходит снижение прогорклых летучих соединений сравнению с контрольным образцом.

Однако, на наш взгляд, последняя характеристика при правильном ведении технологического процесса менее актуальна, т. к. прогорклый вкус свойственен некачественному маслу, которое не должно использоваться.

Крахмал. В панировочных системах используют самые различные крахмалы – кукурузный, картофельный, пшеничный, крахмал тапиоки и др. Обычно выбирают крахмалы с более высоким содержанием амилозы, которые образуют пленку, сохраняющуюся во время фритюрной жарки, что способствует уменьшению поглощения жира [25]. Поэтому крахмал из кукурузы восковой спелости (с высоким содержанием амилопектина) в производстве панировочных систем не рекомендуется. Вид и морфология гранул крахмала может влиять на степень поглощения масла. Так, менее компактная кристаллическая структура картофельного крахмала типа В по сравнению с пшеничным (типа А), способствовала большему поглощению масла [63].

Широко используются модифицированные крахмалы для полуфабрикатов, проходящих стадию замораживания – оттаивания [27]. Одним из новых достижений в линейке крахмалов являются декстрины, которые обладают превосходными пленкообразующими свойствами. Эти продукты также могут продлить срок хранения готовой продукции, это наиболее важно в предприятиях общественного питания, где предпочтительно, чтобы жареные продукты оставались хрустящими в течение максимального времени.

Белковые компоненты. В панировочных системах используют соевый изолят, белки молочной сыворотки и яиц, сухую пшеничную клейковину и другие белки. Их применение в рецептуре жидкого теста способствует предотвращению повышенной абсорбции жира из-за пленкообразующих свойств и свойств термического гелеобразования что, соответственно, снижает содержание масла в конечном продукте [13, 20, 23]. Также увеличивается водоудерживающая способность теста и улучшается показатель хрусткости.

В исследованиях смесей, включающих разные типы белков и крахмала, показано увеличение температуры клейстеризации крахмала за счет конкурентного связывания свободной воды белками. Обволакивая гранулы крахмала, полипептиды белков образуют гелевую сетку. При нагревании денатурация белков препятствует процессам набухания и клейстеризации крахмала. Повышенная гидрофильная природа белков, а также особенности сформированной структурной матрицы компонентов теста были ответственны за снижение поглощения жира.

Степень абсорбции масла для разных белков характеризовалась следующей зависимостью: сывороточные > яичные > соевые [20]. Как правило, при использовании белковых компонентов ускоряется подрумянивание теста во время жарки из-за увеличения количества аминокрупп, участвующих в реакциях Майяра [25, 50].

Гидроколлоиды и пищевые волокна. Использование гидроколлоидов в панировочных системах в основном связано с их способностью поглощать и удерживать воду, выступая в качестве загустителей или регуляторов вязкости (например, гуаровая или ксантановая камедь), а также для увеличения адгезивных свойств к продуктам или полуфабрикатам. (альгинаты или каррагинан) [8, 41]. Гидроколлоиды проявляют хорошую устойчивость к процессу замораживания-оттаивания, что важно для большой группы продуктов, выпускаемой пищевой промышленностью [60]. Камеди можно использовать в предварительной обсыпке, смешивая с инертными ингредиентами, например мукой или крахмалом. Кроме напыления, можно использовать водный раствор камедей для погружения в него продукт или вводить в кляр или тесто для приготовления панировочных сухарей. Также гидроколлоиды включают в рецептурные составы с использованием альтернативных видов муки, которые не способны к образованию вязкого теста, чтобы обеспечить качество, аналогичное классической рецептуре. Учитывая, что многие камеди обладают высокой гидрофильностью, часто требуется корректировки соотношения сухих веществ и воды в рецептуре. Добавление гидроколлоидов, как правило, эффективно на уровне всего 1–1,5% (или менее) от сухого веса компонентов рецептуры [30].

В жидком тесте гидроколлоиды способны к многочисленным взаимодействиям с другими компонентами пищевой системы, например, липидами, белками, другими видами гидроколлоидов. Комбинированный эффект распространяется на различные физические свойства: поверхностное натяжение, гидрофильную способность, способности к гелеобразованию при нагревании и способности образовывать пленки [57]. Поэтому введение гидроколлоидов в панировочные системы требует достаточно тщательного изучения для прогнозирования эффективности их применения.

Добавление пищевых волокон в панировочные системы снижает поглощение масла, а также улучшают текстуру и общую приемлемость, а также способствует более здоровым рецептурным составам. [19, 44, 51].

Пряности, приправы, сушеные овощи. Для увеличения ассортимента продукции и удовлетворения запросов покупателей для панировочных систем используют новые виды

сырья, приправ и пряностей. Например, для внешнего покрытия применялась смесь розмарина, кориандра и куркумы совместно с альгинатом натрия. [6]. Как правило, пряности добавляют в тесто для хлеба или крекеров. Другим вариантом является распыление ароматизированной эмульсии на внутренний или внешний слой панировочной системы [54]. При данном способе в качестве побочного эффекта может быть переход жирорастворимых компонентов во фритюрное масло с последующим изменением его свойств. В предприятиях ресторанного бизнеса при приготовлении в одной фритюрнице различных полуфабрикатов, возможно нежелательное изменение органолептических показателей изделий, например с более нейтральной вкусовой комбинацией. Также следует учитывать термостойкость сырья с учетом температурных и временных режимов тепловой обработки.

В качестве панировок предложено применять различные сухие овощи. Так, изучена возможность использования сушеного корня сельдерея, корня петрушки в качестве панировки замороженных рыбоовощных полуфабрикатов, которые показали хорошую приемлемость [3, 4]. Рассматривалось добавление в кляр 3, 5 и 7% лиофилизированного зеленого лука (*Allium wakegi* Araki), при этом увеличивалась вязкость теста и хрусткость готового продукта [46]. Сенсорные характеристики образцов с добавлением 3 – 5% лиофилизированных зеленого лука получили лучшие оценки дегустаторов.

В настоящее время все больше используют многокомпонентные вариации состава теста, добавляя или заменяя традиционные продукты новыми. Так, многокомпонентная смесь для рыбных нагетсов содержала равное количество пшеничной и кукурузной муки, 1% белка, 5% крахмала, 1% камеди [18]. Рассматривалось совместное включение ксантановой камеди и соевого волокна в различных соотношениях. Наименьшее содержание жира наблюдалось при соотношении компонентов 1:2 [51]. В тесте для темпуры часть традиционных ингредиентов заменили кукурузной мукой, мальтодекстрином, этанолом [39]. С добавлением мальтодекстрина вязкость теста снижалась и появлялась корочка с золотисто-коричневой окраской, которая оставалась более стабильной при хранении. Ранее было выявлено, что добавление этанола привело к снижению уровня влаги и повышению содержания жира в жареной панировке независимо от использования CO₂ [15]. Тесто темпура, содержащее комбинацию различных видов муки – ячменную, гречневую и муку из растения *Coix lacryma-jobi* (Иовлевы слезы) позволило увеличить антиоксидантную активность теста при сохранении органолептических

качеств [58]. Для получения покрытия необычного цвета использовали муку из пурпурного сладкого картофеля, изолят соевого белка и ксантановую камедь [64].

3. Изменение панировочных систем во время жарки во фритюре

Жарка во фритюре – распространенный метод приготовления пищи. При этом подготовленный полуфабрикат погружается в жировую фазу (чаще всего растительное масло или специализированный фритюрный жир). В настоящее время все больший интерес вызывают инновационные виды жарки во фритюре – в вакууме, под высоким давлением, в микроволновой печи [24, 49]. В зависимости от вида жарки происходит меньшая сорбция масла или уменьшается время приготовления, в любом случае продукты имеют лучшие органолептические свойства. [49]

Во время фритюрной жарки основными являются массо- и теплообменные процессы. Влага субстрата движется к поверхности и испаряется, обеспечивая образование корочки, а масло, диффундирующее с поверхности к центру, действует как в качестве механизма теплопередачи, так и в качестве нового ингредиента в составе продукта [40].

Существует множество теорий, объясняющих механизмы поглощения масла во время жарки, наиболее признанными считаются массообменные процессы, эффект фазы охлаждения и теория поверхностно-активных веществ [21].

Первый механизм описывает поглощение масла относительно большими пустотами в корочке, которые образуются из-за испарения воды. В результате высокой температуры теплоносителя (160–190 °C) внутри продукта нарастает давление за счет скопления избыточного пара, что приводит к разрушению поверхностного слоя путем образования трещин. С другой стороны, показано, что давление увеличивается в течение только нескольких секунд, остальное время процесс массопереноса происходит при отрицательном давлении [34]. Также пар выходит через каналы и капилляры, присутствующие в пищевой матрице, которые становятся доступными для проникновения масла [21, 40, 61]. Традиционно считалось, что степень нарушения целостности корочки связана с количеством выделяемого пара, и одним из факторов поглощения масла в значительной степени является исходное количество влаги в субстрате. Например, для жидкого теста высокое содержание воды приводит к взрывному испарению, вызывая разрушение поверхности и, следовательно, увеличивая ее проницаемость для поглощения масла [26]. Однако, для картофельных чипсов показано, что начальная влажность сама по себе не может влиять на конечное содержание масла, или на соотношение фракций масла,

поглощаемых продуктом [69]. Предполагают, что процесс абсорбции больше связан с типом образующегося свободного пространства (например, крупных или мелких трещин) при испарении воды. Хотя микроструктура рассматриваемых панировочных систем и картофеля сильно отличается, данные результаты дают основание говорить, что процессы массообмена еще не до конца изучены.

Второй механизм дает объяснение поглощения значительного количества масла, когда продукт вынимается из фритюрницы [42, 61]. При остывании происходит конденсации водяного пара и последующее снижение внутреннего давления, поэтому масло, оставшееся на поверхности, всасывается из-за образующегося «эффекта вакуума» [21]. Считают, что характеристики поверхности продукта и вязкость масла играют первостепенную роль. Фактически, чем меньше поры, тем больше количество жира, поглощаемого капиллярными силами во время охлаждения [61]. В настоящее время находит подтверждение теория, что поглощение масла при охлаждении обусловлено не конденсацией водяного пара, а силой капиллярного давления [22].

Третий механизм объясняет повышенную абсорбцию масла при длительном использовании фритюрного жира. Нагрев масла во время жарки вызывает ряд химических и физических изменений, включая процессы гидролиза и окисления, что приводит к образованию различных поверхностно-активных соединений, например, моно- и диглицеридов, которые снижают поверхностное натяжение между маслом и пищевыми продуктами, действуют как смачивающие агенты. Но более реальной выглядит версия об увеличении вязкости масла в связи с реакциями полимеризации триглицеридов при длительном температурном воздействии [21].

Основываясь на различных механизмах абсорбции масла, фракции масла в жареных продуктах делят на категории в зависимости от их расположения: поверхностное, структурное и масло, проникающее через поверхность [12]. Поверхностное масло, представляет собой масляную фракцию, которая остается на поверхности продукта после удаления из жарочной среды и регулируется взаимосвязью между капиллярными силами и межфазным натяжением. Структурное масло проходит внутрь через щели, возникающие в результате непрерывного замещения влаги жиром во время жарки. Масло, проникающее через поверхность, всасывается в продукт на стадии охлаждения за счет «вакуумного» эффекта. Общеизвестно, что наибольшее поглощение масла продуктом происходит в период охлаждения. При этом количество масла, впитавшегося в продукт после жарки, сильно зависит от количества масла на поверхности [44].

В панировочных системах, как и в других продуктах, жареных во фритюре содержание масла, проникающего через поверхность, является наиболее значимой фракции, т. к. на его долю приходится наибольший процент от общего содержания масла для продуктов. При этом максимальное количество масла в продуктах характерно при более высокой температуре обжаривания [44].

На поглощение жира влияют различные факторы, например, свойства пищевых продуктов: их состав, форма и характеристики поверхности, плотность и размер продукта. Так, например, для кабачков в кляре более тонкие ломтики приводили к более высокому поглощению масла [39]. Продукты с более высокой степенью шероховатости поглощают больше масла [43]. Кроме того, важны свойства масла, включая тип и степень его деградации в процессе фритюрной жарки, а также параметры процесса – условия предварительной обработки, обжаривания и постобжаривания [49, 71].

Учитывая ячеистую структуру панировочных систем и различное состояние их поверхности в зависимости от вида, изучались изменения физически и механических характеристики панировочных сухарей различного размера от 355 мкм до 4 мм на креветках. [61, 62]. Показатель общей пористости покрытий в целом уменьшался с увеличением размера панировочных сухарей. Наибольшие различия наблюдались у крупных панировочных сухарей по сравнению с остальными [61]. Близкие значения общей пористости между крошкой размером 500 мкм и менее и покрытием только из теста объяснялись тем, что панировочные сухари наименьшего размера способны обеспечивать равномерный слой на поверхности продукта и создавать герметичный барьер для предотвращения потери влаги. Более крупные панировочные сухари подвергаются большему воздействию масла в процессе жарки. С точки зрения атрибутов текстуры, по мере того, как размер хлебных крошек уменьшался с 4,0 до 355 мкм, значительно уменьшались и показатели «хрусткости» ($p < 0,0001$) и «твердости» ($p < 0,0001$) [62].

Для изделий в панировочных системах предложены различные математические модели массопереноса фритюрного обжаривания [53, 67, 70]. Например, изменение влажности корки подчиняется второму закону диффузии Фика, а изменение жира – кинетической модели первого порядка. Кроме массо- и теплообмена во время фритюрной жарки происходят и традиционные для тепловой обработки процессы –

клейстеризация и деструкция крахмала, денатурация белков, реакция меланоидинообразования, совокупность которых оказывает положительное влияние на текстуру и аромат, способствует образованию хрустящей корочки золотистого цвета, так высоко ценимой потребителями.

4. Способы уменьшения поглощения масла

Высокое содержание масла в продукции с использованием панировочных систем вызывает беспокойство в связи с рядом заболеваний, в том числе заболеваний сердечно-сосудистой системы, ожирения, повышенного уровня холестерина. В жареных продуктах на жир может приходиться до 75% калорий [13], в то время как в рекомендации по здоровому питанию предполагают 30–35% калорий. Соответственно, разработка продукции с пониженной жирностью является одним из приоритетных направлений в данной области [19, 22, 36].

Были изучены многочисленные методы снижения содержания жира в жареных продуктах, в том числе: создание съедобного физического барьера (пленки) на продуктах, изменение поверхности продуктов, их предварительную обработку, новые методы жарки (жарка в вакууме, горячем воздухе и микроволновой печи или их комбинация), контроль полярности масла для жарки путем частой замены свежего масла и модификация жарочной среды путем корректировки температуры, времени или метода жарки [14, 19, 45]. Одним из простых приемов является промакивание поверхности продукта впитывающей бумагой, либо сдувание горячим воздухом или перегретым паром поверхностного масла с продукта, а также поддержание постоянной температуры, препятствующей охлаждению и образованию «вакуумного» эффекта [1].

Одним из эффективных способов уменьшения всасывания жира продуктами с использованием панировочных систем является формирование пленки в качестве барьера. Более того, физическими и механическими свойствами таких продуктов можно управлять в зависимости от физико-химической природы пленки, образующейся под слоем панировочной матрицы [13]. Данными свойствами обладает достаточно большое разнообразие пищевых ингредиентов: животные белки и растительные белки, производные целлюлозы и различные камеди [18, 55]. Сообщается, что дополнительными механизмами, ингибирующими абсорбцию жира белками и гидроколлоидами, кроме образования пленки, являются повышение гидрофильности поверхности и гелеобразование при нагревании [60].

Компонентами панировочных систем, которые могут снизить поглощение масла на 35–50%, являются метилцеллюлоза, изоляты соевого белка, белки молочной сыворотки и пшеничной клейковины, ксантановая или гуаровая камедь [9, 35, 36]. Еще одним потенциальным ингредиентом, препятствующим впитыванию масла, является пищевая клетчатка из побегов бамбука, вводимая с яичным белком. Ингибирование поглощения жира в жареных наггетсах зависело от уровня добавления ее в тесто, при этом 6% демонстрировало максимальный эффект [68]. Исследование влияние типа масла на свойства теста, обжаренного во фритюре, показало, что образцы, обжаренные в кокосовом масле, имели меньшую плотность, более высокое поглощение масла, но лучшую текстуру, чем те, что были обжарены в пальмовом масле [56]. Использование олеогелей также способствует снижению поглощения масла [7, 10]. Так, луковые кольца, обжаренные в олеогеле, впитали на 33–37% меньше масла по сравнению с контрольной группой [10].

Заключение

Панировочные системы можно определить как любую комбинацию ингредиентов для покрытия полуфабриката для придания готовым изделиям таких свойств как вкус, текстура и внешний вид. Основными видами панировочных систем являются предварительное «напыление», панировочные сухари и жидкое тесто. Современные рецептуры включают различные виды муки, белковые вещества, крахмал, гидроколлоиды, пряности и специи. Одним из приоритетных направлений в исследованиях с панировочными системами является разработка продукции с пониженной жирностью. Основным механизмом, приводящим к абсорбции масла панировочными системами, является «вакуумный» эффект во время фазы охлаждения. На поглощение жира влияют различные факторы: свойства пищевых продуктов и фритюрного масла, а также параметры процесса жарки. Изменение рецептурных составов и приемов приготовления может способствовать уменьшению впитывания жира.

Литература

- 1 Васькина В.А., Львович Н.А., Вайншенкер Т.С. Обжаривание мучных изделий во фритюре. механизмы впитывания жира // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2013. № 11–12. С. 46–48.
- 2 ГОСТ 28402–89. Сухари панировочные. Общие технические условия.
- 3 Науменко Е.А. Изучение возможности использования растительного покрытия в качестве панировки // Инновации в науке, образовании и бизнесе-2013. 2013. С. 168–171.
- 4 Науменко Е.А. Разработка рыбного полуфабриката с использованием панировок из растительного сырья // Известия КГТУ. 2014. № 3. С. 99–107.
- 5 Сложенкина М.И., Сивко А.Н., Асеев Н.А. Эффективность применения растительной панировки в технологии цельномышечных изделий // Аграрно-пищевые инновации. 2021. Т. 16. № 4. С. 55–65. doi:10.31208/2618-7353-2021-16-55-65.
- 6 Фадеева Е.А. Панировка из растительного сырья–полезное покрытие // Редакционная коллегия. 2016. С. 144.
- 7 Adrah K., Adegoke S.C., Tahergorabi R. Physicochemical and microbial quality of coated raw and oleogel-fried chicken // LWT. 2022. V. 154. P. 112589. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112589
- 8 Albert A., Perez-Munuera I., Quiles A., Salvador A. et al. Adhesion in fried battered nuggets: Performance of different hydrocolloids as predests using three cooking procedures // Food Hydrocoll. 2009. V. 23. №. 5. P. 1443-1448. doi:10.1016/j.foodhyd.2008.11.015
- 9 Altunakar B., Sahin S., Sumnu G. Functionality of batters containing different starch types for deep-fat frying of chicken nuggets // Eur Food Res Technol. 2004. V. 218. № 4. P. 318–322. doi: 10.1007/s00217-003-0854-5
- 10 Aydeniz-Guneser B., Yilmaz E. Sunflower oil-polyglycerol stearate oleogels: Alternative deep-fat frying media for onion rings // J Oleo Sci. 2022. V. 71. № 5. P. 651–662. doi: 10.5650/jos.ess21446
- 11 Bonfim B. de C., Monteiro M.L.G., Santos A.F.G.N. do, Vilar J. dos S. et al. Nutritional improvement and consumer perspective of fish nuggets with partial substitution of wheat flour coating by fish (*Priacanthus arenatus*, Cuvier, 1829) waste flour // J Aquat Food Prod Technol. 2019. P. 1–15. doi: 10.1080/10498850.2019.1693462
- 12 Bouchon P., Aguilera J.M., Pyle D.L. Structure oil-absorption relationships during deep-fat frying // Journal of Food science. 2003. V. 68. № 9. P. 2711–2716.
- 13 Brannan R.G., Mah E., Schott M., Yuan S. et al. Influence of ingredients that reduce oil absorption during immersion frying of battered and breaded foods: Influence of ingredients that reduce oil absorption // Eur J Lipid Sci Technol. 2014. V. 116. № 3. P. 240–254. doi: 10.1002/ejlt.201200308
- 14 Brannan R.G., Pettit K. Reducing the oil content in coated and deep-fried chicken using whey protein // Lipid Technol. 2015. V. 27. № 6. P. 131–133. doi: 10.1002/lite.201500022
- 15 Carvalho M.J., Ruiz-Carrascal J. Improving crunchiness and crispness of fried squid rings through innovative tempura coatings: addition of alcohol and CO2 incubation // J Food Sci Technol. 2018. V. 55. № 6. P. 2068–2078. doi: 10.1007/s13197-018-3121-2
- 16 Chang C., Wu G., Zhang H., Jin Q. et al. Deep-fried flavor: characteristics, formation mechanisms, and influencing factors // Crit Rev Food Sci Nutr. 2020. V. 60. № 9. P. 1496–1514. doi: 10.1080/10408398.2019.1575792
- 17 Chen R.Y., Wang Y., Dyson D. Breadings-What They Are and How They Are Used // Batters and Breadings in Food Processing. 2011. P. 169–184. doi: 10.1016/b978-1-891127-71-7.50015-2
- 18 Chen S.-D., Chen H.-H., Chao Y.-C., Lin R.-S. Effect of batter formula on qualities of deep-fat and microwave fried fish nuggets // J Food Eng. 2009. V. 95. № 2. P. 359–364. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2009.05.016
- 19 Ching L.W., Zulkipli N., afifah M., Muhamad I.I., Marsin A.M. et al. Dietary management for healthier batter formulations // Trends Food Sci Technol. 2021. V. 113. P. 411–422. doi: 10.1016/j.tifs.2021.03.054

- 20 Cui L., Chen J., Wang Y., Xiong Y.L. The effect of batter characteristics on protein-aided control of fat absorption in deep-fried breaded fish nuggets. *Foods*. 2022. V. 11. № 2. P. 147. doi: 10.3390/foods11020147
- 21 Dana D., Saguy I.S. Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth // *Adv Colloid Interface Sci*. 2006. V. 128–130. P. 267–272. doi: 10.1016/j.cis.2006.11.013
- 22 Dehghannya J., Ngadi M. Recent advances in microstructure characterization of fried foods: Different frying techniques and process modeling // *Trends Food Sci Technol*. 2021. V. 116. P. 786–801. doi: 10.1016/j.tifs.2021.03.033
- 23 Dogan S.F., Sahin S., Sumnu G. Effects of batters containing different protein types on the quality of deep-fat-fried chicken nuggets // *Eur Food Res Technol*. 2005. V. 220. № 5–6. P. 502–8. doi: 10.1007/s00217-004-1099-7
- 24 Faruq A., Khatun A., Azam M.H.A., Sarker S.R. et al. Recent advances in frying processes for plant-based foods // *Food Chemistry Advances*. 2022.
- 25 Fiszman S.M., Salvador A. Recent developments in coating batters // *Trends Food Sci Technol*. 2003. V. 14. № 10. P. 399–407. doi: 10.1016/s0924-2244(03)00153-5
- 26 Gazmuri A.M., Bouchon P. Analysis of wheat gluten and starch matrices during deep-fat frying // *Food Chem*. 2009. V. 115. № 3. P. 999–1005. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.01.020
- 27 Gerdes S. Batters and Breadings Live Tastes. *Naturalproductsinsider.com*. URL: <https://www.naturalproductsinsider.com/archive/batters-and-breadings-live-tastes>
- 28 Hall R.H. Applications of natural ingredients in savoury food products // In: *Natural Food Additives, Ingredients and Flavourings*. Elsevier; 2012. P. 281–317.
- 29 Hui Y.H. Handbook of meat and meat processing. CRC press, 2012. doi: 10.1201/b11479
- 30 Izadi S., Ojagh S.M., Rahmanifarah K., Shabanpour B., Sakhale B.K. Production of low-fat shrimps by using hydrocolloid coatings // *J Food Sci Technol*. 2015. V. 52. № 9. P. 6037–6042. doi: 10.1007/s13197-014-1632-z
- 31 Johnson L.A., Deak N., Vignaux N., Burge R.M. Dry-milled corn ingredients in food coatings // In: *Batters and Breadings in Food Processing*. Elsevier, 2011. P. 25–51.
- 32 Kalschne D.L., Corso M.P., Canan C. Advances in meat processing technologies: Modern approaches to meet consumer demand // *Bentham Science Publishers*. 2020.
- 33 Kulp K. Batters and breadings in food processing. Academic Press, 2016,
- 34 Lalam S., Sandhu J.S., Takhar P.S., Thompson L.D., Alvarado C. Experimental study on transport mechanisms during deep fat frying of chicken nuggets // *Lebenson Wiss Technol*. 2013. V. 50. № 1. P. 110–119. doi: 10.1016/j.lwt.2012.06.014
- 35 Lee S., Inglett G.E.. Effect of an Oat β – Glucan-Rich Hydrocolloid (C-trim30) on the Rheology and Oil Uptake of Frying Batters // *Journal of Food Science*. 2007. V. 72. № 4. P. E222–6. doi: 10.1111/j. 1750-3841.2007.00326.x
- 36 Liberty J.T., Dehghannya J., Ngadi M.O. Effective strategies for reduction of oil content in deep-fat fried foods: A review // *Trends Food Sci Technol*. 2019. V. 92. P. 172–183. doi: 10.1016/j.tifs.2019.07.050
- 37 Mallikarjunan P., Ngadi M.O., Chinnan M.S. Breaded fried foods. CRC Press, 2009.
- 38 Martínez M.M., Sanz T., Gómez M. Influence of wheat flour subjected to different extrusion conditions on the rheological behaviour and thermal properties of batter systems for coating // *Lebenson Wiss Technol*. 2015. V. 64. № 2. P. 1309–1314. doi: 10.1016/j.lwt.2015.07.037
- 39 Martínez-Pineda M., Yagüe-Ruiz C., Vercet A. How batter formulation can modify fried tempura-battered zucchini chemical and sensory characteristics? // *Foods*. 2020. V. 9. № 5. P. 626. doi: 10.3390/foods9050626
- 40 Mellema M. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods // *Trends Food Sci Technol*. 2003. V. 14. № 9. P. 364–373. doi: 10.1016/s0924-2244(03)00050-5
- 41 Meyers M.A., Grazela A. Functionality of hydrocolloids in batter coating systems // *Batters and breadings in food processing*. 2011. P. 117–138.
- 42 Moreno M.C., Bouchon P. Microstructural characterization of deep-fat fried formulated products using confocal scanning laser microscopy and a non-invasive double staining procedure // *J Food Eng*. 2013. V. 118. № 2. P. 238–246. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.03.007
- 43 Moreno M.C., Brown C.A., Bouchon P. Effect of food surface roughness on oil uptake by deep-fat fried products // *J Food Eng*. 2010. V. 101. № 2. P. 179–186. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.06.024
- 44 Onipe O.O., Beswa D., Jideani A.I.O. Quantification of oil fractions of deep-fried wheat dough and batter enriched with oat and wheat bran // *J Food Qual*. 2021. P. 1–9. doi: 10.1155/2021/5552951
- 45 Pankaj S.K., Keener K.M. A review and research trends in alternate frying technologies // *Curr Opin Food Sci*. 2017. V. 16. P. 74–79. doi: 10.1016/j.cofs.2017.09.001
- 46 Park S.-Y., Kim H.-Y. Effect of lyophilized chive (*Allium wakegi* Araki) supplementation to the frying batter mixture on quality attributes of fried chicken breast and tenderloin // *Food Chem X*. 2022. V. 13. P. 100216. doi: 10.1016/j.fochx.2022.100216
- 47 Reddy D.M., Reddy V.B., Gupta R., Vani S. Effect of oat flour on physico-chemical characteristics of mutton nuggets // *International Journal of Science, Environment and Technology*. 2017. V. 6. № 1. P. 248–253.
- 48 Román L., Pico J., Antolín B., Martínez M.M. et al. Extruded flour improves batter pick-up, coating crispness and aroma profile // *Food Chemistry*. 2018. V. 260. P. 106–114. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.03.136
- 49 Safari A., Salamat R., Baik O.-D. A review on heat and mass transfer coefficients during deep-fat frying: Determination methods and influencing factors // *J Food Eng*. 2018. V. 230. P. 114–123. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.01.022
- 50 Salvador A., Sanz T., Fiszman S. Effect of the addition of different ingredients on the characteristics of a batter coating for fried seafood prepared without a pre-frying step // *Food Hydrocoll*. 2005. V. 19. № 4. P. 703–708. doi: 10.1016/j.foodhyd.2004.07.003
- 51 Shan J., Chen J., Xie D., Xia W. et al. Effect of Xanthan Gum/Soybean Fiber Ratio in the Batter on Oil Absorption and Quality Attributes of Fried Breaded Fish Nuggets // *Journal of Food Science*. 2018. V. 83. № 7. P. 1832–1838.
- 52 Shokrollahi Yancheshmeh B., Mohebbi M., Varidi M., Razavi S.M. et al. Performance of lentil and chickpea flour in deep-fried crust model (DFCM): oil barrier and crispy properties // *J Food Meas Charact*. 2019. V. 13. № 1. P. 296–304. doi: 10.1007/s11694-018-9944-8
- 53 Soorgi M., Mohebbi M., Mousavi S.M., Shahidi F. The effect of methylcellulose, temperature, and microwave pretreatment on kinetic of mass transfer during deep fat frying of chicken nuggets // *Food Bioproc Tech*. 2012. V. 5. № 5. P. 1521–1530. doi: 10.1007/s11947-011-0520-z
- 54 Suderman D.R. Effective use of flavorings and seasonings in batter and breading systems // *Batters and breadings in food processing*. 2011. P. 73–91.

- 55 Sun J., Wu R., Hu B., Jia C. et al. Effects of konjac glucomannan on oil absorption and safety hazard factor formation of fried battered fish nuggets // *Foods*. 2022. V. 11. № 10. P. 1437. doi: 10.3390/foods11101437
- 56 Surojanametukul V., Karnasuta S., Satmalee P. Effect of oil type and batter ingredients on the properties of deep-frying flakes // *Food Sci Technol*. 2020. V. 40. № 2. P. 592–596. doi: 10.1590/fst.32919
- 57 Tamsen M., Shekarchizadeh H., Soltanizadeh N. Evaluation of wheat flour substitution with amaranth flour on chicken nugget properties // *Lebenson Wiss Technol*. 2018. V. 91. P. 580–587. doi: 10.1016/j.lwt.2018.02.001
- 58 Taniguchi A., Kyogoku N., Kimura H., Kondo T. et al. Antioxidant capacity of tempura deep-fried products prepared using barley, buckwheat, and Job's tears flours // *Foods*. 2020. V. 9. № 9. P. 1246. doi: 10.3390/foods9091246
- 59 Taniguchi A., Miura M., Ikeda T.M., Kaneko S. et al. Factors affecting rheological properties of barley flour-derived batter and dough examined from particle properties // *Food Hydrocoll*. 2022. V. 129. P. 107645. doi: 10.1016/j.foodhyd.2022.107645
- 60 Varela P., Fiszman S.M. Hydrocolloids in fried foods. A review // *Food Hydrocoll*. 2011. V. 25. № 8. P. 1801–1812. doi: 10.1016/j.foodhyd.2011.01.016
- 61 Voong K.Y., Norton A.B., Mills T.B., Norton I.T. Characterisation of deep-fried batter and breaded coatings // *Food Structure*. 2018. V. 16. P. 43–49. doi: 10.1016/j.foostr.2018.03.002
- 62 Voong K.Y., Ngadi M., Norton-Welch A., Mills T.B., Norton I.T. Understanding and predicting sensory crispness of deep-fried battered and breaded coatings // *Journal of Texture Studies*. 2019. V. 50. № 6. P. 456–464. doi:10.1111/jtxs.12456
- 63 Wang Y., McClements D.J., Long J., Qiu C. et al. Structural transformation and oil absorption of starches with different crystal types during frying // *Food Chem*. 2022. V. 390. P. 133115. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.133115
- 64 Xu J., Ji H., Dong H., Duan S. et al. A promising natural purple batter system with antioxidant activity for vacuum fried breaded shrimp // *Food Sci Technol*. 2021. doi: 10.1590/fst.35220
- 65 Xue J., Ngadi M. Rheological properties of batter systems containing different combinations of flours and hydrocolloids // *J Sci Food Agric*. 2007. V. 87. № 7. P. 1292–1300. doi: 10.1002/jsfa.2845
- 66 Ye T.-T., Guo D., Zhao Z.-J., Liu J. et al. Use of egg yolk phospholipids as well as alanine and glucose to generate the key odorants of fried battered and breaded fish nuggets // *Lebenson Wiss Technol*. 2022. V. 162. P. 113489. doi: 10.1016/j.lwt.2022.113489
- 67 Yuan Z., Chen J., Zeng H., Xia W. et al. Kinetic modeling for mass transfer of breaded and battered fish nuggets (BBFNs) with soybean fiber, xanthan gum and whey protein during deep-fat frying // *Shipin Kexue/Food Science*. 2018. V. 39. № 3. P. 34–40.
- 68 Zeng H., Chen J., Zhai J., Wang H. et al. Reduction of the fat content of battered and breaded fish balls during deep-fat frying using fermented bamboo shoot dietary fiber // *Lebenson Wiss Technol*. 2016. V. 73. P. 425–431. doi: 10.1016/j.lwt.2016.06.052
- 69 Zhang J.T.W., Li Z.S., Ding L.P. Fan Effects of initial moisture content on the oil absorption behavior of potato chips during frying process // *Food and Bioprocess Technology*. 2016. V. 9. P. 331–340.
- 70 Zhang W., Chen J., Yue Y., Zhu Z. et al. Modelling the mass transfer kinetics of battered and breaded fish nuggets during deep-fat frying at different frying temperatures // *J Food Qual*. 2020. P. 1–8. doi: 10.1155/2020/8874163
- 71 Ziaifar A.M., Achir N., Courtois F., Trezzani I. et al. Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process // *Int J Food Sci Technol*. 2008. V. 43. № 8. P. 1410–1423. doi: 10.1111/j. 1365-2621.2007.01664.x

References

1. Vaskina V.A., Lvovich N.A., Weinshenker T.S. Deep frying of flour products. mechanisms of fat absorption. Confectionery and bakery production. 2013. no. 11-12. pp. 46-48. (in Russian).
2. GOST 28402-89. Breadcrumbs. General technical conditions. (in Russian).
3. Naumenko E.A. Studying the possibility of using vegetable coating as breading. Innovations in science, education and business 2013. pp. 168-171. (in Russian).
4. Naumenko E.A. Development of fish semi-finished product using breading from vegetable raw materials. News of KSTU. 2014. no. 3. pp. 99-107. (in Russian).
5. Skladenkina M.I., Sivko A.N., Aseev N.A. The effectiveness of the use of vegetable breading in the technology of whole-muscle products. Agrarian and food innovations. 2021. vol. 16. no. 4. pp. 55-65. doi:10.31208/2618-7353-2021-16-55-65. (in Russian).
6. Fadeeva E.A. Breading from vegetable raw materials—useful coating. Editorial Board. 2016. pp. 144. (in Russian).
7. Adrah K., Adegoke S.C., Tahergorabi R. Physicochemical and microbial quality of coated raw and oleogel-fried chicken. *LWT*. 2022. vol. 154. pp. 112589. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112589
8. Albert A., Perez-Munuera I., Quiles A., Salvador A. et al. Adhesion in fried battered nuggets: Performance of different hydrocolloids as preducts using three cooking procedures. *Food Hydrocoll*. 2009. vol. 23. no. 5. pp. 1443-1448. doi:10.1016/j.foodhyd.2008.11.015
9. Altunakar B., Sahin S., Sumnu G. Functionality of batters containing different starch types for deep-fat frying of chicken nuggets. *Eur Food Res Technol*. 2004. vol. 218. no. 4. pp. 318–322. doi: 10.1007/s00217-003-0854-5
10. Aydeniz-Guneser B., Yilmaz E. Sunflower oil-polyglycerol stearate oleogels: Alternative deep-fat frying media for onion rings. *J Oleo Sci*. 2022. vol. 71. no. 5. pp. 651–662. doi: 10.5650/jos.ess21446
11. Bonfim B. de C., Monteiro M.L.G., Santos A.F.G.N. do, Vilar J. dos S. et al. Nutritional improvement and consumer perspective of fish nuggets with partial substitution of wheat flour coating by fish (*Priacanthus arenatus*, Cuvier, 1829) waste flour. *J Aquat Food Prod Technol*. 2019. pp. 1–15. doi: 10.1080/10498850.2019.1693462
12. Bouchon P., Aguilera J.M., Pyle D.L. Structure oil-absorption relationships during deep-fat frying. *Journal of Food science*. 2003. vol. 68. no. 9. pp. 2711–2716.
13. Brannan R.G., Mah E., Schott M., Yuan S. et al. Influence of ingredients that reduce oil absorption during immersion frying of battered and breaded foods: Influence of ingredients that reduce oil absorption. *Eur J Lipid Sci Technol*. 2014. vol. 116. no. 3. pp. 240–254. doi: 10.1002/ejlt.201200308
14. Brannan R.G., Pettit K. Reducing the oil content in coated and deep-fried chicken using whey protein. *Lipid Technol*. 2015. vol. 27. no. 6. pp. 131–133. doi: 10.1002/lite.201500022
15. Carvalho M.J., Ruiz-Carrascal J. Improving crunchiness and crispness of fried squid rings through innovative tempura coatings: addition of alcohol and CO2 incubation. *J Food Sci Technol*. 2018. vol. 55. no. 6. pp. 2068–2078. doi: 10.1007/s13197-018-3121-2
16. Chang C., Wu G., Zhang H., Jin Q. et al. Deep-fried flavor: characteristics, formation mechanisms, and influencing factors. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2020. vol. 60. no. 9. pp. 1496–1514. doi: 10.1080/10408398.2019.1575792

- 17.Chen R.Y., Wang Y., Dyson D. Breadings-What They Are and How They Are Used. *Batters and Breadings in Food Processing*. 2011. pp. 169–184. doi: 10.1016/b978-1-891127-71-7.50015-2
- 18.Chen S.-D., Chen H.-H., Chao Y.-C., Lin R.-S. Effect of batter formula on qualities of deep-fat and microwave fried fish nuggets. *J Food Eng*. 2009. vol. 95. no. 2. pp. 359–364. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2009.05.016
- 19.Ching L.W., Zulkipli N., 'afifah M., Muhamad I.I., Marsin A.M. et al. Dietary management for healthier batter formulations. *Trends Food Sci Technol*. 2021. vol. 113. pp. 411–422. doi: 10.1016/j.tifs.2021.03.054
- 20.Cui L., Chen J., Wang Y., Xiong Y.L. The effect of batter characteristics on protein-aided control of fat absorption in deep-fried breaded fish nuggets. *Foods*. 2022. vol. 11. no. 2. pp. 147. doi: 10.3390/foods11020147
- 21.Dana D., Saguy I.S. Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth. *Adv Colloid Interface Sci*. 2006. vol. 128–130. pp. 267–272. doi: 10.1016/j.cis.2006.11.013
- 22.Deighannya J., Ngadi M. Recent advances in microstructure characterization of fried foods: Different frying techniques and process modeling. *Trends Food Sci Technol*. 2021. vol. 116. pp. 786–801. doi: 10.1016/j.tifs.2021.03.033
- 23.Dogan S.F., Sahin S., Sumnu G. Effects of batters containing different protein types on the quality of deep-fat-fried chicken nuggets. *Eur Food Res Technol*. 2005. vol. 220. no. 5–6. pp. 502–8. doi: 10.1007/s00217-004-1099-7
- 24.Faruq A., Khatun A., Azam M.H.A., Sarker S.R. et al. Recent advances in frying processes for plant-based foods. *Food Chemistry Advances*. 2022.
- 25.Fiszman S.M., Salvador A. Recent developments in coating batters. *Trends Food Sci Technol*. 2003. vol. 14. no. 10. pp. 399–407. doi: 10.1016/s0924-2244(03)00153-5
- 26.Gazmuri A.M., Bouchon P. Analysis of wheat gluten and starch matrices during deep-fat frying. *Food Chem*. 2009. vol. 115. no. 3. pp. 999–1005. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.01.020
- 27.Gerdes S. Batters and Breadings Live Tastes. *Naturalproductsinsider.com*. Available at: <https://www.naturalproductsinsider.com/archive/batters-and-breadings-live-tastes>
- 28.Hall R.H. Applications of natural ingredients in savoury food products. In: *Natural Food Additives, Ingredients and Flavourings*. Elsevier, 2012. pp. 281–317.
- 29.Hui Y.H. *Handbook of meat and meat processing*. CRC press, 2012. doi: 10.1201/b11479
- 30.Izadi S., Ojagh S.M., Rahmanifarah K., Shabanpour B., Sakhale B.K. Production of low-fat shrimps by using hydrocolloid coatings. *J Food Sci Technol*. 2015. vol. 52. no. 9. pp. 6037–6042. doi: 10.1007/s13197-014-1632-z
- 31.Johnson L.A., Deak N., Vignaux N., Burge R.M. Dry-milled corn ingredients in food coatings. In: *Batters and Breadings in Food Processing*. Elsevier, 2011. pp. 25–51.
- 32.Kalschne D.L., Corso M.P., Canan C. *Advances in meat processing technologies: Modern approaches to meet consumer demand*. Bentham Science Publishers. 2020.
- 33.Kulp K. *Batters and breadings in food processing*. Academic Press, 2016,
- 34.Lalam S., Sandhu J.S., Takhar P.S., Thompson L.D., Alvarado C. Experimental study on transport mechanisms during deep fat frying of chicken nuggets. *Lebenson Wiss Technol*. 2013. vol. 50. no. 1. pp. 110–119. doi: 10.1016/j.lwt.2012.06.014
- 35.Lee S., Inglett G.E.. Effect of an Oat β – Glucan-Rich Hydrocolloid (C-trim30) on the Rheology and Oil Uptake of Frying Batters. *Journal of Food Science*. 2007. vol. 72. no. 4. pp. E222–6. doi: 10.1111/j. 1750-3841.2007.00326.x
- 36.Liberty J.T., Deighannya J., Ngadi M.O. Effective strategies for reduction of oil content in deep-fat fried foods: A review. *Trends Food Sci Technol*. 2019. vol. 92. pp. 172–183. doi: 10.1016/j.tifs.2019.07.050
- 37.Mallikarjunan P., Ngadi M.O., Chinnan M.S. *Breaded fried foods*. CRC Press, 2009.
- 38.Martínez M.M., Sanz T., Gómez M. Influence of wheat flour subjected to different extrusion conditions on the rheological behaviour and thermal properties of batter systems for coating. *Lebenson Wiss Technol*. 2015. vol. 64. no. 2. pp. 1309–1314. doi: 10.1016/j.lwt.2015.07.037
- 39.Martínez-Pineda M., Yagüe-Ruiz C., Vercet A. How batter formulation can modify fried tempura-battered zucchini chemical and sensory characteristics? *Foods*. 2020. vol. 9. no. 5. pp. 626. doi: 10.3390/foods9050626
- 40.Mellema M. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends Food Sci Technol*. 2003. vol. 14. no. 9. pp. 364–373. doi: 10.1016/s0924-2244(03)00050-5
- 41.Meyers M.A., Grazela A. Functionality of hydrocolloids in batter coating systems. *Batters and breadings in food processing*. 2011. pp. 117–138.
- 42.Moreno M.C., Bouchon P. Microstructural characterization of deep-fat fried formulated products using confocal scanning laser microscopy and a non-invasive double staining procedure. *J Food Eng*. 2013. vol. 118. no. 2. pp. 238–246. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.03.007
- 43.Moreno M.C., Brown C.A., Bouchon P. Effect of food surface roughness on oil uptake by deep-fat fried products. *J Food Eng*. 2010. vol. 101. no. 2. pp. 179–186. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.06.024
- 44.Onipe O.O., Beswa D., Jideani A.I.O. Quantification of oil fractions of deep-fried wheat dough and batter enriched with oat and wheat bran. *J Food Qual*. 2021. pp. 1–9. doi: 10.1155/2021/5552951
- 45.Pankaj S.K., Keener K.M. A review and research trends in alternate frying technologies. *Curr Opin Food Sci*. 2017. vol. 16. pp. 74–79. doi: 10.1016/j.cofs.2017.09.001
- 46.Park S.-Y., Kim H.-Y. Effect of lyophilized chive (*Allium wakegi* Araki) supplementation to the frying batter mixture on quality attributes of fried chicken breast and tenderloin. *Food Chem X*. 2022. vol. 13. pp. 100216. doi: 10.1016/j.fochx.2022.100216
- 47.Reddy D.M., Reddy V.B., Gupta R., Vani S. Effect of oat flour on physico-chemical characteristics of mutton nuggets. *International Journal of Science, Environment and Technology*. 2017. vol. 6. no. 1. pp. 248–253.
- 48.Román L., Pico J., Antolín B., Martínez M.M. et al. Extruded flour improves batter pick-up, coating crispness and aroma profile. *Food Chemistry*. 2018. vol. 260. pp. 106–114. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.03.136
- 49.Safari A., Salamat R., Baik O.-D. A review on heat and mass transfer coefficients during deep-fat frying: Determination methods and influencing factors. *J Food Eng*. 2018. vol. 230. pp. 114–123. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.01.022
- 50.Salvador A., Sanz T., Fiszman S. Effect of the addition of different ingredients on the characteristics of a batter coating for fried seafood prepared without a pre-frying step. *Food Hydrocoll*. 2005. vol. 19. no. 4. pp. 703–708. doi: 10.1016/j.foodhyd.2004.07.003
- 51.Shan J., Chen J., Xie D., Xia W. et al. Effect of Xanthan Gum/Soybean Fiber Ratio in the Batter on Oil Absorption and Quality Attributes of Fried Breaded Fish Nuggets. *Journal of Food Science*. 2018. vol. 83. no. 7. pp. 1832–1838.

52. Shokrollahi Yancheshmeh B., Mohebbi M., Varidi M., Razavi S.M. et al. Performance of lentil and chickpea flour in deep-fried crust model (DFCM): oil barrier and crispy properties. *J Food Meas Charact.* 2019. vol. 13. no. 1. pp. 296–304. doi: 10.1007/s11694-018-9944-8
53. Soorgi M., Mohebbi M., Mousavi S.M., Shahidi F. The effect of methylcellulose, temperature, and microwave pretreatment on kinetic of mass transfer during deep fat frying of chicken nuggets. *Food Bioproc Tech.* 2012. vol. 5. no. 5. pp. 1521–1530. doi: 10.1007/s11947-011-0520-z
54. Suderman D.R. Effective use of flavorings and seasonings in batter and breading systems. *Batters and breadings in food processing.* 2011. pp. 73–91.
55. Sun J., Wu R., Hu B., Jia C. et al. Effects of konjac glucomannan on oil absorption and safety hazard factor formation of fried battered fish nuggets. *Foods.* 2022. vol. 11. no. 10. pp. 1437. doi: 10.3390/foods11101437
56. Surojanametukul V., Karnasuta S., Satmalee P. Effect of oil type and batter ingredients on the properties of deep-frying flakes. *Food Sci Technol.* 2020. vol. 40. no. 2. pp. 592–596. doi: 10.1590/fst.32919
57. Tamsen M., Shekarchizadeh H., Soltanizadeh N. Evaluation of wheat flour substitution with amaranth flour on chicken nugget properties. *Lebenson Wiss Technol.* 2018. vol. 91. pp. 580–587. doi: 10.1016/j.lwt.2018.02.001
58. Taniguchi A., Kyogoku N., Kimura H., Kondo T. et al. Antioxidant capacity of tempura deep-fried products prepared using barley, buckwheat, and Job's tears flours. *Foods.* 2020. vol. 9. no. 9. pp. 1246. doi: 10.3390/foods9091246
59. Taniguchi A., Miura M., Ikeda T.M., Kaneko S. et al. Factors affecting rheological properties of barley flour-derived batter and dough examined from particle properties. *Food Hydrocoll.* 2022. vol. 129. pp. 107645. doi: 10.1016/j.foodhyd.2022.107645
60. Varela P., Fiszman S.M. Hydrocolloids in fried foods. A review. *Food Hydrocoll.* 2011. vol. 25. no. 8. pp. 1801–1812. doi: 10.1016/j.foodhyd.2011.01.016
61. Voong K.Y., Norton A.B., Mills T.B., Norton I.T. Characterisation of deep-fried batter and breaded coatings. *Food Structure.* 2018. vol. 16. pp. 43–49. doi: 10.1016/j.foostr.2018.03.002
62. Voong K.Y., Norton-Welch A., Mills T.B., Norton I.T. Understanding and predicting sensory crispness of deep-fried battered and breaded coatings. *Journal of Texture Studies.* 2019. vol. 50. no. 6. pp. 456–464. doi: 10.1111/jtxs.12456
63. Wang Y., McClements D.J., Long J., Qiu C. et al. Structural transformation and oil absorption of starches with different crystal types during frying. *Food Chem.* 2022. vol. 390. pp. 133115. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.133115
64. Xu J., Ji H., Dong H., Duan S. et al. A promising natural purple batter system with antioxidant activity for vacuum fried breaded shrimp. *Food Sci Technol.* 2021. doi: 10.1590/fst.35220
65. Xue J., Ngadi M. Rheological properties of batter systems containing different combinations of flours and hydrocolloids. *J Sci Food Agric.* 2007. vol. 87. no. 7. pp. 1292–1300. doi: 10.1002/jsfa.2845
66. Ye T.-T., Guo D., Zhao Z.-J., Liu J. et al. Use of egg yolk phospholipids as well as alanine and glucose to generate the key odorants of fried battered and breaded fish nuggets. *Lebenson Wiss Technol.* 2022. vol. 162. pp. 113489. doi: 10.1016/j.lwt.2022.113489
67. Yuan Z., Chen J., Zeng H., Xia W. et al. Kinetic modeling for mass transfer of breaded and battered fish nuggets (BBFNs) with soybean fiber, xanthan gum and whey protein during deep-fat frying. *Shipin Kexue/Food Science.* 2018. vol. 39. no. 3. pp. 34–40.
68. Zeng H., Chen J., Zhai J., Wang H. et al. Reduction of the fat content of battered and breaded fish balls during deep-fat frying using fermented bamboo shoot dietary fiber. *Lebenson Wiss Technol.* 2016. vol. 73. pp. 425–431. doi: 10.1016/j.lwt.2016.06.052
69. Zhang J.T.W., Li Z.S., Ding L.P. Fan Effects of initial moisture content on the oil absorption behavior of potato chips during frying process. *Food and Bioprocess Technology.* 2016. vol. 9. pp. 331–340.
70. Zhang W., Chen J., Yue Y., Zhu Z. et al. Modelling the mass transfer kinetics of battered and breaded fish nuggets during deep-fat frying at different frying temperatures. *J Food Qual.* 2020. pp. 1–8. doi: 10.1155/2020/8874163
71. Ziaifar A.M., Achir N., Courtois F., Trezzani I. et al. Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process. *Int J Food Sci Technol.* 2008. vol. 43. no. 8. pp. 1410–1423. doi: 10.1111/j.1365-2621.2007.01664.x

Сведения об авторах

Елена Н. Молчанова к.б.н., профессор, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет, Волоколамское ш., д.11 г. Москва, 125080, Россия, melena2004@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-0708-1694>

Марал Бердимуратова магистрант, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет, Волоколамское ш., д.11 г. Москва, 125080, Россия, maral.berdimuratova@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4894-8621>

Вклад авторов

Елена Н. Молчанова концепция и дизайн рукописи, рецензирование и редактирование
Марал Бердимуратова сбор материала и первоначальный вариант рукописи

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Elena N. Molchanova Cand. Sci. (Biochem.), professor, food industry, hotel business and service department, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe highway, 11 Moscow, 125080, Russia, melena2004@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-0708-1694>

Maral Berdimuratova master student, food industry, hotel business and service department, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe highway, 11 Moscow, 125080, Russia, maral.berdimuratova@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4894-8621>

Contribution

Elena N. Molchanova conception and design, reviewing and editing
Maral Berdimuratova collection of material and the original draft

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 04/01/2023	После редакции 03/02/2023	Принята в печать 22/02/2023
Received 04/01/2023	Accepted in revised 03/02/2023	Accepted 22/02/2023

Разработка пирожного «молочный ломтик» и включение в состав ферментированной пептидо-содержащей молочной сыворотки: систематический обзор

Наталья В. Рубан	¹	rubannv@mgupp.ru	 0000-0003-2511-172X
Анна В. Солопова	¹	solopovaa@inbox.ru	
Дарина И. Половинкина	¹	darina.ruban@yandex.ru	
Мария В. Солопова	¹	mariavso15@gmail.com	
Дмитрий И. Быстров	¹	bystrovdi@mgupp.ru	 0000-0003-4132-0839
Олег А. Суворов	¹	SuvorovOA@mgupp.ru	 0000-0003-2100-0918

¹ Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское ш., 11, г. Москва, 125080, Россия

Аннотация. Производство продуктов с ферментированной пептидосодержащей молочной сывороткой можно отнести к новому направлению в пищевой промышленности. Несмотря на то, что молочная сыворотка не новый продукт на рынке, ранее ей уделяли меньше внимания. Сейчас же в Российской Федерации, Беларуси, Казахстане, Китае, Франции, Италии и во многих других странах начали уделять больше внимания этому продукту, как незаменимому источнику биологически активных молочных пептидов. Целью данной исследовательской работы является изучение и анализ различных отечественных и зарубежных источников литературы, содержащих информацию о применении ферментированной пептидосодержащей молочной сыворотки в пищевой промышленности; ее польза для организма человека, а также возможность использования ее при производстве десерта «Молочный ломтик». В ходе работы в базах данных Scopus, Google Scholar и РИНЦ было отобрано и изучено порядка 230 статей, временным промежутком с 2015 по 2022 года. В результате проделанной работы можно сделать вывод о том, что данная тема исследования актуальна. Наблюдается тенденция развития науки и технологий в области применения ферментированной пептидосодержащей молочной сыворотки в пищевом производстве. А «Молочный ломтик» с пептидосодержащей сывороткой может являться источником функциональных веществ таких как: биологически активные молочные пептиды и органический азот.

Ключевые слова: молочный ломтик; биологически активные пептиды; функциональный продукт; обогащающий компонент; ферментированная пептидосодержащая молочная сыворотка.

Development of the «mail slice» cake and inclusion in the fermented peptide-containing milk whey: systematic review

Natalya V. Ruban	¹	rubannv@mgupp.ru	 0000-0003-2511-172X
Anna V. Solopova	¹	solopovaa@inbox.ru	
Darina I. Polovinkina	¹	darina.ruban@yandex.ru	
Maria V. Solopova	¹	mariavso15@gmail.com	
Dmitry I. Bystrov	¹	bystrovdi@mgupp.ru	 0000-0003-4132-0839
Oleg A. Suvorov	¹	SuvorovOA@mgupp.ru	 0000-0003-2100-0918

¹ Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Volokolamskoe sh., 11, Moscow, 125080, Russia

Abstract. The production of products with fermented peptide-containing milk whey can be classified as a new trend in the food industry. Despite the fact that milk whey is not a new product on the market, previously it received less attention. Now in the Russian Federation, Belarus, Kazakhstan, China, France, Italy and many other countries began to pay more attention to this product as an indispensable source of biologically active milk peptides. The purpose of this research work is to study and analyze various domestic and foreign sources of literature information about the use of fermented peptide-containing milk whey in the food industry; its benefits for the human body, as well as the possibility of using it in the manufacture of dessert "Milk Slice". During the work in the databases Scopus, Google Scholar and RSCI about 730 articles were selected and studied, the time interval from 2015 to 2022. As a result of the work done, we can conclude that this research topic is relevant. There is a trend in the development of science and technology in the application of fermented peptide-containing milk whey in food production. And "Milk slice" with peptide-containing whey can be a source of functional substances such as: biologically active milk peptides and organic nitrogen.

Keywords: milk slice; biologically active peptides; functional product; enriching component; fermented peptide-containing milk whey.

Для цитирования

Рубан Н.В., Солопова А.В., Половинкина Д.И., Солопова М.В., Быстров Д.И., Суворов О.А. Разработка пирожного «молочный ломтик» и включение в состав ферментированной пептидо-содержащей молочной сыворотки: систематический обзор // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 85. № 1. С. 99–105. doi:10.20914/2310-1202-2022-1-99-105

For citation

Ruban N.V., Solopova A.V., Polovinkina D.I., Solopova M.V., Bystrov D.I., Suvorov O.A. Development of the «mail slice» cake and inclusion in the fermented peptide-containing milk whey: systematic review. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 85. no. 1. pp. 99–105. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-1-99-105

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

Введение

Производство продуктов с ферментированной пептидосодержащей молочной сывороткой можно отнести к новому направлению в пищевой промышленности. Несмотря на то, что молочная сыворотка не новый продукт на рынке, ранее ей уделяли меньше внимания. Сейчас же в Российской Федерации, Беларуси, Казахстане, Китае, Франции, Италии и во многих других странах начали уделять больше внимания этому продукту, как незаменимому источнику биологически активных молочных пептидов.

Биологически активные молочные пептиды – белки сыворотки (α -лактальбумина, β -лактоглобулина, лактоферрина и иммуноглобулинов); а также источник незаменимых аминокислот и органического азота [1]. Кроме того, они считаются биологически активными регуляторами нового времени, способные предотвращать заболевания иммунной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем; заболеваний желудочно-кишечного тракта. Они также могут служить в качестве антиоксидантов предотвращая микробную деградацию в продуктах.

«Молочный ломтик» – это бисквитное пирожное с начинкой из молочных продуктов с добавлением меда и легкими нотами цитруса (Kinder Россия). Пожалуй, самые известные образцы данной продукции на прилавках русских магазинов принадлежат итальянской компании Ferrero, марки Kinder. Аутентичная рецептура все же принадлежит Германии. Лакомство относится к функциональным продуктам (ГОСТ Р 55577–2013) так как содержит порядка 42% молока от суточной нормы потребления.

Изначально пирожное создавалось для детей, но благодаря своим функциональным свойствам быстро завоевало внимание и среди взрослого поколения. «Молочный ломтик» является отличным дополнением к привычному завтраку, может служить отличной альтернативой для перекуса или полдника; в качестве десерта. В среднем пирожное весит 28–30 г и содержит 400–450 ккал (Kinder Россия).

«Молочный ломтик» широко известен на российском рынке, а также в Италии, США, Индии, Казахстане, Белоруссии и ряде других стран. При этом в странах Азии, таких как Китай и Япония, где «культура молока» только набирает свои обороты о данных сладостях, знают мало.

Таким образом, если при производстве «Молочного ломтика» использовать

ферментированную пептидосодержащую молочную сыворотку, то можно решить не только экономическую проблему – способ переработки побочного продукта сыроделия, но и получить новый функциональный продукт, привычный и любимый многими «Молочный ломтик», с молочными пептидами в составе.

Производство продуктов с ферментированной пептидосодержащей молочной сывороткой можно отнести к новому направлению в пищевой промышленности. Несмотря на то, что молочная сыворотка не новый продукт на рынке, ранее ей уделяли меньше внимания. Сейчас же в Российской Федерации, Беларуси, Казахстане, Китае, Франции, Италии и во многих других странах начали уделять больше внимания этому продукту, как незаменимому источнику биологически активных молочных пептидов.

Цель работы – изучение и анализ различных отечественных и зарубежных источников литературы, содержащих информацию о применении ферментированной пептидосодержащей молочной сыворотки в пищевой промышленности; ее польза для организма человека, а также возможность использования при производстве пирожного «Молочный ломтик».

Материалы и методы

Исследование проводилось в три этапа. На первом этапе в базах данных Scopus, Google Scholar и РИНЦ было отобрано 230 статей, по ключевым словам: молочный ломтик; биологически активные пептиды; функциональный продукт; обогащающий компонент; ферментированная пептидосодержащая молочная сыворотка. А также проведен анализ аннотаций отобранных статей на предмет наличия информации о «Молочном ломтике», биологически активных молочных пептидах, и применении ферментированной пептидосодержащей молочной сыворотки в пищевом производстве.

На втором этапе был проведен полный анализ отобранных статей, из которых было выбрано 30 наиболее полно раскрывающих вопрос о: применении ферментированной пептидосодержащей молочной сыворотки в пищевой промышленности; ее пользе для организма человека, а также возможность использования ее при производстве пирожного «Молочный ломтик».

На третьем, заключительном этапе был сделан вывод о изученных ранее статьях.

Поиск ограничивался временным периодом с 2015 по 2022 года.

Результаты и обсуждение

По изученным данным можно сказать, что ведутся активные исследования в области переработки такого побочного продукта как ферментированная пептидосодержащая молочная сыворотка для производства различных пищевых продуктов. Об этом в своей работе пишут польские ученые. Они отмечают, что: «Сыворотка благодаря своим уникальным свойствам успешно используются различными производителями в пищевой промышленности; а также продукты на ее основе охотно покупают потребители, которые знают о роли сывороточных препаратов в правильном питании человека» [25].

Молочная сыворотка имеет неоспоримо высокий запас полезных для человека органических веществ. Так в своей статье «Биологически активные пептиды молока: обзор», русские ученые: Кручинин А.Г. и Агаркова Е.Ю. объясняют, что: «Ферментированная пептидосодержащая молочная сыворотка является источником таких белков как: α -лактальбумина, β -лактоглобулина, лактоферрина и иммуноглобулинов, они в свою очередь снабжают организм человека незаменимыми аминокислотами и органическим азотом» [12].

Функциональные продукты, произведенные на основе сыворотки, способствуют здоровью человека в том числе в лечении многочисленных хронических заболеваний. Американские ученые в своей статье «Переработка сывороточных белков и новых производных: взгляд с точки зрения компонентов, биоактивности, функциональности до терапевтических применений» утверждают, что: «Пептиды, полученные из сыворотки, проявляют широкий спектр физиологических действий, а также могут быть использованы в медицинских целях» [23].

В Дании ученые утверждают, что: «Сыворотка содержит коммерчески ценные компоненты – сывороточные белки, которые можно применять в пищевой промышленности и медицине. Так по их данным в сыворотке содержится: β -лактоглобулин (β -Lg) – 50% от общего количества сывороточных белков (стимулирует активность липазы; источник незаменимых аминокислот, особенно лейцина); α -лактальбумин (α -La) – 20% (содержит высокий процент незаменимых аминокислот (63,2% от общего содержания аминокислот); содержит четыре остатка аспаргина); Иммуноглобулины (Igs) – 10% (антимикробное свойство); Бычий сывороточный альбумин (BSA) – 8% (иммунологически идентичен альбумину сыворотки крови)» [27].

Ученые Белградского университета отмечают, что: «Биологически активные пептиды, полученные из белков молочной сыворотки

добавленные в кондитерские изделия, прямо или косвенно влияют на здоровье человека. Они отметили антиоксидантные действие, ускоряющее клеточное обновление в эпителии кишечника» [26].

В Китае также активно ведутся работы по изучению молочной сыворотки и разрабатываются новые технологии по разделению и очистке сывороточного белка на основе мембранной технологии. Ученые заявляют о содержании большого количества органических веществ в сыворотке и подчеркивают, что: «Пренебрежение молочной сывороткой прямой путь к истощению белковых ресурсов» [33].

В журнале «Молочная наука» в статье «Тенденции кислотной сыворотки и польза для здоровья» Диана Роча-Мендоса со своими коллегами отмечают антибактериальное свойство ферментированной пептидосодержащей молочной сыворотки. А также замечают ее сопутствующее действие когнитивному развитию детей [28]. А русские ученые заявляют, что: «Белки молочной сыворотки являются отличным источником антиоксидантных пептидов» [1].

Эмануэле Середра, Роберто Пизати, Марианджела Ронданелли и Риккардо Каччаланца провели исследование и доказали, что: «Сывороточный протеин, лейцин и витамин D способствует лечению саркопении» [21].

Никитина А.А., Моценко А.В. и Шмат Е.В. в своей исследовательской работе «Диетическая молочная сыворотка – полезный продукт и экономическая выгода на производстве» отмечают диетические свойства молочной сыворотки, а также ее экономическую эффективность в производстве пищевых продуктов [17].

Индийские ученые института травяных исследований и исследований Амита отмечают прибиотические свойства стойловой кислоты и олигосахаридов в сыворотке, которые обычно присоединены к белкам [32]. Ниведхья Шринивасарагхаван с коллегами заявляют, что: «Сывороточный протеин является «идеальной пищевой добавкой при раке» [31].

Литвин Ф.Б. с коллегами заявляют о целесообразности использования молочной сыворотки в питании спортсменов, так как она способствует адаптационному потенциалу спортсменов в период тренировки [15].

В результате работы многочисленных ученых по изучению молочной сыворотки стоит отметить ее неоспоримую пользу для человека. На этом фоне прослеживается рост потребительского спроса на продукты, содержащие молочную сыворотку. Игроки отрасли находят способы использования сыворотки абсолютно в разных продуктах питания. В том числе и

кондитерских изделиях. Так, например Струпан Е.А. и Типсина Н.Н отметили, что: «Введение в рецептуру кондитерских изделий ферментированной молочной сыворотки является одним из основных направлений повышения пищевой ценности изделий» [17].

Бережная Е.А. отмечает стремительный рост интереса к молочной сыворотки в мире, а также актуальность ее использования в том числе и в пищевых продуктах [3].

По изученным статьям можно сделать вывод, что в кондитерской промышленности тенденция активного применения ферментированной пептидосодержащей молочной сыворотки прослеживается лишь в течение последних лет. Так, например Кунашева Ж.М. в 2021 году предложила свою рецептуру сдобного печенья на основе молочной сыворотки [13].

В Иране ученые разработали ряд рецептов десертов на основе молока с добавлением экстракта даты, сывороточного белка, инулина, фолиевой кислоты, витамина D и кальция. По итогу проделанной работы они также отметили высокую пищевую ценность новых десертов [23].

Аспиранты Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого в 2016 году предложили рецептуру молочно-фруктовых десертов и напитков на основе молочной сыворотки; а их коллеги придумали клубничное желе на ее основе. Они отметили, что: «Десерты на основе сыворотки отличились хорошими органолептическими показателями» [5, 9].

В 2019 году был предложен способ переработки сыворотки при производстве конфет [6].

Красникова Л.В., Маркелова В.В. разработали рецептуру функциональных желированных десертов из ферментированной молочной сыворотки [11].

Помимо вышеупомянутых кондитерских изделий, ферментированная пептидосодержащая молочная сыворотка, может быть использована в производстве мучных кондитерских изделий специализированного питания, о чем в своей статье заявляют Сарницкая Н.А., и Сарницкая Д.А. [18].

А ученые Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского предлагают технологию производства замороженных овощных сывороточных десертов [20].

Коллеги из «Московский государственный университет пищевых производств» (с 17 октября 2022 года Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ») на XII Международной конференции «Кондитерские изделия XXI века» (Москва, 25–27 февраля 2019 г.)

установили, что: «Использование молочной сыворотки вместо яичных белков для производства кондитерских кремов экономически выгоднее. Кроме того, пенообразующая способность сыворотки, при ее концентрации 12%, в 2,5 раза больше, чем у яичных белков; также они отметили положительное влияние сыворотки на микробиологические показатели и срок годности готового крема» [7].

В 2021 году были представлены научные исследования о влиянии сухой молочной сыворотки и амарантовой муки на качество заварного крема. Они отметили, что: «Внесенные ими обогащающие компоненты не повлияли на потребительские качества крема, кроме того, показали высокий пенообразующий потенциал» [4].

А Васькина В.А. предложила технологию белкового крема с порошкообразной ферментированной молочной сыворотки, также отметив ее высокую способность к пенообразованию [10].

Белова Н.М. с коллегами отметили, что: «Обогащение молочной сывороткой желированных десертов способно оказать положительное влияние на профилактику сердечно-сосудистых заболеваний, за счет богатого пептидного состава» [3].

В Индии студенты Индийского ветеринарного научно-исследовательского института предложили производство функционального молочного ломтика. В его состав они предложили внести шпинатную пасту, а также молочный коагулят [29]. Кроме индийских исследовательских работ в области обогащения «Молочного ломтика» не было найдено никаких работ. Что свидетельствует о неоспоримой актуальности разработки десерта «Молочный ломтик» с использованием ферментированной пептидосодержащей молочной сыворотки.

Заключение

В результате проделанной работы по исследованию и анализу статей, в базах данных Scopus, Google Scholar и РИНЦ, посвященных информации о «Молочном ломтике», биологически активных молочных пептидах, функциональных продуктах при производстве молочного ломтика, ферментированной пептидосодержащей молочной сыворотке в пищевом производстве, можно сделать вывод о том, что данная тема исследования актуальна. Наблюдается тенденция развития науки и технологий в области применения ферментированной пептидосодержащей молочной сыворотки в пищевом производстве. А «Молочный ломтик» с молочной сывороткой может являться источником функциональных веществ – биологически активных молочных пептидах и органического азота.

Также стоит отметить, не смотря на широкий сектор проанализированных статей, ферментированная пептидосодержащая молочная сыворотка в пищевом производстве продукт инновационно-актуальный. Ее активно изучают и применяют для обогащения различных кондитерских изделий таких как печенье, муссы, мармелад, молочно-ягодные десерты, пирожные по типу «Молочный ломтик».

Аналитические исследования в области обогащения десерта «Молочный ломтик» будут продолжаться. А также будет разработана и предложена новая рецептура десерта с ферментированной пептидосодержащей молочной сывороткой.

Литература

1. Агаркова Е.Ю., Рязанцева К.А., Кручинин А.Г. Белки молочной сыворотки как источник антиоксидантных пептидов // Сыроделие и маслоделие. 2020. №. 2. С. 57–58.
2. Белова Н.М., Калитина А.Ю., Неповинных Н.В. Разработка технологии сбалансированного продукта для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. 2018. №. 1. С. 30–32.
3. Бережная Е.А. Современное состояние и перспективы переработки молочной сыворотки // Вестник науки. 2021. №. 1. С. 34;
4. Богатырева Т.Г., Васькина В.А. Исследование влияния амарантовой муки и белковой основы эмульсионного геля на качество заварного крема // Project: Application of protein-polysaccharide mixtures in confectionery. 2021. С. 50–53.
5. Бурова Т.Е., Рачевская О.Е. Биотехнология низколактозных молочно-фруктовых десертов и напитков на основе молочной сыворотки // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. №. 8. С. 50.
6. Васильевна С.Ю., Федорова Р.В., Раджабова Ю.Э. Пищевые ингредиенты в составе конфет // Молодежь и системная модернизация страны, сборник научных статей 4 й Международной научной конференции студентов и молодых ученых. 2019. Т. 4. С. 236–239.
7. Васькина В.А., Двоглазова А.А. Использование молочной сыворотки для создания в креме эмульсионно-пенной структуры // Пищевая индустрия. 2019. №. 2. С. 40.
8. ГОСТ Р 55577–2013. Продукты пищевые функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности. М.: Стандартинформ. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/55874/?ysclid=1brzosr2q8332661472>
9. Дамбарович Л.В., Наумова Э.А. Разработка технологии жележного десерта на основе молочной сыворотки // Вестник молодежной науки. 2017. №. 3. С. 10.
10. Двоглазова А.А., Васькина В.А. Молочная сыворотка в качестве вспенивающего агента в производстве крема для тортов и пирожных // XII Международной конференции «кондитерские изделия XXI века». 2019. С. 146–151.
11. Красникова Л.В., Маркелова В.В., Вербицкая Н.Б., Добролеж О.В. Функциональные продукты из молочной сыворотки с использованием антагонистически активных штаммов ацидофильных лактобактерий // Известия вузов. Пищевая технология. 2019. №. 1. С. 171.
12. Кручинин А.Г., Агаркова Е.Ю. Биологически активные пептиды молока: обзор // Пищевая промышленность. 2020. №. 12. С. 86–87.
13. Кунашева Ж.М. Разработка рецептуры сдобного печенья с молочной сывороткой // Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты: сборник научных трудов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Том 2. Нальчик, 2021. С. 303–308.
14. Литвин Ф.Б., Брук Т.М., Клочкова С.В., Калоша А.И. и др. Использование специализированного пищевого продукта на основе ферментированной молочной сыворотки для повышения адаптационного потенциала спортсменов (лыжников-гонщиков) // Вопросы питания. 2018. №. 1. С. 53–58.
15. Литвин Ф.Б., Брук Т.М., Терехов П.А., Никитюк Д.Б. и др. использование специализированного пищевого продукта для повышения функционального состояния легкоатлетов // Вопросы питания. 2018. №. 5. С. 174–180.
16. Мой здоровый рацион: официальный сайт. URL: <https://health-diet.ru/>
17. Никитина А.А., Мощенко А.В., Шмат Е.В. Диетическая молочная сыворотка – полезный продукт и экономическая выгода на производстве // Научный альманах. 2016. С. 196–198.
18. Сарницкая Н.А., Сарницкая Д.А. Особенности технологии производства мучных кондитерских изделий специализированного питания // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей V международной научной конференции в 2 х частях. Часть 1. Казань, 2021. С. 149–152.
19. Струпан Е.А., Типсина Н.Н. Основные направления повышения пищевой ценности кондитерских изделий // Вестник КрасГАУ. 2017. №. 6. С. 271.
20. Терехова А.А., Нелюбина Е.Г., Сидоренко Ю.И. Разработка технологии производства замороженных овощных сыровоточных десертов // Вестник ВСГУТУ. 2021. №. 2. С. 81.
21. Cereda E., Pisati R., Rondanelli M., Caccialanza R. Whey Protein, Leucine – and Vitamin-D-Enriched Oral Nutritional Supplementation for the Treatment of Sarcopenia // Nutrients. 2022. V. 14. P. 1524.
22. Gupta C., Prakash D. Therapeutic Potential of Milk Whey // Beverages. 2017. V. 3. P. 31.
23. Hemmati F., Abbasi A., Bedeltavana A. et al. Development of fortified probiotic dairy desserts with added date extract, whey protein, inulin, folic acid, vitamin D and calcium // J Food Sci Technol. 2022. V. 59. P. 3754–3764.
24. Kinder Россия: официальный сайт. Москва, 2022. URL: <https://www.kinder.com>
25. Królczuk J.B. et al. Use of whey and whey preparations in the food industry-a review // Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. 2016. V. 66. №. 3. P. 157.
26. Krunić T., Rakin M., Bulatović M., Zarić D. Chapter 9 – The Contribution of Bioactive Peptides of Whey to Quality of Food Products // Food Processing for Increased Quality and Consumption Handbook of Food Bioengineering. 2018. P. 251–285.
27. Mehra R. et al. Whey proteins processing and emergent derivatives: An insight perspective from constituents, bioactivities, functionalities to therapeutic applications // Journal of Functional Foods. 2021. V. 87. P. 104760.

28. Rocha-Mendoza D., Kosmerl E., Krentz A., Zhang L. et al. Invited review: Acid whey trends and health benefits // *Journal of Dairy Science*. 2021. V. 104. № 2. P. 1262–1275.
29. Shahi J.K., Roy S.K. Geeta Chauhan Texture profile analysis of developed ready to eat (RTE) low fat functional milk slice // *Journal of Interacademia*. 2017. V. 21. № 1. P. 60–67.
30. Shahi J.K., Roy S.K., Chauhan G., Kumari R. et al. Economics of production of Ready to eat (rte) low fat functional milk slice // *Veterinary practitioner*. 2017. V. 18. P. 304–306.
31. Srinivasaraghavan N. et al. Effect of whey protein supplementation on perioperative outcomes in patients with cancer – a systematic review and meta-analysis (PROSPERO 2020: CRD42020188666) // *Nutrition and Cancer*. 2022. V. 74. №. 7. P. 2351–2364.
32. Tsermoula P. et al. Whey-The waste-stream that became more valuable than the food product // *Trends in Food Science & Technology*. 2021. V. 118. P. 230–241.
33. 马镡莉, 卢会霞, 苗晓雪. 基于膜技术分离纯化乳清蛋白的研究进展 // *化工进展*. 2022. V. 41. №. 6. P. 2826–2838. doi: 10.16085/j.issn.1000-6613.2021-1566.

References

1. Agarkova E.Yu., Ryazantseva K.A., Kruchinin A.G. Whey proteins as a source of antioxidant peptides. Cheese-making and butter-making. 2020. no. 2. pp. 57-58. (in Russian).
2. Belova N.M., Kalitina A.Yu., Nevodinykh N.V. Development of balanced product technology for the prevention of cardiovascular diseases. International scientific and practical conference dedicated to the memory of Vasily Matveevich Gorbato. 2018. no. 1. pp. 30-32. (in Russian).
3. Berezhnaya E.A. The current state and prospects of whey processing. *Bulletin of Science*. 2021. no. 1. pp. 34. (in Russian).
4. Bogatyreva T.G., Vaskina V.A. Investigation of the effect of amaranth flour and the protein base of emulsion gel on the quality of custard. Project: Application of protein-polysaccharide mixtures in confectionery. 2021. pp. 50-53. (in Russian).
5. Burova T.E., Rachevskaya O.E. Biotechnology of low-lactose dairy-fruit desserts and drinks based on whey. *International Research Journal*. 2016. no. 8. pp. 50. (in Russian).
6. Vasilyevna S.Yu., Fedorovna R.V., Radzhabovna Yu.E. Food ingredients in the composition of sweets. Youth and systemic modernization of the country, collection of scientific articles of the 4th International Scientific Conference of Students and Young scientists. 2019. vol. 4. pp. 236-239. (in Russian).
7. Vaskina V.A., Dvoeglazova A.A. The use of whey to create an emulsion-foam structure in cream. *Food industry*. 2019. no. 2. pp. 40. (in Russian).
8. GOST R 55577-2013. Functional food products. Information about distinctive features and effectiveness. M.: Standartinform. Available at: <https://internet-law.ru/gosts/gost/55874/?ysclid=lbzozsr2q8332661472> (in Russian).
9. Dambarovich L.V., Naumova E.A. Development of jelly dessert technology based on whey. *Bulletin of Youth Science*. 2017. no. 3. pp. 10. (in Russian).
10. Dvoeglazova A.A., Vaskina V.A. Whey as a foaming agent in the production of cream for cakes and pastries. XII International Conference "confectionery of the XXI century". 2019. pp. 146-151. (in Russian).
11. Krasnikova L.V., Markelova V.V., Verbitskaya N.B., Dobrolezh O.V. Functional products from whey using antagonistically active strains of acidophilic lactobacilli. *News of universities. Food technology*. 2019. no. 1. pp. 171. (in Russian).
12. Kruchinin A.G., Agarkova E.Yu. Biologically active peptides of milk: review. *Food industry*. 2020. no. 12. pp. 86-87. (in Russian).
13. Kunasheva Zh.M. Development of a pastry recipe with whey. Actual problems of agrarian science: applied and research aspects: collection of scientific papers of the All-Russian (national) scientific and practical conference. Volume 2. Nalchik, 2021. pp. 303-308. (in Russian).
14. Litvin F.B., Brook T.M., Klochkova S.V., Kalosha A.I. et al. The use of a specialized food product based on fermented whey to increase the adaptive potential of athletes (ski racers). *Nutrition issues*. 2018. no. 1. pp. 53-58. (in Russian).
15. Litvin F.B., Brook T.M., Terekhov P.A., Nikityuk D.B. et al. the use of a specialized food product to improve the functional state of athletes. *Nutrition issues*. 2018. no. 5. pp. 174-180. (in Russian).
16. My healthy diet: official website. Available at: <https://health-diet.ru/> (in Russian).
17. Nikitina A.A., Moshenko A.V., Shmat E.V. Dietary whey is a useful product and economic benefit in production. *Scientific Almanac*. 2016. pp. 196-198. (in Russian).
18. Sarnitskaya N.A., Karnitskaya D.A. Features of the technology of production of flour confectionery products of specialized nutrition. Priority directions of innovation activity in industry: collection of scientific articles of the V International Scientific Conference in 2 parts. Part 1. Kazan, 2021. pp. 149-152. (in Russian).
19. Strupan E.A., Tipsina N.N. The main directions of increasing the nutritional value of confectionery products. *Bulletin of KrasGAU*. 2017. no. 6. pp. 271. (in Russian).
20. Terekhova A.A., Nelyubina E.G., Sidorenko Yu.I. Development of technology for the production of frozen vegetable whey desserts. *Vestnik VSGUTU*. 2021. no. 2. pp. 81. (in Russian).
21. Cereda E., Pisati R., Rondanelli M., Caccialanza R. Whey Protein, Leucine – and Vitamin-D-Enriched Oral Nutritional Supplementation for the Treatment of Sarcopenia. *Nutrients*. 2022. vol. 14. pp. 1524.
22. Gupta C., Prakash D. Therapeutic Potential of Milk Whey. *Beverages*. 2017. vol. 3. pp. 31.
23. Hemmati F., Abbasi A., Bedeltavana A. et al. Development of fortified probiotic dairy desserts with added date extract, whey protein, inulin, folic acid, vitamin D and calcium. *J Food Sci Technol*. 2022. vol. 59. pp. 3754–3764.
24. Kinder Russia: official website. Moscow, 2022. Available at: <https://www.kinder.com> (in Russian).
25. Królczyk J.B. et al. Use of whey and whey preparations in the food industry-a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2016. vol. 66. no. 3. pp. 157.
26. Krunic T., Rakin M., Bulatovic M., Zaric D. Chapter 9 – The Contribution of Bioactive Peptides of Whey to Quality of Food Products. *Food Processing for Increased Quality and Consumption Handbook of Food Bioengineering*. 2018. pp. 251–285.

27. Mehra R. et al. Whey proteins processing and emergent derivatives: An insight perspective from constituents, bioactivities, functionalities to therapeutic applications. *Journal of Functional Foods*. 2021. vol. 87. pp. 104760.
28. Rocha-Mendoza D., Kosmerl E., Krentz A., Zhang L. et al. Invited review: Acid whey trends and health benefits. *Journal of Dairy Science*. 2021. vol. 104. no. 2. pp. 1262–1275.
29. Shahi J.K., Roy S.K. Geeta Chauhan Texture profile analysis of developed ready to eat (RTE) low fat functional milk slice. *Journal of Interacademia*. 2017. vol. 21. no. 1. pp. 60–67.
30. Shahi J.K., Roy S.K., Chauhan G., Kumari R. et al. Economics of production of Ready to eat (rte) low fat functional milk slice. *Veterinary practitioner*. 2017. vol. 18. pp. 304–306.
31. Srinivasaraghavan N. et al. Effect of whey protein supplementation on perioperative outcomes in patients with cancer – a systematic review and meta-analysis (PROSPERO 2020: CRD42020188666). *Nutrition and Cancer*. 2022. vol. 74. no. 7. pp. 2351–2364.
32. Tsermoula P. et al. Whey-The waste-stream that became more valuable than the food product. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. vol. 118. pp. 230–241.
33. Ma Xiaoli, Lu Huixia, Miao Xiaoxue. Research progress on the separation and purification of whey protein based on membrane technology. *Chemical progress*. 2022. vol. 41. no. 6. pp. 2826–2838. doi: 10.16085/j.issn.1000-6613.2021-1566 (in Chinese).

Сведения об авторах

Наталья В. Рубан к.т.н., доцент, зав. кафедрой кондитерских, сахаристых, субтропических и пищевкусных технологий, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское ш., 11, г. Москва, 125080, Россия, rubannv@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2511-172X>

Анна В. Солопова студент, кафедра кондитерских, сахаристых, субтропических и пищевкусных технологий, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское ш., 11, г. Москва, 125080, Россия, solopovaa@inbox.ru

Дарина И. Половинкина ассистент, кафедра пищевой безопасности, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское ш., 11, г. Москва, 125080, Россия, darina.ruban@yandex.ru

Мария В. Солопова студент, кафедра кондитерских, сахаристых, субтропических и пищевкусных технологий, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское ш., 11, г. Москва, 125080, mariaavso15@gmail.com

Дмитрий И. Быстров к.т.н., доцент, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское ш., 11, г. Москва, 125080, bystrovdi@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4132-0839>

Олег А. Суворов д.т.н., профессор, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское ш., 11, г. Москва, 125080, SuvorovOA@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2100-0918>

Вклад авторов

Наталья В. Рубан написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Анна В. Солопова предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания

Дарина И. Половинкина консультация в ходе исследования

Мария В. Солопова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент, выполнил расчёты

Дмитрий И. Быстров написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Олег А. Суворов написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Natalya V. Ruban Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, head Department of Confectionery, Sugar, Subtropical and Food Flavoring Technologies, Biotechnological University (ROSBIOTECH), Volokolamskoe sh., 11, Moscow, 125080, Russia, rubannv@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2511-172X>

Anna V. Solopova student, Department of Confectionery, Sugar, Subtropical and Food Flavor Technologies, Biotechnological University (ROSBIOTECH), Volokolamskoe sh., 11, Moscow, 125080, Russia, solopovaa@inbox.ru

Darina I. Polovinkina assistant, Department of Food Safety, Biotechnological University (ROSBIOTECH), Volokolamskoe sh., 11, Moscow, 125080, Russia, darina.ruban@yandex.ru

Maria V. Solopova student, Department of Confectionery, Sugar, Subtropical and Food Flavor Technologies, Biotechnological University (ROSBIOTECH), Volokolamskoe sh., 11, Moscow, 125080, Russia, mariavso15@gmail.com

Dmitry I. Bystrov Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of food industry, hotel business and service, Biotechnological University (ROSBIOTECH), Volokolamskoe sh., 11, Moscow, 125080, Russia, bystrovdi@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4132-0839>

Oleg A. Suvorov Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of food industry, hotel business and service, Biotechnological University (ROSBIOTECH), Volokolamskoe sh., 11, Moscow, 125080, Russia, SuvorovOA@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2100-0918>

Contribution

Natalya V. Ruban wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Anna V. Solopova proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Darina I. Polovinkina consultation during the study

Maria V. Solopova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Dmitry I. Bystrov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Oleg A. Suvorov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/06/2022	После редакции 12/07/2022	Принята в печать 22/07/2022
Received 20/06/2022	Accepted in revised 12/07/2022	Accepted 22/07/2022

Подбор биополимерных носителей для иммобилизации на их поверхности эссенциальных элементов

Елена В. Белокурова ¹	zvezdamal@mail.ru	 0000-0002-1955-8376
Мартин А. Саргсян ¹	mrmartinok@mail.ru	 0000-0002-3786-1088
Евгений С. Попов ¹	e_s_popov@mail.ru	 0000-0003-3303-3434
Татьяна В. Алексеева ²	zyablova@mail.ru	 0000-0001-8035-7293

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

2 Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина, ул. Ульянова, 1, г. Нижний Новгород, 603000, Россия

Аннотация. Оптимизация рецептов продуктов питания, с целью увеличения их пищевой и биологической ценности, остается актуальной в современном мире. В регионах с выявленным дисбалансом эссенциальных элементов необходима коррекция рациона питания населения. Одним из наиболее эффективных методов является обогащение продуктов иммобилизованными коллоидными структурами необходимых элементов на поверхности биополимерных носителей. В пищевой промышленности чаще применима сорбционная иммобилизация, в следствии простоты, дешевизны и эффективности, а также в связи со слабым влиянием носителя на каталитическую способность диспергированной фазы. В качестве носителей, подходящих для проведения иммобилизации элементов, в первую очередь, подходят нерастворимые или гелеобразующие природные сорбенты. К таковым относятся: агар, пектин, хитозан, коллаген, крахмал, целлюлоза, уголь и другие. В статье перечислены наиболее подходящие методы иммобилизации, выбраны носители. С целью минимизации отрицательного влияния дисперсионной среды предлагается использование многокомпонентного носителя. Подобное применимо как по отношению к гидрофобным, так и гидрофильным соединениям. Возможно совместное использование биополимеров с углем, с целью повышения сорбционной способности и антимикробных свойств готовой поверхности. В случае же с пектином и агаром термообратимость носителя может быть использована с целью упрощения хранения готовой иммобилизованной структуры. В настоящий момент ведется разработка технологий иммобилизации эссенциальных элементов на поверхности биополимерных носителей с целью оптимизации рецептов кулинарных изделий и блюд для предприятий индустрии питания.

Ключевые слова: иммобилизация, биополимер, агар, хитозан, уголь.

Selection of biopolymer carriers for immobilization of essential elements on their surface

Elena V. Belokurova ¹	zvezdamal@mail.ru	 0000-0002-1955-8376
Martin A. Sargsyan ¹	mrmartinok@mail.ru	 0000-0002-3786-1088
Evgeny S. Popov ¹	e_s_popov@mail.ru	 0000-0003-3303-3434
Tatyana V. Alekseeva ²	zyablova@mail.ru	 0000-0001-8035-7293

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

2 Nizhny Novgorod state pedagogical university named after Kozma Minin, str. Ulyanova, 1, Nizhny Novgorod, 603000, Russia

Abstract. Optimization of food recipes, in order to increase their nutritional and biological value, remains relevant in the modern world. In regions with an identified imbalance of essential elements, correction of the diet of the population is necessary. One of the most effective methods is the enrichment of products with immobilized colloidal structures of the necessary elements on the surface of biopolymer carriers. Sorption immobilization is more often used in the food industry, due to its simplicity, cheapness and efficiency, as well as due to the weak influence of the carrier on the catalytic ability of the dispersed phase. As carriers suitable for the immobilization of elements, first of all, insoluble or gel-forming natural sorbents are suitable. These include: agar, pectin, chitosan, collagen, starch, cellulose, coal and others. The article lists the most suitable methods of immobilization, selected carriers. In order to minimize the negative impact of the dispersion medium, the use of a multicomponent carrier is proposed. This applies to both hydrophobic and hydrophilic compounds. It is possible to combine biopolymers with coal, in order to increase the sorption capacity and antimicrobial properties of the finished surface. In the case of pectin and agar, the thermal reversibility of the carrier can be used to simplify the storage of the finished immobilized structure. Currently, technologies for the immobilization of essential elements on the surface of biopolymer carriers are being developed in order to optimize recipes for culinary products and dishes for the food industry.

Keywords: immobilization, biopolymer, agar, chitosan, coal.

Для цитирования

Белокурова Е. В., Саргсян М. А., Попов Е. С., Алексеева Т. В. Подбор биополимерных носителей для иммобилизации на их поверхности эссенциальных элементов // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 106–110. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-106-110

For citation

Belokurova E. V., Sargsyan M. A., Popov E. S., Alekseeva T. V. Selection of biopolymer carriers for immobilization of essential elements on their surface. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 106–110. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-106-110

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

Введение

Рациональное питание является одним из важнейших факторов, влияющих на состояние здоровья современного человека. Известно, что многие заболевания живых существ, зачастую связаны с недостатком, либо с избытком содержания в организме микроэлементов. В качестве примеров можно привести связь между дефицитом железа и возникновением анемии, между дефицитом йода и нарушением работы эндокринных желез (щитовидная железа) и др. В связи с этим особый интерес в современной медицине, биологии и пищевой промышленности представляет научно-практическое направление, связанное с протеканием в организме человека негативных процессов, обусловленных недостатком или избытком жизненно необходимых элементов. Причиной возникновения таких процессов, называемых микроэлементами, может стать и негативное воздействие неблагоприятных факторов окружающей среды [1].

Обсуждение

К факторам, влияющим на микроэлементный состав продукта можно отнести как региональные особенности экосистемы, так и антропогенное воздействие на нее. Важно наблюдение за балансом биологически значимых компонентов у персонала промышленно-производственных предприятий, а также жителей регионов, страдающих от низкого содержания эссенциальных элементов в почве. Однако, необходимость в коррекции рациона возникает только после зафиксированного гипо- или гипер-элементоза. Результаты оценки региональных особенностей элементного статуса показали дисбаланс по уровню содержания: Ca, Fe, Se, Co, P. Поэтому актуальным является поиск методов обогащения продуктов питания, обладающих низкой пищевой ценностью [2–6].

Одним из способов обогащения пищевых продуктов эссенциальными элементами является иммобилизация их коллоидных структур на поверхности полимерных носителей. Иммобилизация – метод ограничения подвижности молекул, производимый при помощи закрепления их на поверхности носителя, без потери эффективности самой молекулы. В пищевом производстве наиболее простым и экономически целесообразным можно назвать метод адсорбционной иммобилизации. В свою очередь, данный метод может иметь несколько способов реализации, к которым можно отнести адсорбцию на нерастворимых носителях и включение в поры геля. В результате иммобилизации на поверхности нерастворимого носителя взаимодействие базируется на не ковалентных контактах между

средой и дисперсной фазой. При использовании гелеобразующих носителей вносимая фаза включается в трехмерную сетку из тесно переплетенных цепей, образующих гель. Удерживание осуществляется физически (механическое обездвиживание), а также за счет дополнительных нековалентных (ионных и водородных связей) и ковалентных взаимодействий. В качестве носителей, подходящих для проведения иммобилизации микроэлементов в первую очередь, подходят нерастворимые или гелеобразующие природные сорбенты. К наиболее часто используемым можно отнести: агар, пектин, хитозан, коллаген, крахмал и целлюлозу [7].

Альгинаты, агары и каррагинаны составляют группу гидроколлоидов – полисахаридов, получаемых из морских водорослей. От качества этих веществ также зависит качество готового продукта, так как нестабильность параметров поступающего сырья приводит к незапланированному изменению параметров технологического процесса. Один из показателей качества вносимых ингредиентов – скорость их гелеобразования. Наиболее применим среди них – агар, в случаях иммобилизации клеток и ферментов. В случаях с агаром возможны методы как физической, так и химической иммобилизации. Включение в поры геля наиболее эффективно, благодаря высоким сорбционным свойствам материала.

При выборе метода иммобилизации стоит обратить внимание на такие важные критерии, как:

1. Используемый метод иммобилизации не должен в значительной степени влиять на реакционную способность элемента/ либо должен происходить эффективный распад сорбента с высвобождением элемента, при физической иммобилизации.
2. Необходимо осуществлять иммобилизацию таким образом, чтобы в результате максимальное количество элемента сохранялось на носителе, а также оставалось в стабильном состоянии.
3. Трудоемкость стадии иммобилизации должна быть минимальной, как и число манипуляций.
4. Необходима экономическая рентабельность метода иммобилизации.

В тоже время, выбор носителя играет не менее важную роль, чем выбор методики. Основные требования к выбираемой дисперсионной среде можно охарактеризовать как:

- Биополимер при растворении участвует в процессе гелеобразования путем повышения вязкости раствора.
- Биополимер не оказывает влияние на химические и органолептические показатели готовых продуктов.

В качестве гелеобразующего носителя так же возможно использование пектинов, группы полисахаридов, образованных остатками галактуроновой кислоты. Агар обладает высокой степенью усвояемости в организме, что крайне необходимо для гарантированного поступления иммобилизованного компонента. Однако это же может способствовать ослаблению сохранности готового композита. В свою очередь пектины практически не усваиваются пищеварительной системой человека, являясь энтеросорбентами, однако так же эффективно образуют устойчивую систему геля [8–10].

Хитозан – продукт деацетилирования хитина, аминополисахарид сложного строения, состоящий из двух типов моносахаридов: 2-ацетамид-глюкозы и 2-амино-D-глюкозы соединенных 1,4-гликозидной связью. Физические и химические свойства этих веществ определяются особенностями их молекул, имеющих активные amino- и гидроксильные группы. Хитозан обладает гемостатической, гиполлипидемической и антимикробной активностью против грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов. Слабо растворимому в воде хитозану, в качестве носителя, подходят несколько методов иммобилизации, включая как адсорбционную, так и хемосорбционную. Антибактериальные свойства и высокая защита вносимой фазы сделали хитозан одним из самых популярных носителей, как в медицине, так и пищевой промышленности. Стоит учесть, что низкая растворимость и слабое расщепление в организме может привести к усложнению усвояемости необходимых компонентов [11].

Помимо биополимерных можно выделить углеродные сорбенты, в том числе – уголь активированный. Сорбент, получаемый из твердых лиственных пород деревьев, в частности березы,

представляет собой нерастворимое в воде пористое соединение с большой удельной поверхностью на единицу массы. Благодаря этому уголь обладает высокой адсорбционной способностью. Представляет собой носитель, нашедший широкое применение в таких областях как, медицина, пищевая и химическая промышленности. По отношению к углю наиболее подходят физические методы иммобилизации. Активные сорбционные свойства позволяют увеличить поглощающую способность носителя, однако, низкая растворимость в организме может привести к затруднению усвоения необходимых эссенциальных элементов [12–20].

Заключение

С целью увеличения сорбционных свойств носителя, а также в связи с низкой усвояемостью вносимой фазы имеет смысл использование сразу нескольких компонентов в качестве дисперсионной среды. Подобное применимо как по отношению к гидрофобным, так и гидрофильным соединениям. Возможно совместное использование биополимеров с углем, с целью повышения сорбционной способности и антимикробных свойств готовой поверхности. В случае же с пектином и агаром термообратимость носителя может быть использована с целью упрощения хранения готовой иммобилизованной структуры.

В настоящий момент кафедрой сервиса и ресторанного бизнеса Воронежского Государственного Университета Инженерных Технологий ведется разработка технологий иммобилизации эссенциальных элементов на поверхности биополимерных носителей с целью оптимизации рецептур кулинарных изделий и блюд для предприятий индустрии питания.

Литература

- 1 Гольдфейн М.Д., Адаев О.Н., Тимуш Л.Г. и др. Роль химических элементов и их соединений в природе и в процессах жизнедеятельности человека часть 1. Химические вещества в экологии, микроэлементозы и общие вопросы безопасности питания // Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18. № 16. С. 296–300.
- 2 Жиенмуратова Г.К. Микроэлементозы и заболеваемость детей, проживающих в регионе Приаралье // Медицина: теория и практика. 2019. Т. 4. № 5. С. 205.
- 3 Гогодзе Н.В., Вильмс Е.А., Корчина Т.Я. Микроэлементный портрет жителей Омска и Сургута // Вести МАНЭБ в Омской области. 2015. № 1(6). С. 6–10.
- 4 Глаголева О.Н., Вильмс Е.А., Турчанинов Д.В. и др. Роль фактического питания и микронутриентной недостаточности в развитии анемий, связанных с питанием, у населения Омской области // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 1. С. 40.
- 5 Бондаревич Е.А., Коцюржинская Н.Н., Войченко А.А. и др. Состояние почвенного покрова в районах техногенных биогеохимических аномалий Забайкалья // Успехи современного естествознания. 2020. № 3. С. 57–64.
- 6 Сохияев А.В., Минаев Б.Д. Региональные особенности элементного статуса учащихся города Ставрополя // Обмен веществ при адаптации и повреждении. Дни молекулярной медицины на Дону: материалы XVII Российской научно-практической конференции с международным участием, Ростов-на-Дону, 25 мая 2018 года. Ростов-на-Дону: Ростовский государственный медицинский университет, 2018. С. 109–110.
- 7 Волосова Е.В., Пашкова Е.В., Шипуля А.Н., Безгина Ю.А., Исследование биополимерных материалов с химически иммобилизованными в их структуру ферментами оптическими методами // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 2. С. 31–33.
- 8 Максимова О.А., Митин В.В. Определение динамики гелеобразования агар-агара // Пищевая промышленность. 2013. № 7. С. 45–45.

- 9 Игнатенко А.В. Анализ осмоустойчивости протопластов бактерий в свободном и иммобилизованном состояниях // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2022. № 1 (253). С. 58–65.
- 10 Гайдай С.А., Максимов И.В., Курчаева Е.Е. Разработка технологии мягкого сыра обогащенного состава // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 3–2. С. 242–245.
- 11 Пятигорская Н.В., Каргин В.С., Бркич Г.Э. Виды модификации хитозана путем использования различных дериватирующих агентов // Здоровье и образование в XXI веке. 2021. № 4. С. 23–30.
- 12 Фарберова Е.А., Шадрин Д.С., Ходяшев Н.Б., Тиньгаева Е.А. Ммикромицеты *Trichoderma Harzianum* в составе углеродного биосорбента для извлечения ртути из водных сред // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. 2020. № 3. С. 49–60.
- 13 Liu H., Štiglic A.D., Mohan T., Kargl R. et al. Nano-fibrillated cellulose-based scaffolds for enzyme (co)-immobilization: Application to natural product glycosylation by Leloir glycosyltransferases // International Journal of Biological Macromolecules. 2022. V. 222. P. 217-227.
- 14 Wu H., Mu W. Application Prospects and Opportunities of Inorganic Nanomaterials for Enzyme Immobilization in the Food Processing Industry // Current Opinion in Food Science. 2022. P. 100909.
- 15 Alminderej F. M. Study of new cellulosic dressing with enhanced antibacterial performance grafted with a biopolymer of chitosan and myrrh polysaccharide extract // Arabian Journal of Chemistry. 2020. V. 13. №. 2. P. 3672-3681. doi: 10.1016/j.arabjc.2019.12.005
- 16 Dora N., Nanda P., Reddy N. G. Application of biopolymers for enhancing engineering properties of problematic soils and industrial wastes: a review // Advances in Sustainable Construction Materials: Select Proceedings of ASCM 2020. 2021. P. 203-211. doi: 10.1007/978-981-33-4590-4_20
- 17 Schnepf Z. Biopolymers as a flexible resource for nanochemistry // Angewandte Chemie International Edition. 2013. V. 52. №. 4. P. 1096-1108. doi: 10.1002/anie.201206943
- 18 Varghese S.A., Siengchin S., Parameswaranpillai J. Essential oils as antimicrobial agents in biopolymer-based food packaging-A comprehensive review // Food Bioscience. 2020. V. 38. P. 100785. doi: 10.1016/j.fbio.2020.100785
- 19 Choi S.G. et al. Review on geotechnical engineering properties of sands treated by microbially induced calcium carbonate precipitation (MICP) and biopolymers // Construction and Building Materials. 2020. V. 246. P. 118415. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118415
- 20 Xu D., Chen T., Liu Y. The physical properties, antioxidant and antimicrobial activity of chitosan–gelatin edible films incorporated with the extract from hop plant // Polymer Bulletin. 2021. V. 78. P. 3607-3624. doi: 10.1007/s00289-020-03294-1

References

- 1 Goldfein M.D., Adaev O.N., Timush L.G. et al. The role of chemical elements and their compounds in nature and in human life processes Part 1. Chemicals in ecology, trace elements and general food safety issues. Bulletin of the Technological University. 2015. vol. 18. no. 16. pp. 296-300. (in Russian).
- 2 Zhyemuratova G.K. Microelementoses and morbidity of children living in the Aral Sea region. Medicine: theory and practice. 2019. vol. 4. no. 5. pp. 205. (in Russian).
- 3 Gogadze N.V., Wilms E.A., Korchina T.Ya. Microelement portrait of residents of Omsk and Surgut. Conduct MANEB in the Omsk region. 2015. no. 1(6). pp. 6-10. (in Russian).
- 4 Glagoleva O.N., Wilms E.A., Turchaninov D.V. et al. The role of actual nutrition and micronutrient deficiency in the development of nutrition-related anemia in the population of the Omsk region. Modern problems of science and education. 2017. no. 1. pp. 40. (in Russian).
- 5 Bondarevich E.A., Kotsyurzhinskaya N.N., Voichenko A.A. et al. The state of the soil cover in the areas of technogenic biogeochemical anomalies of Transbaikalia. Successes of modern natural science. 2020. no. 3. pp. 57-64. (in Russian).
- 6 Sohiev A.V., Minaev B.D. Regional features of the elemental status of students of the city of Stavropol. Metabolism during adaptation and damage. Days of Molecular Medicine on the Don: Proceedings of the XVII Russian Scientific and Practical Conference with International participation, Rostov-on-Don, May 25, 2018. Rostov-on-Don, Rostov State Medical University, 2018. pp. 109-110. (in Russian).
- 7 Volosova E.V., Pashkova E.V., Shipulya A.N., Bezgina Yu.A. Investigation of biopolymer materials with chemically immobilized enzymes in their structure by optical methods. Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. 2016. no. 2. pp. 31-33. (in Russian).
- 8 Maksimova O.A., Mitin V.V. Determination of the dynamics of agar-agar gelation. Food industry. 2013. no. 7. pp. 45-45. (in Russian).
- 9 Ignatenko A.V. Analysis of osmotic resistance of bacterial protoplasts in free and immobilized states. Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical technologies, biotechnology, geoecology. 2022. no. 1 (253). pp. 58-65. (in Russian).
- 10 Gaidai S.A., Maksimov I.V., Kurchaeva E.E. Development of technology of soft cheese of enriched composition. International Student Scientific Bulletin. 2018. no. 3-2. pp. 242-245. (in Russian).
- 11 Pyatigorskaya N.V., Kargin V.S., Brkich G.E. Types of chitosan modification by using various derivatizing agents. Health and education in the XXI century. 2021. no. 4. pp. 23-30. (in Russian).
- 12 Farberova E.A., Shadrin D.S., Khodyashev N.B., Tingaeva E.A. Mmicromycetes of *Trichoderma Harzianum* as part of a carbon biosorbent for mercury extraction from aqueous media. Bulletin of PNRPU. Chemical technology and biotechnology. 2020. no. 3. pp. 49-60. (in Russian).
- 13 Liu H., Štiglic A.D., Mohan T., Kargl R. et al. Nano-fibrillated cellulose-based scaffolds for enzyme (co)-immobilization: Application to natural product glycosylation by Leloir glycosyltransferases. International Journal of Biological Macromolecules. 2022. vol. 222. pp. 217-227.

- 14 Wu H., Mu W. Application Prospects and Opportunities of Inorganic Nanomaterials for Enzyme Immobilization in the Food Processing Industry. *Current Opinion in Food Science*. 2022. pp. 100909.
- 15 Alminderej F. M. Study of new cellulosic dressing with enhanced antibacterial performance grafted with a biopolymer of chitosan and myrrh polysaccharide extrac. *Arabian Journal of Chemistry*. 2020. vol. 13. no. 2. pp. 3672-3681. doi: 10.1016/j.arabjc.2019.12.005
- 16 Dora N., Nanda P., Reddy N. G. Application of biopolymers for enhancing engineering properties of problematic soils and industrial wastes: a review. *Advances in Sustainable Construction Materials: Select Proceedings of ASCM 2020*. 2021. pp. 203-211. doi: 10.1007/978-981-33-4590-4_20
- 17 Schnepf Z. Biopolymers as a flexible resource for nanochemistry. *Angewandte Chemie International Edition*. 2013. vol. 52. no. 4. pp. 1096-1108. doi: 10.1002/anie.201206943
- 18 Varghese S.A., Siengchin S., Parameswaranpillai J. Essential oils as antimicrobial agents in biopolymer-based food packaging-A comprehensive review. *Food Bioscience*. 2020. vol. 38. pp. 100785. doi: 10.1016/j.fbio.2020.100785
- 19 Choi S.G. et al. Review on geotechnical engineering properties of sands treated by microbially induced calcium carbonate precipitation (MICP) and biopolymers. *Construction and Building Materials*. 2020. vol. 246. pp. 118415. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118415
- 20 Xu D., Chen T., Liu Y. The physical properties, antioxidant and antimicrobial activity of chitosan-gelatin edible films incorporated with the extract from hop plant. *Polymer Bulletin*. 2021. vol. 78. pp. 3607-3624. doi: 10.1007/s00289-020-03294-1

Сведения об авторах

Елена В. Белокурова к.т.н., доцент, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, zvezdamal@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-1955-8376>

Мартин А. Саргсян аспирант, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mrmartinok@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3786-1088>

Евгений С. Попов д.т.н., профессор, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, e_s_popov@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-3303-3434>

Татьяна В. Алексеева д.т.н., профессор, кафедра биологии, химии, экологии и методик обучения, Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина, ул. Ульянова, 1 г. Нижний Новгород, 603000, Россия, zhablova@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-8035-7293>

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

Elena V. Belokurova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, zvezdamal@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-1955-8376>

Martin A. Sargsyan post-graduate student, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, mrmartinok@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3786-1088>

Evgeny S. Popov Dr. Sci. (Engin.), professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, e_s_popov@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-3303-3434>

Tatyana V. Alekseeva Dr. Sci. (Engin.), professor, biology, chemistry, ecology, and teaching methods department, Nizhny Novgorod state pedagogical university named after Kozma Minin, str. Ulyanova, 1, Nizhny Novgorod, 603000, Russia, zhablova@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-8035-7293>

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 26/12/2022	После редакции 23/01/2023	Принята в печать 16/02/2023
Received 26/12/2022	Accepted in revised 23/01/2023	Accepted 16/02/2023

Исследование жирнокислотного состава растительных масел

Анастасия В. Терёхина¹ gorbatova.nastia@ya.ru  0000-0003-4433-9615
Михаил Н. Щербakov¹ wenkheim@mail.ru  0000-0001-7299-7039

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

Аннотация. Эмульсионные жировые продукты являются перспективным направлением для обогащения жирными кислотами ненасыщенных групп. Это возможно с помощью внесения в рецептуры этих продуктов редко используемых видов растительных масел. Ввиду того что жирнокислотный состав растительных масел отличается в зависимости от свойств сырья из которого его производят, существует необходимость его анализа для более точного составления рецептуры эмульсионного продукта. В результате проведенных исследований в тыквенном масле обнаружено 17,3 % насыщенных жирных кислот и 83 % ненасыщенных соответственно. Тыквенное масло богато мононенасыщенными жирными кислотами, например олеиновой кислотой (47 %). Хроматографическое исследование жирнокислотного состава показало, что в рыжиковом масле находятся 9,7 % насыщенных жирных кислот и около 90,3 % ненасыщенных кислот. Больше всего в масле оказалось линоленовой кислоты (32,6%). Установлено, что образце масла чёрного тмина содержится 21,9 % насыщенных и 78,1 % ненасыщенных жирных кислот. Больше всего в масле линолевой кислоты (56,9 %). Исследуемые масла богаты ненасыщенными жирными кислотами и могут быть использованы как добавки в майонезные соусы для насыщения ненасыщенными жирными кислотами определенных групп, каждое из исследуемых масел будет насыщать определенной группой. Тыквенное масло – как источник мононенасыщенных жирных кислот (олеиновая жирная кислота), рыжиковое – как источник омега-3 жирных кислот (линоленовая жирная кислота), масло черного тмина – источник жирных кислот группы омега – 6 (линолевая жирная кислота).

Ключевые слова: жирнокислотный состав, хроматограмма, тыквенное масло, рыжиковое масло, масло из чёрного тмина, полиненасыщенные жирные кислоты.

Investigation of the fatty acid composition of vegetable oils

Anastasia V. Terekhina¹ gorbatova.nastia@ya.ru  0000-0003-4433-9615
Mikhail N. Shcherbakov¹ wenkheim@mail.ru  0000-0001-7299-7039

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

Abstract. Emulsion fat products are a promising direction for the enrichment of unsaturated groups with fatty acids. This is possible by introducing rarely used types of vegetable oils into the formulations of these products. Due to the fact that the fatty acid composition of vegetable oils differs depending on the properties of the raw materials from which it is produced, there is a need for its analysis for a more accurate formulation of the emulsion product. As a result of the conducted studies, 17.3% saturated fatty acids and 83% unsaturated, respectively, were found in pumpkin oil. Pumpkin oil is rich in monounsaturated fatty acids, such as oleic acid (47%). Chromatographic study of the fatty acid composition showed that ginger oil contains 9.7% saturated fatty acids and about 90.3% unsaturated acids. Linolenic acid turned out to be the most in the oil (32.6%). It was found that the sample of black cumin oil contains 21.9% saturated and 78.1% unsaturated fatty acids. Most of all in linoleic acid oil (about 56.9%). The studied oils are rich in unsaturated fatty acids and can be used as additives in mayonnaise sauces to saturate certain groups with unsaturated fatty acids, each of the studied oils will saturate a certain group. Pumpkin oil is a source of monounsaturated fatty acids (oleic fatty acid), ginger oil is a source of omega-3 fatty acids (linolenic fatty acid), black cumin oil is a source of omega-6 fatty acids (linoleic fatty acid).

Keywords: fatty acid composition, chromatogram, pumpkin oil, ginger oil, black cumin oil, polyunsaturated fatty acids..

Введение

Важнейшим путем создания продуктов, обеспечивающих здоровое питание (продуктов функционального назначения), является обогащение базовых продуктов недостающими физиологически функциональными ингредиентами (витаминами, минеральными веществами, полиненасыщенными жирными кислотами, пищевыми волокнами и др.) и разработка новых технологий получения этих продуктов [1, 2, 5, 8]. Наличие

разных жирных кислот в составе жировых продуктов могут, как увеличить срок жизни, так и значительно сократить, поэтому разумное и сбалансированное использование способно положительно сказывается на здоровье человека [3, 4, 9–11].

Эмульсионные жировые продукты являются перспективным направлением для обогащения жирными кислотами ненасыщенных групп. Это возможно с помощью внесения в рецептуры

Для цитирования

Терёхина А.В., Щербakov М.Н. Исследование жирнокислотного состава растительных масел // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 111–117. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-111-117

For citation

Terekhina A.V., Shcherbakov M.N. Investigation of the fatty acid composition of vegetable oils. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 111–117. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-111-117

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

этих продуктов редко используемых видов растительных масел. Ввиду того что жирнокислотный состав растительных масел отличается в зависимости от свойств сырья из которого его производят, существует необходимость его анализа для более точного составления рецептуры эмульсионного продукта.

Цель исследования – изучение жирнокислотного состава следующих растительных масел: тыквенного, рыжикового и масла черного тмина, с целью выбора ингредиентов для создания сбалансированных по жирнокислотному составу рецептур эмульсионных продуктов питания (например, майонезных соусов).

Материалы и методы

Для определения жирнокислотного состава выбранных растительных масел применялся метод газовой хроматографии. Использовали газовый хроматограф, колонка SP-2560 00m.×0,25 mm.×0,2 μ m. В процессе исследования и точного определения использовался метод процентной нормализации по площади.

Определение метиловых эфиров жирных кислот было проведено согласно ГОСТ 31665–2012. При высоких кислотных числах использовали другую методику. Для определения

жирных кислот в маслах с кислотным числом больше двух осуществляли подготовку образца следующим образом. В коническую колбу объемом 100 мл вносили 0,6 г исследуемого образца масла. Добавляли 1,5 мл метанола, 2 мл серной кислоты и метил-оранжевый. Полученную смесь размещали на водяной бане под обратный холодильник на 1 час. Далее остужали при комнатной температуре добавив 10 мл гексана. После этого использовали делительную воронку, нижний розовый слой сливали и отмывали дистиллированной водой. После отслоения водного слоя – сливали (кратность повтора 4 раза). Для проверки в стакан с водой добавляли метил-оранжевый, цвет должен быть оранжевым. Оставляли раствор в воронке на фильтрование, фильтровали в мерный стаканчик через водный осушитель. Затем проводили сушку под азотом. Перед вкалыванием пробу необходимо разбавить, добавляли гексан, метанол, после этого перемешивали и фильтровали.

Результаты и обсуждение

Был проведён расчет жирнокислотного состава растительных масел, результаты которого отражен на хроматограммах (рисунки 2–4) и в таблицах 1–3.

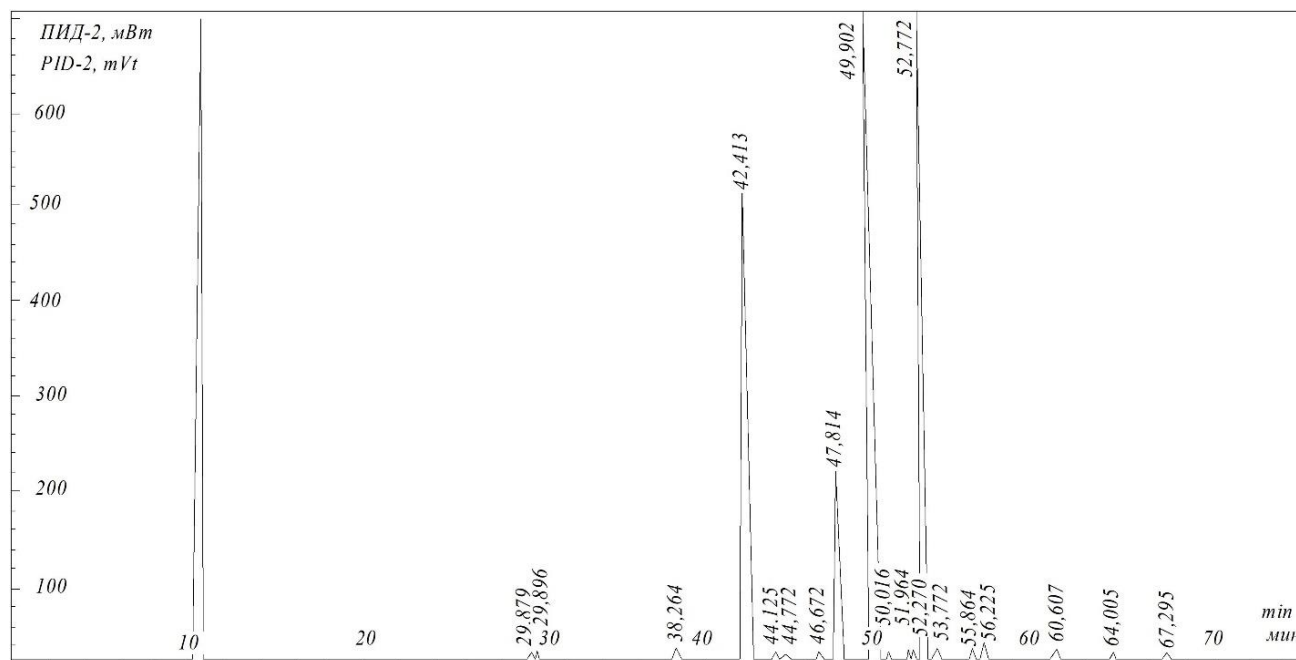


Рисунок 1. Хроматограмма тыквенного масла

Figure 1. Pumpkin oil chromatogram

Таблица 1.

Расчет по компонентам тыквенного масла

Table 1.

Calculation of pumpkin oil components

Время, мин Time, min	Компонент Component	Площадь Area	Высота Height	Концентрация Concentration
29,896	C 12:0	78,777	8,033	0,286
38,264	C 14:0	27,132	5,990	0,098
42,413	C 16:0	2826,726	486,534	10,254
44,125	C 16:1	33,199	6,803	0,120
44,772	C 16:1	14,416	2,612	0,052
46,672	C 16:1	7,309	1,351	0,027
47,814	C 18:0	1606,391	190,753	5,827
49,902	C 18:1	12759,944	965,044	46,286
50,016	C 18:1	220,206	42,036	0,799
51,964	C 18:2	19,225	2,838	0,070
52,270	C 18:2	11,667	1,848	0,042
52,772	C 18:2	9472,521	950,746	34,361
53,772	C 20:0	114,642	21,741	0,416
55,864	C 18:3	33,842	5,917	0,123
56,225	C 20:1	114,589	18,328	0,416
60,607	C 18:3	45,824	9,257	0,166
64,005	C 22:0	76,441	12,960	0,277
67,295	C 24:0	25,692	4,628	0,093

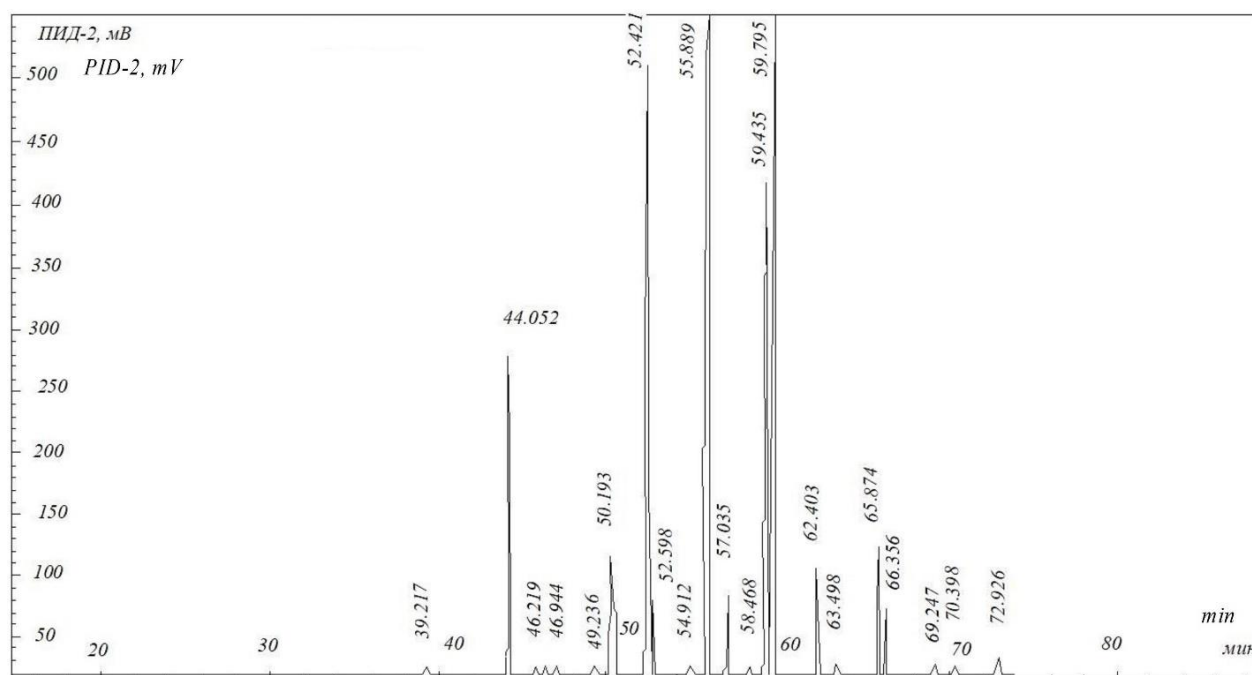


Рисунок 2. Хроматограмма рыжикового масла

Figure 2. Chromatogram of ginger oil

Таблица 2.

Расчет по компонентам рыжикового масла

Table 2.

Calculation by components of ginger oil

Время, мин Time, min	Компонент Component	Площадь Area	Высота Height	Концентрация Concentration
1	2	3	4	5
39,217	C 14:0	15,523	3,864	0,059
44,052	C 16:0	1433,706	260,892	5,449
45,911	C 16:1	10,322	1,825	0,039
46,219	C 16:1	28,142	5,426	0,107
46,944	C 17:0	12,207	1,768	0,046
49,236	C 17:1	8,147	1,583	0,032
50,193	C 18:0	672,632	97,404	2,556
52,421	C 18:1	4138,951	493,379	15,730

Продолжение таблицы 2 | Continuation of table 2

1	2	3	4	5
52,598	C 18:1	256,088	55,130	0,973
54,912	C 18:2	11,784	1,472	0,045
55,889	C 18:2	5228,966	561,804	19,872
57,035	C 20:0	418,185	65,626	1,589
58,468	C 18:3	37,772	6,990	0,144
59,435	C 20:1	3657,309	396,654	13,899
59,795	C 18:3	8556,143	905,720	32,517
62,403	C 20:2	470,490	82,375	1,788
63,498	C 22:0	88,849	15,821	0,338
65,874	C 22:1	700,286	103,252	2,661
66,356	C 20:3	306,610	52,335	1,165
69,247	C 20:4	49,311	7,184	0,187
70,398	C 24:0	50,921	8,314	0,194
72,926	C 24:1	160,376	24,547	0,609

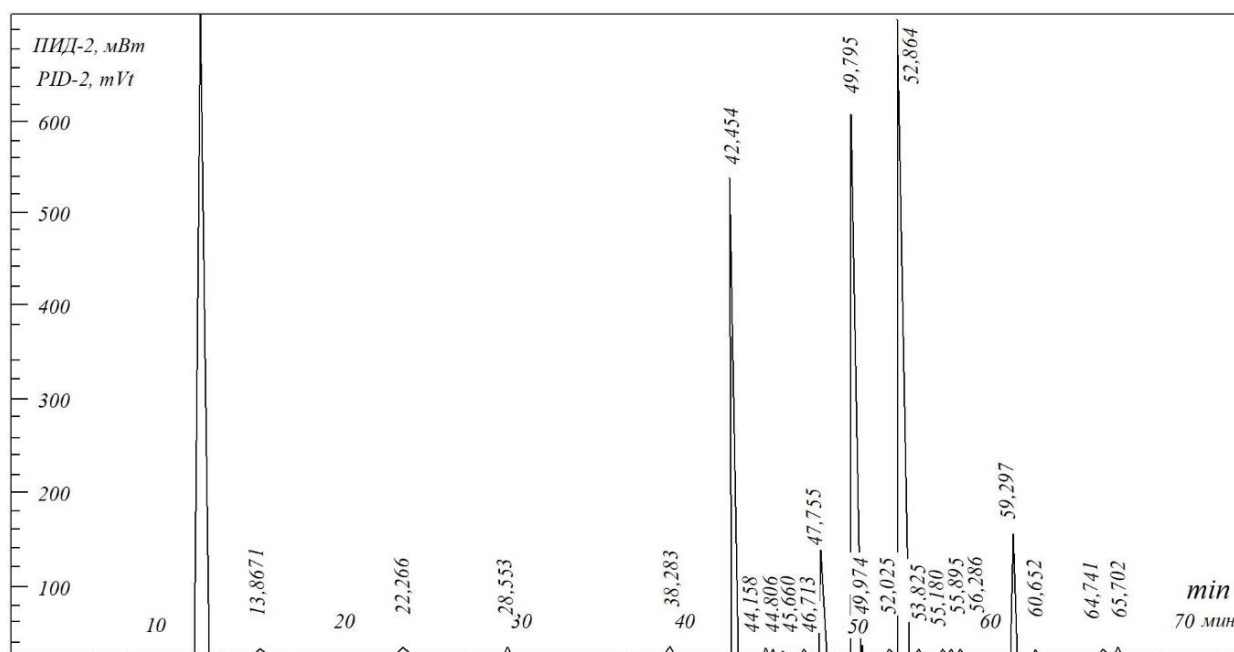


Рисунок 3. Хроматограмма масла из чёрного тмина

Figure 3. Chromatogram of black cumin oil

Таблица 3.

Расчет по компонентам масла из чёрного тмина

Table 3.

Calculation of components of black cumin oil

Время, мин Time, min	Компонент Component	Площадь Area	Высота Height	Концентрация Concentration
13,867	C 6:0	50,181	4,683	0,198
22,266	C 8:0	132,092	16,395	0,522
28,553	C 12:0	11,782	1,618	0,047
38,283	C 14:0	48,091	10,798	0,190
42,454	C 16:0	3146,975	518,628	12,435
44,158	C 16:1	54,457	11,185	0,215
44,806	C 16:1	14,005	2,651	0,055
45,660	C 16:1	5,380	1,019	0,021
46,713	C 16:1	8,910	1,639	0,035
47,755	C 18:0	720,214	106,953	2,846
49,795	C 18:1	5526,361	586,903	21,838
49,974	C 18:1	265,958	49,161	1,051
52,025	C 18:2	20,390	2,706	0,081
52,864	C 18:2	14396,297	1183,932	56,887
53,825	C 20:0	45,111	7,801	0,178
55,180	C 18:3	30,092	2,231	0,119
55,895	C 20:1	85,366	14,953	0,337
56,286	C 18:3	64,278	9,824	0,254
59,297	C 22:0	635,520	116,437	2,511
64,741	C 24:0	28,756	4,504	0,114

В результате проведенных исследований в тыквенном масле обнаружено 17,3% насыщенных жирных кислот и 83% ненасыщенных соответственно. Тыквенное масло богато мононенасыщенными жирными кислотами, например олеиновой кислотой (47%). Также в большом количестве присутствует линолевая кислота (34,47%), пальмитиновая (10,2%), стеариновая (5,8%). Содержание других компонентов незначительно. Опираясь на полученные данные, можно говорить о том, что тыквенное масло является высокоолеиновым и может использоваться как альтернатива масел высокоолеиновых групп.

Хроматографическое исследование жирнокислотного состава показало, что в рыжиковом масле находятся 9,7% насыщенных жирных кислот и около 90,3% ненасыщенных кислот. Больше всего в масле оказалось линоленовой кислоты (32,6%). В довольно значительных пропорциях в своём составе присутствуют такие кислоты как: линолевая кислота (19,9%), олеиновая кислота (16,7%), гондоиновая (13,8%) и пальмитиновая кислоты (5,4%). Рыжиковое масло может рассматриваться как источник омега-3 полиненасыщенных жирных кислот.

Установлено, что образце масла чёрного тмина содержится 21,9% насыщенных и 78,1% ненасыщенных жирных кислот. Больше всего в масле линолевой кислоты (56,9%). Также

заметное влияние оказывает содержание олеиновой кислоты (22,8%) и пальмитиновой кислоты (12,4%). В масле черного тмина преобладают жирные кислоты группы Омега-6.

Заключение

В ходе исследования был установлен жирнокислотный состав следующих растительных масел: тыквенного, рыжикового и масла черного тмина. Исследуемые масла богаты ненасыщенными жирными кислотами и могут быть использованы как добавки в майонезные соусы для насыщения ненасыщенными жирными кислотами определенных групп, каждое из исследуемых масел будет насыщать определенной группой. Тыквенное масло – как источник мононенасыщенных жирных кислот (олеиновая жирная кислота), рыжиковое – как источник омега-3 жирных кислот (линоленовая кислота), масло черного тмина – источник жирных кислот группы омега – 6 (линолевая кислота).

Влияние ненасыщенных жирных кислот на вредный холестерин, на сердечно-сосудистые заболевания, профилактика и снижение вероятности заболевания раком делает применение разных продуктов питания, содержащие ненасыщенные жирные кислоты, наиболее актуальным в XXI веке, в эпоху роста больных раком и увеличения числа людей с ожирением [6, 7].

Литература

- 1 Lehotay S.J. Food safety analysis // Analytical and bioanalytical chemistry. 2018. V. 410. P. 5329-5330. doi: 10.1007/s00216-018-1129-0
- 2 Górka-Warsewicz H., Rejman K., Laskowski W., Czeczotko M. Butter, margarine, vegetable oils, and olive oil in the average polish diet // Nutrients. 2019. V. 11. №. 12. P. 2935. doi: 10.3390/nu11122935
- 3 Bajželj B., Laguzzi F., Röss E. The role of fats in the transition to sustainable diets // The Lancet Planetary Health. 2021. V. 5. №. 9. P. e644-e653. doi: 10.1016/S2542-5196(21)00194-7
- 4 Ogawa A., Tsujiguchi H., Nakamura M., Hayashi K. et al. Higher Intake of Vegetable Protein and Lower Intake of Animal Fats Reduce the Incidence of Diabetes in Non-Drinking Males: A Prospective Epidemiological Analysis of the Shika Study // Nutrients. 2023. V. 15. №. 4. P. 1040. doi: 10.3390/nu15041040
- 5 Marangoni A.G., Van Duynhoven J.P., Acevedo N.C., Nicholson R.A. et al. Advances in our understanding of the structure and functionality of edible fats and fat mimetics // Soft Matter. 2020. V. 16. №. 2. P. 289-306. doi: 10.1039/c9sm01704f
- 6 Larsson S.C., Spyrou N., Mantzoros C.S. Body fatness associations with cancer from recent epidemiologic studies // Metabolism. 2022. P. 155326. doi: 10.1016/j.metabol.2022.155326
- 7 Poljšak N., Kreft S., Kočevič Glavač N. Vegetable butters and oils in skin wound healing: Scientific evidence for new opportunities in dermatology // Phytotherapy research. 2020. V. 34. №. 2. P. 254-269. doi: 10.1002/ptr.6524
- 8 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
- 9 Elagizi A., Lavie C.J., O'keefe E., Marshall K. et al. An update on omega-3 polyunsaturated fatty acids and cardiovascular health // Nutrients. 2021. V. 13. №. 1. P. 204. doi: 10.3390/nu13010204.
- 10 Watanabe Y., Tatsuno I. Prevention of Cardiovascular Events with Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids and the Mechanism Involved // J Atheroscler Thromb. 2020. V. 27. №. 3. P. 183-198. doi: 10.5551/jat.50658
- 11 Cholewski M., Tomczyk M., Tomczyk M. A Comprehensive Review of Chemistry, Sources and Bioavailability of Omega-3 Fatty Acids // Nutrients. 2018. V. 10. №. 11. P. 1662. doi: 10.3390/nu10111662
- 12 Терехина А.В., Желтоухова Е.Ю., Щербаков М.Н. Обоснование выбора рецептурных составляющих для производства майонезного соуса функционального назначения // Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство: VIII Международная научно-техническая конференция, Воронеж, 30 ноября 2022 года. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2023. С. 49-52.

- 13 Dorni C., Sharma P., Saikia G., Longvah T. Fatty acid profile of edible oils and fats consumed in India // *Food chemistry*. 2018. V. 238. P. 9-15. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.05.072
- 14 Kostik V., Memeti S., Bauer B. Fatty acid composition of edible oils and fats // *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2013. V. 4. P. 112-116.
- 15 Orsavova J., Misurcova L., Vavra Ambrozova J., Vicha R. et al. Fatty acids composition of vegetable oils and its contribution to dietary energy intake and dependence of cardiovascular mortality on dietary intake of fatty acids // *International journal of molecular sciences*. 2015. V. 16. №. 6. P. 12871-12890. doi: 10.3390/ijms160612871
- 16 Atabani A.E., da Silva César A. Calophyllum inophyllum L.—A prospective non-edible biodiesel feedstock. Study of biodiesel production, properties, fatty acid composition, blending and engine performance // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. V. 37. P. 644-655. doi: 10.1016/j.rser.2014.05.037
- 17 Reeves C.J., Menezes P.L., Jen T.C., Lovell M.R. et al. The influence of fatty acids on tribological and thermal properties of natural oils as sustainable biolubricants // *Tribology International*. 2015. V. 90. P. 123-134. doi: 10.1016/j.triboint.2015.04.021
- 18 Cao J., Li H., Xia X., Zou X.G. et al. Effect of fatty acid and tocopherol on oxidative stability of vegetable oils with limited air // *International Journal of Food Properties*. 2015. V. 18. №. 4. P. 808-820. doi: 10.1080/10942912.2013.864674
- 19 Sadaf S., Iqbal J., Ullah I., Bhatti H.N. et al. Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel // *Sustainable cities and society*. 2018. V. 41. P. 220-226. doi: 10.1016/j.scs.2018.05.037
- 20 Atabani A.E., Mahlia T.M.I., Masjuki H.H., Badruddin I.A. et al. A comparative evaluation of physical and chemical properties of biodiesel synthesized from edible and non-edible oils and study on the effect of biodiesel blending // *Energy*. 2013. V. 58. P. 296-304. doi: 10.1016/j.energy.2013.05.040

References

- 1 Lehotay S.J. Food safety analysis. Analytical and bioanalytical chemistry. 2018. vol. 410. pp. 5329-5330. doi: 10.1007/s00216-018-1129-0
- 2 Górka-Warsewicz H., Rejman K., Laskowski W., Czacotko M. Butter, margarine, vegetable oils, and olive oil in the average polish diet. *Nutrients*. 2019. vol. 11. no. 12. pp. 2935. doi: 10.3390/nu11122935
- 3 Bajželj B., Laguzzi F., Röös E. The role of fats in the transition to sustainable diets. *The Lancet Planetary Health*. 2021. vol. 5. no. 9. pp. e644-e653. doi: 10.1016/S2542-5196(21)00194-7
- 4 Ogawa A., Tsujiguchi H., Nakamura M., Hayashi K. et al. Higher Intake of Vegetable Protein and Lower Intake of Animal Fats Reduce the Incidence of Diabetes in Non-Drinking Males: A Prospective Epidemiological Analysis of the Shika Study. *Nutrients*. 2023. vol. 15. no. 4. pp. 1040. doi: 10.3390/nu15041040
- 5 Marangoni A.G., Van Duynhoven J.P., Acevedo N.C., Nicholson R.A. et al. Advances in our understanding of the structure and functionality of edible fats and fat mimetics. *Soft Matter*. 2020. vol. 16. no. 2. pp. 289-306. doi: 10.1039/c9sm01704f
- 6 Larsson S.C., Spyrou N., Mantzoros C.S. Body fatness associations with cancer from recent epidemiologic studies. *Metabolism*. 2022. pp. 155326. doi: 10.1016/j.metabol.2022.155326
- 7 Poljšak N., Kreft S., Kočevič Glavač N. Vegetable butters and oils in skin wound healing: Scientific evidence for new opportunities in dermatology. *Phytotherapy research*. 2020. vol. 34. no. 2. pp. 254-269. doi: 10.1002/ptr.6524
- 8 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
- 9 Elagizi A., Lavie C.J., O'keefe E., Marshall K. et al. An update on omega-3 polyunsaturated fatty acids and cardiovascular health. *Nutrients*. 2021. vol. 13. no. 1. pp. 204. doi: 10.3390/nu13010204.
- 10 Watanabe Y., Tatsuno I. Prevention of Cardiovascular Events with Omega 3 Polyunsaturated Fatty Acids and the Mechanism Involved. *J Atheroscler Thromb*. 2020. vol. 27. no. 3. pp. 183-198. doi: 10.5551/jat.50658
- 11 Cholewski M., Tomczyk M., Tomczyk M. A Comprehensive Review of Chemistry, Sources and Bioavailability of Omega 3 Fatty Acids. *Nutrients*. 2018. vol. 10. no. 11. pp. 1662. doi: 10.3390/nu10111662
- 12 Terekhina A.V., Zheltoukhova E.Yu., Shcherbakov M.N. Justification of the choice of prescription ingredients for the production of functional mayonnaise sauce. *Innovative technologies in the food industry: science, education and production: VIII International Scientific and Technical Conference, Voronezh, November 30, 2022. Voronezh, Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2023. pp. 49-52. (in Russian).
- 13 Dorni C., Sharma P., Saikia G., Longvah T. Fatty acid profile of edible oils and fats consumed in India. *Food chemistry*. 2018. vol. 238. pp. 9-15. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.05.072
- 14 Kostik V., Memeti S., Bauer B. Fatty acid composition of edible oils and fats. *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2013. vol. 4. pp. 112-116.
- 15 Orsavova J., Misurcova L., Vavra Ambrozova J., Vicha R. et al. Fatty acids composition of vegetable oils and its contribution to dietary energy intake and dependence of cardiovascular mortality on dietary intake of fatty acids. *International journal of molecular sciences*. 2015. vol. 16. no. 6. pp. 12871-12890. doi: 10.3390/ijms160612871
- 16 Atabani A.E., da Silva César A. Calophyllum inophyllum L.—A prospective non-edible biodiesel feedstock. Study of biodiesel production, properties, fatty acid composition, blending and engine performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. vol. 37. pp. 644-655. doi: 10.1016/j.rser.2014.05.037

17 Reeves C.J., Menezes P.L., Jen T.C., Lovell M.R. et al. The influence of fatty acids on tribological and thermal properties of natural oils as sustainable biolubricants. *Tribology International*. 2015. vol. 90. pp. 123-134. doi: 10.1016/j.triboint.2015.04.021

18 Cao J., Li H., Xia X., Zou X.G. et al. Effect of fatty acid and tocopherol on oxidative stability of vegetable oils with limited air. *International Journal of Food Properties*. 2015. vol. 18. no. 4. pp. 808-820. doi: 10.1080/10942912.2013.864674

19 Sadaf S., Iqbal J., Ullah I., Bhatti H.N. et al. Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel. *Sustainable cities and society*. 2018. vol. 41. pp. 220-226. doi: 10.1016/j.scs.2018.05.037

20 Atabani A.E., Mahlia T.M.I., Masjuki H.H., Badruddin I.A. et al. A comparative evaluation of physical and chemical properties of biodiesel synthesized from edible and non-edible oils and study on the effect of biodiesel blending. *Energy*. 2013. vol. 58. pp. 296-304. doi: 10.1016/j.energy.2013.05.040

Сведения об авторах

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, gorbato.nastia@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4433-9615>

Михаил Н. Щербаков магистрант, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, wenkheim@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7299-7039>

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

Anastasia V. Terekhina Cand. Sci. (Engin.), assistant 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, gorbato.nastia@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4433-9615>

Mikhail N. Shcherbakov master's 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, wenkheim@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7299-7039>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/12/2022	После редакции 12/01/2023	Принята в печать 22/02/2023
Received 20/12/2022	Accepted in revised 12/01/2023	Accepted 22/02/2023

Проверка гипотезы нормальности числа падения овсяной муки по малым выборкам

Наталья А. Шмалько	¹	kafedra-tith@yandex.ru	 0000-0002-8939-0265
Игорь А. Никитин	²	nikito.igor@gmail.com	 0000-0002-8988-5911
Дарья А. Велина	²	d.velina@mgutm.ru	 0000-0002-2398-3375
Лилия Ф. Пономарева	³	eponomareva@mgutm.ru	 0000-0002-6645-6356
Сергей Е. Терентьев	⁴	seterentiev@sgsha.ru	 0000-0002-8546-7253

1 Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия

2 Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия

3 Башкирский институт технологий и управления, ул. Смоленская, 34, г. Мелеуз, 453856, Россия

4 Смоленская государственная сельскохозяйственная академия, ул. Большая Советская, 10/2, г. Смоленск, 214000, Россия

Аннотация. Проверка гипотезы нормальности малых выборок требуется для установления принадлежности получаемого эмпирического распределения теоретическому распределению. Условием проверки гипотезы нормальности по совокупности малых независимых выборок является наличие их достаточного числа при одинаковом объеме. В таком случае возможным представляется проверить гипотезу нормальности генеральных совокупностей, из которых были взяты изучаемые выборки при допущении, что параметры этих совокупностей имеют разные значения. При проверке гипотезы нормальности по большому числу малых выборок из каждой выборки случайным образом отбирается по одному значению только первых, вторых и т.д. измерений, допуская, тем самым, упрощение и случайный отбор данных. Объектом данного исследования являются малые выборки числа падения овсяной муки, используемой в хлебопекарном производстве при выработке хлебопекарной продукции. Целью данной работы явилась проверка гипотезы нормальности по малым выборкам эксперимента с использованием непараметрического критерия согласия ω^2 Мизерса каждого из четырех определений числа падения, поскольку округление значений прямых измерений исключает случайный характер величины или ее нормальное распределение в пользу равномерного. Установлено, что при уровне значимости $p = 0,05$ табличное значение $(\omega^2)_{1-p}$ больше вычисленного значения ω^2 для всех четырех определений, отсюда гипотеза нормального распределения малых выборок для всех четырех определений (как случайных величин) числа падения овсяной муки не отклоняется. Полученные в работе результаты согласуются с общепринятыми классическими представлениями о проверке статистической гипотезы о нормальном распределении выборок. Статистический метод обеспечивает достаточную точность изучаемого показателя в технических системах и не требует проведения синтеза статистического критерия для проверки гипотезы нормальности малых выборок.

Ключевые слова: проверка гипотезы, число падения, овсяная мука, малая выборка, непараметрическая статистика.

Testing the hypothesis of the normality of the falling number of oatmeal in small samples

Natalya A. Shmal'ko	¹	kafedra-tith@yandex.ru	 0000-0002-8939-0265
Igor A. Nikitin	²	nikito.igor@gmail.com	 0000-0002-8988-5911
Daria A. Velina	²	d.velina@mgutm.ru	 0000-0002-2398-3375
Lilya F. Ponomareva	³	eponomareva@mgutm.ru	 0000-0002-6645-6356
Sergey E. Terentev	⁴	seterentiev@sgsha.ru	 0000-0002-8546-7253

1 Kuban State Technological University, Moskovskaya St., 2, Krasnod, 350072, Russia

2 K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia

3 K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Bashkir Institute of Technology and Management, Smolenskaya st., 34, Meleuz, 453856, Russia

4 Smolensk State Agricultural Academy, Bol'shaya Sovetskaya str., 10/2, Smolensk, 214000, Russia

Abstract. Verification of the hypothesis of the normality of small samples is required to establish whether the empirical distribution obtained belongs to the theoretical distribution. The condition for testing the hypothesis of normality for a set of small independent samples is the presence of a sufficient number of them with the same volume. In this case, it is possible to test the hypothesis of the normality of the general aggregates from which the studied samples were taken, assuming that the parameters of these aggregates have different values. When testing the hypothesis of normality for a large number of small samples, only one value of the first, second, etc. measurements is randomly selected from each sample, thereby allowing simplification and random selection of data. The object of this study is small samples of the falling number of oat flour used in bakery production in the development of bakery products. The purpose of this work was to test the hypothesis of normality for small samples of the experiment using the nonparametric criterion of agreement ω^2 of the smallest of each of the four definitions of the incidence number, since rounding the values of direct measurements excludes the random nature of the quantity or its normal distribution in favor of a uniform one. It was found that at a significance level of $p = 0.05$, the table value $(\omega^2)_{1-p}$ is greater than the calculated value of ω^2 for all four definitions, hence the hypothesis of the normal distribution of small samples for all four definitions (as random variables) of the falling number of oatmeal does not deviate. The results obtained in this work are consistent with the generally accepted classical concepts of testing the statistical hypothesis of the normal distribution of samples. The statistical method provides sufficient accuracy of the studied indicator in technical systems and does not require the synthesis of a statistical criterion to test the hypothesis of the normality of small sample.

Keywords: hypothesis testing, falling number, oatmeal, small sample, nonparametric statistics.

Для цитирования

Шмалько Н.А., Никитин И.А., Велина Д.А., Пономарева Л.Ф., Терентьев С.Е. Проверка гипотезы нормальности числа падения овсяной муки по малым выборкам // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 118–126. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-118-126

For citation

Shmal'ko N.A., Nikitin I.A., Velina D.A., Ponomareva L.F., Terentev S.E. Testing the hypothesis of the normality of the falling number of oatmeal in small samples. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 118–126. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-118-126

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

Введение

При проведении прямых измерений требуется статистическая обработка их результатов с установлением принадлежности получаемого эмпирического распределения теоретическому распределению. Условием проверки гипотезы нормальности по совокупности малых независимых выборок является наличие их достаточно большого числа при одном и том же объеме. В таком случае можно проверить «...гипотезу нормальности генеральных совокупностей, из которых были взяты изучаемые выборки при допущении, что параметры этих совокупностей имеют разные значения» [1]. К изучению принимается относительное отклонение, равное

$$\tau = \frac{x_{ik} - \bar{x}_k}{S_k} \quad (1)$$

где x_{ik} – i -й элемент k -й выборки; $\bar{x}_k$, S_k – среднее и среднеквадратичное отклонение k -й выборки.

Следует учитывать, что распределение величины τ не зависит от параметров генеральной совокупности: количества выборок и величины стандартного отклонения, а зависит только от объема выборки. Плотность вероятности величины τ выражается следующим образом:

$$f(\tau) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{\sqrt{f+1}} \frac{\Gamma\left(\frac{f+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{f}{2}\right)} \left(1 - \frac{\tau^2}{f+1}\right)^{\frac{f-2}{2}} & \text{при } |\tau| < \sqrt{f+1}; \\ 0 & \text{при } |\tau| \geq \sqrt{f+1}, \end{cases} \quad (2)$$

при $|\tau| < \sqrt{f+1}$;
0 при $|\tau| \geq \sqrt{f+1}$,

где f – число степеней свободы, определяемое как уменьшенный на два объем выборки (число измеряемых определений). При прогнозировании расхождения эмпирического распределения с теоретическим полагают, что уже «...при четырех повторностях измерений в малой выборке относительные отклонения в отдельных выборках в изучаемой совокупности могут подчиняться равномерному распределению, если исходные совокупности нормальны» [1]. Если число выборок достаточно велико, то данное условие позволит выполнить проверку гипотезы нормальности. Обычно при проверке гипотезы нормальности по большому числу малых выборок из каждой выборки случайным образом отбирается по одному значению только первых, вторых и т. д. измерений, допуская, тем самым, упрощение и случайный отбор данных. Например, при объеме выборки в четыре измерения плотность вероятности величины τ приобретает вид:

$$f(\tau) = \frac{1}{2\sqrt{3}} \text{ при } |\tau| < \sqrt{3}. \quad (3)$$

В рекомендациях [2] изложены правила проверки опытного распределения с теоретическим при проверке простых и сложных гипотез путем применения критериев согласия Колмогорова, Смирнова и ω^2 Мизерса. Вначале определяются со сложностью проверяемой гипотезы, а в самом процессе проверки согласия по выборке вычисляют значение статистики используемого критерия. Считается, что «...распределения статистик непараметрических критериев как при простых, так и сложных гипотезах очень быстро сходятся к предельным законам», не допуская ошибок при анализе данных с числом малых выборок более $15 \div 20$. Малый объем выборок также позволяет «...успешно различать близкие гипотезы», что представляется удобным при разработке выборочного плана.

Объектом данного исследования являются малые выборки числа падения овсяной муки, используемой в хлебопекарном производстве при выработке хлебопекарной продукции повышенной пищевой ценности [3], в том числе при составлении композитных смесей с различными видами муки [4, 5]. Как показывают исследования, «...овсяная мука, как и другие виды муки из крупных культур, отличается от традиционной хлебопекарной муки специфическими технологическими свойствами, в том числе отсутствием способности образовывать клейковину. Автолитическая активность подобного сырья в силу специальной технологии получения крупы и удаления анатомических частей определяется не столь активностью амилолитических ферментов, расщепляющих крахмал до низкомолекулярных декстринов и олигосахаридов, сколько степенью автолиза крахмала и накоплением водорастворимых веществ при прогреве водномучных суспензий. Качество крупяной продукции может определяться на основе инструментальной оценки проб муки стандартным методом числа падения, реализуемым в условиях внутризаводского контроля. В качестве улучшителей амилолитической активности муки из крупяных культур следует рассматривать зерновые продукты и их композиции, определяющие получение феноменологической модели прогнозирования варочных свойств готового продукта» [6].

Целью данной работы явилась проверка гипотезы нормальности числа падения овсяной муки по малым выборкам эксперимента с использованием непараметрического критерия согласия ω^2 Мизерса, поскольку, в отличие от широко применяемого критерия χ^2 Пирсона, рассматриваемый критерий «...основывается на непосредственно полученных в эксперименте негруппированных значениях случайной величины» [1].

Материалы и методы

Материалом исследования являлся образец овсяной муки, соответствующий требованиям СТО 53548590–019–2013 (ООО «ХЛЕБЗЕРНО-ПРОДУКТ», г. Таганрог, Ростовская область). Число падения овсяной муки определяли по стандартному методу ГОСТ 27676–88 [7]: «...сущность которого заключается в определении времени свободного падения шток-мешалки в клейстеризованной водно-мучной суспензии». За окончательный результат числа падения принимают среднее арифметическое результатов параллельного определения двух навесок, допускаемое расхождение между которыми не должно превышать 10% от их средней арифметической величины. При превышении допускаемого расхождения определение повторяют. Вычисления проводят до первого десятичного знака с последующим округлением результата до целого числа.

В данном стандарте приводятся правила округления повторных результатов измерений, производимых двухканальной измерительной системой прибора типа ПЧП. Так, в *примере 1* результат определения по первой навеске составляет 150 с, по второй – 160 с. Среднее арифметическое значение – 155 с. Допускаемое расхождение от этого среднего арифметического значения составляет 15,5 с. Фактическое расхождение между результатами параллельного определения двух навесок составляет 10 с, что не превышает допускаемого расхождения между ними. Среднее арифметическое значение (155 с) принимают за окончательный результат определения числа падения.

При контрольном (повторном) определении числа падения допускаемое расхождение между контрольным (повторным) и первоначальным определением не должно превышать 10% от их средней арифметической величины. При контрольном (повторном) определении за окончательный результат принимают результат первоначального определения, если расхождение между результатами контрольного (повторного) и первоначального определений не превышает допускаемого значения; если расхождение превышает допускаемое значение, за окончательный результат принимают результат контрольного (повторного) определения.

В *примере 2* результат первоначального определения составляет 150 с, контрольного (повторного) – 170 с. Среднее арифметическое значение – 160 с. Допускаемое расхождение от этого среднего значения составляет 16 с. Фактическое расхождение составляет 16 с.

Фактическое расхождение между результатами первоначального и контрольного (повторного) определений составляет 20 с, что превышает допускаемое расхождение. За окончательный результат определения числа падения принимают результат контрольного (повторного) определения – 170 с.

В *примере 3* результат первоначального определения составляет 150 с, контрольного (повторного) – 160 с. Среднее арифметическое значение – 155 с. Допускаемое расхождение составляет 15,5 с. Фактическое расхождение между результатами первоначального и контрольного (повторного) определений составляет 10 с, что не превышает допускаемого расхождения. За окончательный результат принимают результат первоначального определения – 150 с.

Округление результатов определения проводят следующим образом: если первая из отбрасываемых цифр равна или больше 5, то последнюю сохраняемую цифру увеличивают на единицу; если меньше 5, то ее оставляют без изменения [7].

Очевидно, что при таком подходе проведение многократных (повторных) измерений для серии опытов и соблюдение правил округления приводит к получению ожидаемых одинаковых (и/или) повторных результатов от одного определения к другому, случайный характер которых либо исключается, либо носит характер равномерного распределения. В связи с этим, для изучения числа падения как случайной величины была получена совокупность малых выборок для проверки гипотезы о том, что функция распределения такой случайной величины есть $F(x)$, для чего необходимо было построить эмпирическую функцию распределения $F_n(x)$ для сравнения с ней путем применения непараметрического критерия согласия ω^2 Мизерса

$$\omega^2 = \int_{-\infty}^{\infty} [F_n(x) - F(x)]^2 dF(x) \quad (4)$$

предполагая наличие у $F(x)$ производной, т. е. плотности вероятности, имеем выражение

$$\partial F(x) = F'(x) dx = f(x) dx \quad (5)$$

Алгоритм применения непараметрического критерия согласия ω^2 Мизерса при проверке гипотезы нормальности по совокупности малых выборок заключался в следующем. Вначале выборки преобразовывали в вариационный ряд $x_1 < x_2 < x_3 < \dots < x_n$ и разбивали всю область интегрирования на интервалы $(-\infty, x_1)$, (x_1, x_2) , ..., (x_{n-1}, x_n) , $(x_n, +\infty)$.

Принимая во внимание выражение (4), получали

$$\omega^2 = \int_{-\infty}^{x_1} [0 - F(x)]^2 \partial F + \sum_{k=1}^{n-1} \int_{x_k}^{x_{k+1}} \left[\frac{k}{n} - F(x) \right]^2 \partial F +$$

$$+ \int_{x_n}^{+\infty} [1 - F(x)]^2 \partial F.$$

$$\int_{-\infty}^{x_1} F^2(x) \partial F = \frac{F^3(x)}{3} \Big|_{-\infty}^{x_1} = \frac{F^3(x_1)}{3};$$

$$\int_{x_k}^{x_{k+1}} \left[\frac{k}{n} - F(x) \right]^2 \partial F = \left[\frac{F(x) - \frac{k}{n}}{3} \right]^3 \Big|_{x=x_k}^{x=x_{k+1}} =$$

$$= \frac{\left[F(x_{k+1}) - \frac{k}{n} \right]^3}{3} - \frac{\left[F(x_k) - \frac{k}{n} \right]^3}{3}$$

$$\int_{x_n}^{+\infty} [1 - F(x)]^2 \partial F = \frac{[1 - F(x_n)]^3}{3}$$

После преобразования выражение (7) имело вид

$$\omega^2 = \frac{F^3(x_1)}{3} + \sum_{k=1}^{n-1} \left[\frac{F(x_{k+1}) - \frac{k}{n}}{3} \right]^3 -$$

$$- \sum_{k=1}^{n-1} \left[\frac{F(x_k) - \frac{k}{n}}{3} \right]^3 + \frac{[1 - F(x_n)]^3}{3}$$

Объединив члены, зависящие от $F(x_k)$ с данными $k = 1, 2, \dots, n$, находящиеся в двух суммах (8), получили

$$\omega^2 = \frac{1}{12n^2} + \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left[F(x_k) - \frac{2k-1}{2n} \right]^2 \quad (9)$$

Равенство (9) показывает, каким образом критерий ω^2 Мизерса зависит от отдельных членов вариационного ряда. Критические значения для величины $n\omega^2$, т. е. квантили $(n\omega^2)_{1-p}$ приведены в таблице 1.

Таблица 1.
Квантили распределения $n\omega^2$ [1]

Table 1. Quantiles of the distribution $n\omega^2$ [1]			
p	$(n\omega^2)_{1-p}$	p	$(n\omega^2)_{1-p}$
0,5	0,1184	0,05	0,4614
0,4	0,1467	0,03	0,5489
0,3	0,1843	0,02	0,6198
0,2	0,2412	0,01	0,7435
0,1	0,3473	0,001	1,1679

Если вычисленное значение $n\omega^2$ меньше табличного $(n\omega^2)_{1-p}$, то гипотеза о совпадении теоретического закона распределения $F(x)$ с эмпирическим (выборочным) $F_n(x)$ не отвергается, но при $n\omega^2$ больше табличного $(n\omega^2)_{1-p}$ гипотеза отклоняется. Отмечается, что распределение $n\omega^2$ значительно быстрее, чем χ^2 сходится к предельному закону, особенно

в области больших значений ω^2 , существенных для вероятностной оценки.

Результаты

Выборки опытных данных числа падения овсяной муки сведены в таблицу 2. На первом этапе исследования выбирали из результатов четырех параллельных определений первое значение показателя числа падения x_1 и вычисляли для каждого из 12 выборок величину относительного отклонения τ по формуле (1), результаты расчетов приведены в таблице 3. Далее следовала проверка гипотезы нормальности распределения выборок при помощи непараметрического критерия согласия ω^2 Мизерса, для чего расположили полученные значения τ в вариационный ряд, и для каждого элемента ряда определяли значения эмпирической функции распределения $F_n(\tau)$ по формуле

$$F_n(\tau) = \frac{2k-1}{2n} \quad (10)$$

где $n = 12$, $k = 1, 2, \dots, n$ и значения теоретической функции $F(\tau)$ по формуле (3).

Результаты расчета теоретической и эмпирической функций распределения для первого определения выборки сведены в таблице 4, где значения τ расположены в порядке возрастания.

Таблица 2.
Выборки опытных данных числа падения овсяной муки

Table 2.
Sampling of experimental data of the falling number of oatmeal

№.	x_1	x_2	x_3	x_4
1	336	342	345	336
2	342	340	334	340
3	336	341	341	342
4	332	343	332	351
5	342	346	339	348
6	347	348	342	349
7	332	333	336	334
8	335	341	336	334
9	347	353	339	335
10	337	340	333	333
11	338	335	330	331
12	342	334	332	339

Таблица 3.
Расчет относительного отклонения для первого определения выборки

Table 3.
Calculation of the relative deviation for the first sample definition

№.	$\bar{X}$	S_k	$x_1 - \bar{X}$	τ_1
1	339,75	3,897	-3,75	-0,962
2	339,00	3,000	+3,00	+1,000
3	340,00	2,345	+4,00	+1,706
4	339,50	8,016	-7,50	-0,936
5	343,75	3,491	-1,75	-0,501
6	346,50	2,693	+0,50	+0,186
7	333,75	1,479	-1,75	-1,183
8	336,50	2,693	-1,50	-0,557
9	343,50	6,982	+3,50	+0,501
10	335,75	2,947	+1,25	+0,424
11	333,50	3,202	+4,50	+1,405
12	336,75	3,961	+5,25	+1,325

Таблица 4.

Расчет теоретической и эмпирической функций распределения для первого определения выборки

Table 4.

Calculation of theoretical and empirical distribution functions for the first determination of the sample

№	τ_1	$F(\tau_1)$	$F_n(\tau_1)$	$F(\tau_1) - F_n(\tau_1)$	$[F(\tau_1) - F_n(\tau_1)]^2$
1	-0,962	+ 0,0087	+ 0,0417	- 0,0330	0,001089
2	+ 1,000	+ 0,1830	+ 0,1250	+ 0,0580	0,003364
3	- 1,706	+ 0,2567	+ 0,2083	+ 0,0484	0,002343
4	- 0,936	+ 0,2654	+ 0,2917	- 0,0263	0,000692
5	- 0,501	+ 0,3917	+ 0,3750	+ 0,0167	0,000279
6	+ 0,186	+ 0,3554	+ 0,4583	- 0,1029	0,010588
7	- 1,183	+ 0,5537	+ 0,5417	+ 0,0120	0,000144
8	- 0,557	+ 0,6224	+ 0,6250	- 0,0026	0,000007
9	+ 0,501	+ 0,6446	+ 0,7083	- 0,0637	0,004058
10	+ 0,424	+ 0,7887	+ 0,7917	- 0,0030	0,000009
11	+ 1,405	+ 0,8825	+ 0,8750	+ 0,0075	0,000056
12	+ 1,325	+ 0,8750	+ 0,9056	- 0,0306	0,000936
Σ					0,023565

Вычисления производили, принимая во внимание, что $f(\tau) = 0$ при $\tau < -\sqrt{3}$, откуда имеем

$$F(\tau) = \int_{-\sqrt{3}}^{\tau_k} \frac{1}{2\sqrt{3}} \partial \tau = \frac{1}{2\sqrt{3}} (\tau_k + \sqrt{3}), \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

Отсюда, при $\tau_1 = -1,706$

$$F(-1,706) = \frac{-1,706 + \sqrt{3}}{2\sqrt{3}} = \frac{-1,706 + 1,732}{2 \cdot 1,732} = 0,0087.$$

Значение эмпирической функции определяли по формуле (10), при $\tau = \tau_1$ получили

$$F_n(\tau_1) = \frac{2 \times 1 - 1}{2 \times 12} = \frac{1}{24} = 0,0417.$$

Расчет статистики $n\omega^2$ производили по упрощенной формуле

$$n\omega^2 = \frac{1}{12n} + \sum_{k=1}^n \left[F(\tau_k) - \frac{2k-1}{2n} \right]^2 \quad (12)$$

Подставив значение $n = 12$ и полученную из таблицы 4 сумму $[F(\tau_1) - F_n(\tau_1)]^2$ получили значение статистики $n\omega^2$

$$n\omega^2 = \frac{1}{12 \times 2} + 0,023565 = 0,03051 \text{ (для первого определения).}$$

Для уровня значимости $p = 0,05$ табличное значение $(n\omega^2)_{1-p} = 0,4614$, а вычисленное значение $n\omega^2 (0,03051)$ меньше табличного. Следовательно, гипотеза нормального распределения малых выборок по первому определению числа падения овсяной муки не отклоняется. Для проверки данного утверждения в отношении второго, третьего и четвертого определений произвели дополнительные этапы расчетов, результаты которых приведены в таблицах 5–10.

Таблица 5.

Расчет относительного отклонения для второго определения выборки

Table 5.

Calculation of the relative deviation for the second sample definition

№ выборки Sample No.	$\bar{X}$	S_k	$x_3 - \bar{X}$	τ_3
1	339,75	3,897	+ 2,25	+ 0,577
2	339,00	3,000	+ 1,00	+ 0,333
3	340,00	2,345	+ 1,00	+ 0,426
4	339,50	8,016	+ 3,50	+ 0,437
5	343,75	3,491	+ 2,25	+ 0,645
6	346,50	2,693	+ 1,50	+ 0,557
7	333,75	1,479	- 0,75	- 0,507
8	336,50	2,693	+ 4,50	+ 1,671
9	343,50	6,982	+ 9,50	+ 1,361
10	335,75	2,947	+ 4,25	+ 1,442
11	333,50	3,202	- 0,50	- 0,156
12	336,75	3,961	- 2,75	- 0,694

Таблица 6.

Расчет теоретической и эмпирической функций распределения для второго определения выборки

Table 6.

Calculation of theoretical and empirical distribution functions for the second determination of the sample

№ выборки Sample No.	τ_3	$F(\tau_3)$	$F_n(\tau_3)$	$F(\tau_3) - F_n(\tau_3)$	$[F(\tau_3) - F_n(\tau_3)]^2$
1	- 0,694	+ 0,2997	+ 0,0417	+ 0,2580	0,066564
2	- 0,507	+ 0,3536	+ 0,1250	+ 0,2286	0,052258
3	- 0,156	+ 0,4550	+ 0,2083	+ 0,2467	0,060861
4	+ 0,333	+ 0,5961	+ 0,2917	+ 0,3044	0,092659
5	+ 0,426	+ 0,6230	+ 0,3750	+ 0,2480	0,061504
6	+ 0,437	+ 0,6262	+ 0,4583	+ 0,1679	0,028224
7	+ 0,557	+ 0,6608	+ 0,5417	+ 0,1191	0,014161
8	+ 0,557	+ 0,6666	+ 0,6250	+ 0,0416	0,001731
9	+ 0,645	+ 0,6862	+ 0,7083	- 0,0221	0,000488
10	+ 1,361	+ 0,8929	+ 0,7917	+ 0,1012	0,010241
11	+ 1,442	+ 0,9163	+ 0,8750	+ 0,0413	0,001706
12	+ 1,671	+ 0,9824	+ 0,9056	+ 0,0768	0,005898
Σ					0,396295

$$n\omega^2 = \frac{1}{12 \cdot 12} + 0,396295$$

$$= 0,4032 \text{ (для второго определения).}$$

Для уровня значимости $p = 0,05$ табличное значение $(n\omega^2)_{1-p} = 0,4614$, а вычисленное

значение $n\omega^2$ (0,4032), так же, как и для первого определения, меньше табличного. Отсюда, гипотеза нормального распределения малых выборок по второму определению числа падения овсяной муки не отклоняется.

Таблица 7

Расчет относительного отклонения для третьего определения выборки

Table 7

Calculation of the relative deviation for the third sample definition

№ выборки Sample No.	$\bar{x}$	S_k	$x_3 - \bar{x}$	τ_3
1	339,75	3,897	+ 5,25	+ 1,347
2	339,00	3,000	- 5,00	- 1,667
3	340,00	2,345	+ 1,00	+ 0,426
4	339,50	8,016	- 7,50	- 0,936
5	343,75	3,491	- 4,75	- 1,361
6	346,50	2,693	- 4,50	- 1,671
7	333,75	1,479	+ 2,25	+ 1,521
8	336,50	2,693	- 0,50	- 0,186
9	343,50	6,982	- 4,50	- 0,645
10	335,75	2,947	- 2,75	- 0,933
11	333,50	3,202	- 3,50	- 1,093
12	336,75	3,961	- 4,75	- 1,199

Таблица 8.

Расчет теоретической и эмпирической функций распределения для третьего определения выборки

Table 8.

Calculation of theoretical and empirical distribution functions for the third determination of the sample

№ выборки Sample No.	τ_3	$F(\tau_3)$	$F_n(\tau_3)$	$F(\tau_3) - F_n(\tau_3)$	$[F(\tau_3) - F_n(\tau_3)]^2$
1	- 1,671	+ 0,0176	+ 0,0417	- 0,0241	0,000581
2	- 1,677	+ 0,0188	+ 0,1250	- 0,1062	0,011278
3	- 1,361	+ 0,1071	+ 0,2083	- 0,1012	0,010241
4	- 1,199	+ 0,1539	+ 0,2917	- 0,1378	0,018989
5	- 1,093	+ 0,1845	+ 0,3750	- 0,1905	0,036290
6	- 0,936	+ 0,2298	+ 0,4583	- 0,2285	0,052212
7	- 0,933	+ 0,2307	+ 0,5417	- 0,3110	0,096721
8	- 0,645	+ 0,3138	+ 0,6250	- 0,3112	0,096845
9	- 0,186	+ 0,4463	+ 0,7083	- 0,2620	0,068644
10	+ 0,426	+ 0,6230	+ 0,7917	- 0,1687	0,028460
11	+ 1,347	+ 0,8889	+ 0,8750	+ 0,0139	0,000193
12	+ 1,521	+ 0,9391	+ 0,9056	+ 0,0335	0,001122
Σ					0,421576

Таблица 9.

Расчет относительного отклонения для четвертого определения выборки

Table 9.

Calculation of the relative deviation for the fourth sample definition

№ выборки Sample No.	$\bar{x}$	S_k	$x_4 - \bar{x}$	τ_4
1	339,75	3,897	- 3,75	- 0,962
2	339,00	3,000	+ 1,00	+ 0,333
3	340,00	2,345	+ 2,00	+ 0,853
4	339,50	8,016	+ 11,50	+ 1,435
5	343,75	3,491	+ 4,25	+ 1,217
6	346,50	2,693	+ 2,50	+ 0,928
7	333,75	1,479	+ 0,25	+ 0,169
8	336,50	2,693	- 2,50	- 0,928
9	343,50	6,982	+ 8,50	+ 1,217
10	335,75	2,947	- 2,75	- 0,933
11	333,50	3,202	- 2,50	- 0,781
12	336,75	3,961	+ 2,25	+ 0,568

$$n\omega^2 = \frac{1}{12 \cdot 12} + 0,421576$$

$$= 0,4285 \text{ (для третьего определения).}$$

Для уровня значимости $p = 0,05$ табличное значение $(n\omega^2)_{1-p} = 0,4614$, а вычисленное значение $n\omega^2$ (0,4285), так же, как и для первого и второго определений, меньше табличного. Отсюда, гипотеза нормального распределения малых выборок по третьему определению числа падения овсяной муки также не отклоняется.

Таблица 10.

Расчет теоретической и эмпирической функций распределения для четвертого определения выборки

Table 10.

Calculation of theoretical and empirical distribution functions for the fourth determination of the sample

№ выборки Sample No.	τ_3	$F(\tau_3)$	$F_n(\tau_3)$	$F(\tau_3) - F_n(\tau_3)$	$[F(\tau_3) - F_n(\tau_3)]^2$
1	-0,962	+0,2223	+0,0417	+0,1806	0,032616
2	-0,933	+0,2307	+0,1250	+0,1057	0,011173
3	-0,928	+0,2321	+0,2083	+0,0238	0,000566
4	-0,781	+0,2745	+0,2917	-0,0172	0,000296
5	+0,169	+0,5488	+0,3750	+0,1738	0,030206
6	+0,333	+0,5961	+0,4583	+0,1378	0,018989
7	+0,568	+0,6640	+0,5417	+0,1223	0,014957
8	+0,853	+0,7462	+0,6250	+0,1213	0,014714
9	+0,928	+0,7679	+0,7083	+0,0596	0,003552
10	+1,217	+0,8513	+0,7917	+0,0596	0,003552
11	+1,217	+0,8513	+0,8750	-0,0237	0,000562
12	+1,435	+0,9143	+0,9056	+0,0087	0,000076
Σ					0,131259

$$n\omega^2 = \frac{1}{12 \cdot 12} + 0,131259 = 0,1382 \text{ (для четвертого определения).}$$

Для уровня значимости $p = 0,05$ табличное значение $(n\omega^2)_{1-p} = 0,4614$, а вычисленное значение $n\omega^2$ (0,1382), так же как и для всех предыдущих определений, меньше табличного. Отсюда, гипотеза нормального распределения малых выборок по четвертому определению числа падения овсяной муки также не отклоняется.

В пользу полученных результатов свидетельствует формулировка другого критерия – критерия на отклонение от нормального распределения, служащего для проверки отклонения распределения вероятностей от нормального распределения. В стандарте ГОСТ Р ИСО 5479–2002 [8] «...критерий на отклонение от нормального распределения имеет нулевую гипотезу в том случае, когда выборка из n независимых наблюдений подчиняется одному и тому же нормальному распределению». Но такой критерий для проверки гипотезы используется преимущественно при необходимости сопоставления $\bar{x}$ выборочного с $\bar{x}$ теоретическим, полученным при помощи t -критерия, т. е. параметрического критерия. В противном случае, проверке подлежит простая гипотеза с задаваемой функцией распределения, с которой наблюдают согласие с наблюдаемой выборкой.

Обсуждение

Полученные в работе результаты согласуются с общепринятыми классическими представлениями о проверке статистической гипотезы о нормальном распределении выборок. Указанные в литературе методы синтеза новых статистических критериев для проверки гипотез малых выборок с помощью аналитических и нейросетевых подходов не лишены ряда недостатков. Например, в работе [9] приводится решение задачи по проверке гипотезы нормального распределения исследуемых данных на выборках объемом от 16 до 25 опытов, адаптированных

для осуществления многокритериального анализа. Однако, параллельно с ростом числа объединяемых статистических критериев (до 210) растут взаимные корреляционные связи между новыми синтезированными критериями, что ограничивает возможности указанного метода. Снижение корреляционной сцепленности искусственных нейронов добиваются объединением классических критериев не более трех с настройкой квантователей давать равные вероятности ошибок первого и второго рода [10]. В следующей работе [11] показана возможность оптимизации проверки гипотез нормальности или равномерности распределений малых выборок путем перехода от применения бинарных искусственных нейронов к троичным нейронам при совместном использовании пяти классических статистических критериев. Однако ограничением данного подхода служит использование синтетических статистических критериев при малых выборках в 16 опытов. Другой подход статистического анализа малых выборок путем синтеза новых статистических критериев включает операцию дифференцирования случайных данных малой выборки. Вероятность появления ошибок первого и второго родов снижается до 0,075, что допускается только для ряда приложений нейросетевой биометрии [12]. В данной работе вычисления произведены при $p = 0,05$, что обеспечивает достаточную точность изучаемого показателя (числа падения) в технических системах и не требует проведения синтеза статистического критерия для проверки гипотезы нормальности малых выборок.

Заключение

При проверке гипотезы нормальности малых выборок полагались на мнение специалистов, что уже при четырех повторностях измерений в малой выборке относительные отклонения в отдельных выборках в изучаемой совокупности могут подчиняться равномерному распределению, если исходные совокупности нормальны. Если число выборок достаточно

для анализа, то данное условие позволит выполнить проверку гипотезы нормальности. Как правило, при проверке гипотезы нормальности по большому числу малых выборок из каждой выборки случайным образом отбирается по одному значению только первых, вторых и т. д. измерений, допуская, тем самым, упрощение и случайный отбор данных. Отсюда, целью исследования явилась проверка гипотезы нормальности малых выборок каждого из четырех определений числа падения, поскольку округление значений прямых измерений исключает случайный характер величины или ее нормальное распределение в пользу равномерного. В данном случае, проверке подлежала простая гипотеза с задаваемой функцией распределения, с которой наблюдают согласие с наблюдаемой выборкой

при использовании непараметрического критерия согласия ω^2 Мизерса. При уровне значимости $p = 0,05$ табличное значение $(n\omega^2)_{1-p}$ больше вычисленного значения $n\omega^2$ для всех четырех определений. Поэтому гипотеза нормального распределения малых выборок для всех четырех определений (как случайных величин) числа падения овсяной муки не отклоняется.

Благодарности

Исследования выполнялись с использованием оборудования ЦПК «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 Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. М.: Высшая школа, 1978. 319 с.
- 2 Р 50.1.037–2002. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть II. Непараметрические критерии. М.: ИПК стандартов, 2002. 66 с.
- 3 Сокол Н.В., Казарцева А.Т., Санжаровская Н.С. Влияние на хлебопекарные свойства смесей пшеничной муки с продуктами переработки овса // Труды Кубанского государственного аграрного университета, 2014. № 49. С. 162–168.
- 4 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 (262–263). С. 44–46. doi: 10.26297/0579–3009.2018.2–3.11
- 5 Алексеев Б.В., Ефимова Д.В., Давыдова Л.В. Разработка технологии производства хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49. № 2. С. 193–200.
- 6 Шмалько Н.А. Автолитическая активность муки из крупяных культур // Научные труды КубГТУ. 2019. № 59. С. 29–40.
- 7 ГОСТ 27676–88. Зерно и продукты его переработки. Метод определения числа падения. М.: Стандартинформ, 2009. 5 с.
- 8 ГОСТ Р ИСО 5479–2002. Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения. М.: ИПК стандартов, 2002. 31 с.
- 9 Иванов А.И., Куприянов Е.Н. Синтез новых более мощных статистических критериев через мультипликативное объединение классических критериев Фроцини и Мурота-Такеучи с критерием Херста для проверки гипотезы малых выборок // Надежность. 2022. № 1. Т. 22. С. 52–55. doi: 10.21683/1729–2646–2022–22–1–52–55
- 10 Лукин В.С. Сравнение мощности обычной и логарифмической форм статистических критериев среднего гармонического при использовании для проверки гипотезы нормального распределения данных малой выборки // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2020. № 4 (56). С. 19–26. doi: 10.21685/2072–3059–2020–4–2
- 11 Иванов А.И., Савинов К.Н., Еременко Р.В. Эффект перехода от применения бинарных искусственных нейронов к троичным нейронам при совместном использовании пяти классических статистических критериев проверки гипотез нормальности или равномерности распределений малых выборок // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. 2022. № 3 (58). С. 59–67. doi: 10.17072/1993–0550–2022–3–59–67
- 12 Иванов А.И., Малыгин А.Ю., Полковникова С.А. Новый статистический критерий большой мощности, полученный дифференцированием случайных данных малой выборки // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2021. № 3 (59). С. 67–74. doi: 10.21685/2072–3059–2021–3–7
- 13 Jarman K.H. Beyond basic statistics: Tips, tricks, and techniques every data analyst should know. John Wiley & Sons, 2015.
- 14 Lee M.H., Lee J.S., Lee J.Y., Kim Y.H. et al. Uncertainty analysis of a GHG emission model output using the block bootstrap and Monte Carlo simulation // Sustainability. 2017. V. 9. № 9. P. 1522. doi: 10.3390/su9091522
- 15 Ribeiro L.F.O., Vitória E.L.D., Soprani Júnior G.G., Chen P. et al. Impact of Operational Parameters on Droplet Distribution Using an Unmanned Aerial Vehicle in a Papaya Orchard // Agronomy. 2023. V. 13. № 4. P. 1138. doi: 10.3390/agronomy13041138
- 16 Yeater K.M., Duke S.E., Riedell W.E. Multivariate analysis: greater insights into complex systems // Agronomy Journal. 2015. V. 107. № 2. P. 799–810. doi: 10.2134/agronj14.0017
- 17 Munkholm L. J., Heck R. J., Deen B. Long-term rotation and tillage effects on soil structure and crop yield // Soil and Tillage Research. 2013. V. 127. P. 85–91. doi: 10.1016/j.still.2012.02.007
- 18 Tsitko I., Wiik-Miettinen F., Mattila O., Rosa-Sibakov N. et al. A small in vitro fermentation model for screening the gut microbiota effects of different fiber preparations // International journal of molecular sciences. 2019. V. 20. № 8. P. 1925. doi:10.3390/ijms20081925
- 19 Tosh S.M. Review of human studies investigating the post-prandial blood-glucose lowering ability of oat and barley food products // European journal of clinical nutrition. 2013. V. 67. № 4. P. 310–317. doi: 10.1038/ejcn.2013.25
- 20 Carranza-García M., García-Gutiérrez J., Riquelme J.C. A framework for evaluating land use and land cover classification using convolutional neural networks // Remote Sensing. 2019. V. 11. № 3. P. 274. doi: 10.3390/rs11030274

References

- 1 Akhnazarova S.L., Kafarov V.V. Optimization of experiment in chemistry and chemical technology. Moscow, Higher School, 1978. 319 p. (in Russian).
- 2 Р 50.1.037–2002. Applied statistics. Rules for verifying the agreement of the experimental distribution with the theoretical one. Part II. Nonparametric criteria. M., IPK standards, 2002. 66 p. (in Russian).
- 3 Sokol N.V., Kazartseva A.T., Sanzharovskaya N.S. Influence on baking properties of wheat flour mixtures with oat processing products. Proceedings of the Kuban State Agrarian University, 2014. no. 49. pp. 162–168. (in Russian).

- 4 Vershinina O.L., Zemaeva E.A., Bondarenko A.N. The influence of a flour composite mixture on the baking properties of rye flour. *Izvestia of higher educational institutions. Food technology*. 2018. no. 2-3 (262-263). pp. 44-46. doi: 10.26297/0579-3009.2018.2.3.11 (in Russian).
- 5 Alekseevna B.V., Efimova D.V., Davydova L.V. Development of technology for the production of bakery products of increased nutritional value. *Technique and technology of food production*. 2019. vol. 49. no. 2. pp. 193-200. (in Russian).
- 6 Shmal'ko N.A. Autolytic activity of flour from cereals. *Scientific works of KubSTU*. 2019. no. S9. pp. 29-40. (in Russian).
- 7 GOST 27676-88. Grain and its processed products. Method for determining the number of falls. M., Standartinform, 2009. 5 p. (in Russian).
- 8 GOST R ISO 5479-2002. Statistical methods. Checking the deviation of the probability distribution from the normal distribution. M., IPK Standards, 2002. 31 p. (in Russian).
- 9 Ivanov A.I., Kupriyanov E.N. Synthesis of new more powerful statistical criteria through multiplicative combination of classical Frocini and Murota-Takeuchi criteria with the Hurst criterion for testing the hypothesis of small samples. *Reliability*. 2022. no. 1. vol. 22. pp. 52-55. doi: 10.21683/1729-2646-2022-22-1-52-55 (in Russian).
- 10 Lukin V.S. Comparison of the power of the usual and logarithmic forms of statistical criteria of the harmonic mean when used to test the hypothesis of the normal distribution of small sample data. *Izvestiya higher educational institutions. Volga region. Technical sciences*. 2020. no. 4 (56). pp. 19-26. doi: 10.21685/2072-3059-2020-4-2 (in Russian).
- 11 Ivanov A.I., Savinov K.N., Eremenko R.V. The effect of transition from the use of binary artificial neurons to ternary neurons with the combined use of five classical statistical criteria for testing hypotheses of normality or uniformity of distributions of small samples. *Bulletin of Perm University. Mathematics. Mechanics. Computer science*. 2022. no. 3 (58). pp. 59-67. doi: 10.17072/1993-0550-2022-3-59-67 (in Russian).
- 12 Ivanov A.I., Malygin A.Yu., Polkovnikova S.A. A new statistical criterion of high power obtained by differentiating random data of a small sample. *Izvestia of higher educational institutions. Volga region. Technical sciences*. 2021. no. 3 (59). pp. 67-74. doi: 10.21685/2072-3059-2021-3-7 (in Russian).
- 13 Jarman K.H. *Beyond basic statistics: Tips, tricks, and techniques every data analyst should know*. John Wiley & Sons, 2015.
- 14 Lee M.H., Lee J.S., Lee J.Y., Kim Y.H. et al. Uncertainty analysis of a GHG emission model output using the block bootstrap and Monte Carlo simulation. *Sustainability*. 2017. vol. 9. no. 9. pp. 1522. doi: 10.3390/su9091522
- 15 Ribeiro L.F.O., Vitoria E.L.D., Soprani Júnior G.G., Chen P. et al. Impact of Operational Parameters on Droplet Distribution Using an Unmanned Aerial Vehicle in a Papaya Orchard. *Agronomy*. 2023. vol. 13. no. 4. pp. 1138. doi: 10.3390/agronomy13041138
- 16 Yeater K.M., Duke S.E., Riedell W.E. Multivariate analysis: greater insights into complex systems. *Agronomy Journal*. 2015. vol. 107. no. 2. pp. 799-810. doi: 10.2134/agronj14.0017
- 17 Munkholm L. J., Heck R. J., Deen B. Long-term rotation and tillage effects on soil structure and crop yield. *Soil and Tillage Research*. 2013. vol. 127. pp. 85-91. doi: 10.1016/j.still.2012.02.007
- 18 Tsitko I., Wiik-Miettinen F., Mattila O., Rosa-Sibakov N. et al. A small in vitro fermentation model for screening the gut microbiota effects of different fiber preparations. *International journal of molecular sciences*. 2019. vol. 20. no. 8. pp. 1925. doi: 10.3390/ijms20081925
- 19 Tosh S.M. Review of human studies investigating the post-prandial blood-glucose lowering ability of oat and barley food products. *European journal of clinical nutrition*. 2013. vol. 67. no. 4. pp. 310-317. doi: 10.1038/ejcn.2013.25
- 20 Carranza-García M., García-Gutiérrez J., Riquelme J.C. A framework for evaluating land use and land cover classification using convolutional neural networks. *Remote Sensing*. 2019. vol. 11. no. 3. pp. 274. doi: 10.3390/rs11030274

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@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8939-0265>

Игорь А. Никитин д.т.н., доцент, зав. кафедрой биотехнологий пищевых продуктов из растительного и животного сырья, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, nikito.igor@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8988-5911>

Дарья А. Велина младший научный сотрудник, кафедра биотехнологий пищевых продуктов из растительного и животного сырья, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, d.velina@mgutn.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2398-3375>

Лилия Ф. Пономарева к.б.н., доцент, зав. кафедрой технологии пищевых производств, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Смоленская, 34, г. Мелеуз, 453856, Россия, eponomareva@mgutn.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6645-6356>

Сергей Е. Терентьев к.с.-х.н., врио ректора, Смоленская государственная сельскохозяйственная академия, ул. Большая Советская, 10/2, г. Смоленск, 214000, Россия, seterentiev@sgsha.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8546-7253>

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

Natalya A. Shmal'ko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food engineering department, Kuban State Technological University, Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russia, kafedra-tith@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8939-0265>

Igor A. Nikitin Dr. Sci. (Engin.), 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, 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, Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, d.velina@mgutn.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2398-3375>

Lilya F. Ponomareva Cand. Sci. (Biology), associate professor, head of department of food production technologies, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management, Smolenskaya st., 34, Meleuz, 453856, Russia, eponomareva@mgutn.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6645-6356>

Sergey E. Terentiev Cand. Sci. (Agric.), interim rector, Smolensk State Agricultural Academy, Bol'shaya Sovetskaya str., 10/2, Smolensk, 214000, Russia, seterentiev@sgsha.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8546-7253>

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 25/12/2022	После редакции 25/01/2023	Принята в печать 20/02/2023
Received 25/12/2022	Accepted in revised 25/01/2023	Accepted 20/02/2023

Выборочное распределение наблюдений числа падения кукурузной муки

Наталья А. Шмалько	¹	kafedra-tith@ya.ru	 0000-0002-8939-0265
Игорь А. Никитин	²	nikito.igor@gmail.com	 0000-0002-8988-5911
Шерзодхон Муталлибзода	²	mutallibzoda@bk.ru	 0000-0003-3855-9494
Андрей В. Гончаров	²	a.goncharov@mgutm.ru	 0000-0002-3024-495X
Елена В. Кузнецова	³	mail@mfmgtutu.ru	 0000-0002-2352-7521

¹ Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия

² Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия

³ Башкирский институт технологий и управления, ул. Смоленская, 34, г. Мелеуз, 453856, Россия

Аннотация. Выборочное распределение наблюдений изучается с целью исследования вариационного признака, при этом измеряемую величину рассматривают как случайную. В практических целях эмпирическое распределение случайной величины оценивается близостью к теоретическому закону. Проверке подвергается статистическая гипотеза принадлежности выборочных данных к генеральной совокупности при помощи критериев согласия. Объектом данного исследования послужили наблюдения числа падения кукурузной муки, являющейся рецептурным компонентом хлебобулочных изделий. В мировой практике метод числа падения для сырья из кукурузы используется в качестве эталонного для установления референсных интервальных значений, обнаруживая вариацию исследуемого признака. Целью данной работы явилось изучение выборочного распределения наблюдений числа падения кукурузной муки для определения репрезентативности выборки опытных данных. Полагаясь на теорему Гливленко о целесообразности группирования выборочных данных в вариационный ряд с целью замены функции распределения генеральной совокупности на выборочную функцию распределения, вначале исследований произвели преобразование выборочных данных в статистический ряд. Материалом исследования послужил промышленный образец кукурузной муки тонкого помола, соответствующий требованиям ГОСТ 14176-69 «Мука кукурузная. Технические условия». Число падения изучали при реализации стандартного метода на приборе ПЧИ-99 по ГОСТ ISO 2093-2016 «Зерно и продукты его переработки. Определение числа падения методом Хагберга-Пертена». Интервальный вариационный ряд изучали по широкому перечню характеристик: показателям центра распределения (выборочная средняя, мода, медиана, квартили, децили), показателям вариации (размах, среднее линейное отклонение, дисперсия, несмещенная оценка дисперсии, среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации, линейный коэффициент вариации, коэффициент осцилляции), показателям формы распределения (относительный показатель квартильной вариации, коэффициент асимметрии, структурный коэффициент асимметрии Пирсона, показатель эксцесса), показателям интервального оценивания центра генеральной совокупности (доверительные интервалы для генерального среднего, интервальное оценивание генеральной доли, т.е. вероятности события). Для изучаемой случайной величины числа падения кукурузной муки гипотезу о нормальном распределении доказали с помощью показателей асимметрии и эксцесса, а также при применении правила трех сигм. В результате расчетов установили репрезентативность выборочных данных в отношении варьирования изучаемого признака в генеральной совокупности.

Ключевые слова: случайная величина, выборочное распределение, наблюдение, число падения, кукурузная мука.

Sample distribution of observations of the falling number of corn flour

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
Sherzodkhon Mutallibzoda	²	mutallibzoda@bk.ru	 0000-0003-3855-9494
Andrey V. Goncharov	²	a.goncharov@mgutm.ru	 0000-0002-3024-495X
Elena V. Kuznetsova	³	mail@mfmgtutu.ru	 0000-0002-2352-7521

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

K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University), Bashkir Institute of

³ Technology and Management, Smolenskaya st., 34, Meleuz, 453856, Russia

Для цитирования

Шмалько Н.А., Никитин И.А., Муталлибзода Ш., Гончаров А.В., Кузнецова Е.В. Выборочное распределение наблюдений числа падения кукурузной муки // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 127–137. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-127-137

For citation

Shmal'ko N.A., Nikitin I.A., Mutallibzoda Sh., Goncharov A.V., Kuznetsova E.V. Sample distribution of observations of the falling number of corn flour. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 127–137. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-127-137

Abstract. The sample distribution of observations is studied in order to study the variational feature, while the measured value is considered as random. For practical purposes, the empirical distribution of a random variable is estimated by proximity to the theoretical law. The statistical hypothesis of the sample data belonging to the general population is tested using the consent criteria. The object of this study was the observation of the falling number of corn flour, which is a prescription component of bakery products. In world practice, the falling number method for raw materials from corn is used as a reference for establishing reference interval values, detecting a variation of the studied trait. The purpose of this work was to study the sample distribution of observations of the falling number of corn flour to determine the representativeness of the sample of experimental data. Relying on Glivenko's theorem on the expediency of grouping sample data into a variation series in order to replace the distribution function of the general population with a sample distribution function, at the beginning of the research, the sample data were converted into a statistical series. The research material was an industrial sample of fine-ground corn flour that meets the requirements of GOST 14176-69 "Corn flour. Technical conditions". The falling number was studied when implementing the standard method on the PPP-99 device according to GOST ISO 2093-2016 "Grain crops and products of their processing. Determination of the falling number according to Hagberg-Perten". The interval variation series was studied according to a wide list of characteristics: distribution center indicators (sample mean, mode, median, quartiles, deciles), variation indicators (span, average linear deviation, variance, unbiased variance estimate, mean square deviation, coefficient of variation, linear coefficient of variation, oscillation coefficient), distribution form indicators (relative quartile variation index, asymmetry coefficient, Pearson structural asymmetry coefficient, kurtosis index), indicators of interval estimation of the center of the general population (confidence intervals for the general average, interval estimation of the general share, i.e. the probability of an event). For the studied random variable of the falling number of corn flour, the hypothesis of a normal distribution was proved using the indicators of asymmetry and kurtosis, as well as using the 3-sigma rule. As a result of the calculations, the representativeness of the sample data with respect to the variation of the studied trait in the general population was established

Keywords: random variable, sample distribution, observation, falling number, corn flour.

Введение

Проведение эмпирических исследований предусматривается для установления статистических закономерностей измеряемой величины, количественно характеризующей исследуемый вариационный признак, а саму «...измеряемую в испытаниях величину рассматривают как случайную...», распределение которой соответствует теоретическому закону. Отмечается, что «...если изучаемый признак измеряется физическими методами, то его можно рассматривать как непрерывную случайную величину с неизвестной функцией распределения по заданному алгоритму» [1]. На практике возникает задача установления по экспериментальным данным закона распределения измеренной случайной величины путем выбора модели, адекватно ее описывающей: «...в результате в качестве наиболее вероятного закона для исходной выборки выбирается тот, для которого значение функции распределения будет максимальным» [2]. Получив нормальное распределение наблюдаемой случайной величины, далее прибегают к проверке гипотезы относительно параметров распределения генеральной совокупности, т. е. к проверке основной гипотезы, проверяемой при помощи критериев согласия. Считается, что «...критерии согласия позволяют определить вероятность того, что при гипотетическом законе распределения наблюдающееся в рассматриваемой выборке отклонение вызывается случайными причинами, а не ошибкой в самой гипотезе. Если такая вероятность велика, то отклонение от гипотетического закона распределения следует признать случайным и считать, что гипотеза о предполагаемом законе распределения не опровергается... Вероятностный характер критериев согласия позволяет утверждать, что гипотеза не противоречит данным опыта в случае, если вероятность наблюдаемого отклонения от гипотетического закона распределения велика, и напротив, если эта

вероятность мала, то статистическая гипотеза не согласуется с опытными данными» [3].

Объект данного исследования – наблюдения числа падения кукурузной муки, являющейся рецептурным компонентом хлебобулочных изделий [4–12], в том числе с диетической направленностью [13–16], в мировой практике выступает как статистический материал для получения референсных (интервальных) значений показателя числа падения крахмалистых растительных ресурсов [17, 18] с надлежащей точностью метода при коэффициенте вариации не выше 1,4–1,7%. Однако представленные в указанных работах результаты не содержат убедительное доказательство проверки статистической гипотезы о равенстве средних двух выборок, на основании которых можно сделать выводы о необходимости проведения серии опытов с целью достижения желаемых интервальных значений измеряемой величины. В подобных экспериментах «...внутригрупповая вариация определяет степень различия между средними в двух группах, тестируемых неоднократно...» [19], что характерно для зависимых выборок. Отсюда значительная часть внутригрупповой изменчивости в обеих группах объясняется авторами индивидуальными различиями субъектов при исключении ранее обнаруженной вариации. Для чистоты опыта укажем, что в перечисленных процедурах в качестве нулевой гипотезы рассматривается предположение о том, что средние в группах равны при выявлении зависимости между группировкой и зависимой переменными при требуемом уровне значимости p .

Целью данной работы явилось изучение выборочного распределения наблюдений числа падения кукурузной муки для определения репрезентативности выборки опытных данных. Определение параметров функции распределения случайной величины, получаемой по выборке, позволяет сравнить их с таковыми для генеральной

совокупности, распределенной по теоретическому закону. С помощью теоремы Гливенко ранее доказано, что при достаточно большой выборке случайной величины, сгруппированной в вариационный ряд, «...функцию распределения генеральной совокупности приближенно можно заменить выборочной функцией распределения» [3] в случае преобразования выборочных данных в статистический ряд.

В связи с этим, вместо полного определения случайной величины в виде закона распределения вероятностей прибегают «...к установлению числовых характеристик – вещественных чисел, выражающих характерные особенности случайной величины и относимые к ее моментам» [3]. Начальный момент первого порядка оказывается математическим ожиданием (или средним значением) случайной величины. Первый центральный момент всегда равен нулю, а второй центральный момент является дисперсией, квадратный корень из которого стандартом или средним квадратичным отклонением. Третий центральный момент, разделенный на стандарт в кубе, служит коэффициентом асимметрии, а четвертый центральный момент, разделенный на стандарт в четвертой степени, соответственно, коэффициентом эксцесса. Указанные моменты относят к общим (интегральным) характеристикам распределения, но немаловажную роль для описания характеристик случайной величины отводят и квантилям, т. е. значениям, которые заданная случайная величина не превышает с фиксированной вероятностью.

Материалы и методы

Материалом исследования послужил промышленный образец кукурузной муки тонкого помола, соответствующего требованиям ГОСТ 14176–69 [20] (ПФ «Радуга», ст. Северская, Краснодарский край). Показатели качества кукурузной муки соответствовали требованиям, представленным в таблице 1. Число падений изучали при реализации стандартного метода на приборе ПЧП-99 и определяли как «...время, необходимое для перемешивания водно-мучной суспензии мешалкой и ее падения с верхнего до нижнего положения в вискозиметрической пробирке» при нагревании и клейстеризации суспензии в кипящей водяной бане [21].

Для проведения исследования выборочных данных наблюдений числа падения кукурузной муки применили метод «сгруппированных данных» для получения интервального вариационного ряда с показателями центра распределения (выборочная средняя, мода, медиана, квартили, децили), показателями вариации (размах, среднее линейное отклонение, дисперсия, несмещенная оценка дисперсии, среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации, линейный коэффициент

вариации, коэффициент осцилляции), показателями формы распределения (относительный показатель квартильной вариации, коэффициент асимметрии, структурный коэффициент асимметрии Пирсона, показатель эксцесса), показателями интервального оценивания центра генеральной совокупности (доверительные интервалы для генерального среднего, интервальное оценивание генеральной доли, т. е. вероятности события). Для изучаемой случайной величины числа падения кукурузной муки гипотезу о нормальном распределении проверяли с помощью показателей асимметрии и эксцесса, а также при применении правила трех сигм. Изучение вариационного интервального ряда для выборочных данных производили в онлайн-калькуляторе «Показатели вариации» (<https://math.semestr.ru/group/variations.php>).

Результаты

Исходные экспериментальные данные, преобразованные в интервальный вариационный ряд, сведены в таблицу 2. Рассчитанные характеристики интервального вариационного ряда (показатели центра распределения, вариации и формы распределения) приведены ниже. Расчет средней взвешенной (выборочной средней) произведен по формуле (1), моды – по формуле (2), медианы – по формуле (3), квартилей – по формулам (4, 5), децилей – по формулам (6, 7), среднего значения по способу моментов – по формуле (8), среднего квадрата отклонений по способу моментов – по формуле (9), среднеквадратичного отклонения – по формуле (10), размаха вариации – по формуле (11), среднего линейного отклонения – по формуле (12), дисперсии – по формуле (13), несмещенной оценки дисперсии – по формуле (14), оценки среднеквадратичного отклонения – по формуле (15), коэффициента вариации – по формуле (16), линейного коэффициента вариации – по формуле (17), коэффициента осцилляции – по формуле (18), коэффициента асимметрии – по формуле (19), среднеквадратичной ошибки коэффициента асимметрии – по формуле (20), структурного коэффициента асимметрии Пирсона – по формуле (21), коэффициента эксцесса – по формуле (22), среднеквадратичной ошибки коэффициента эксцесса – по формуле (23), доверительного интервала для генерального среднего – по формуле (24), стандартной ошибки выборки для среднего – по формуле (25), предельной ошибки выборки – по формуле (26), доверительного интервала для генеральной доли – по формуле (27). Проверку статистической гипотезы о принадлежности выборочных данных наблюдений числа падения кукурузной муки нормальному распределению наблюдений генеральной совокупности производили исходя из выполнения условия (28) и правила 3σ (29).

Таблица 1.

Требования к показателям качества кукурузной муки по ГОСТ 14176–69 [20]

Table 1.

Requirements for quality indicators of corn flour according to GOST 14176–69 [20]

Показатель Indicator		Характеристика Characteristics		
Цвет Colour		Белый или желтый White or yellow		
Запах Flavour		Свойственный кукурузной муке, без посторонних запахов, не затхлый, не плесневелый Characteristic of corn flour, odorless, not musty, not moldy		
Вкус Taste		Свойственный кукурузной муке, без посторонних привкусов, не кислый, не горький Characteristic of corn flour, without foreign flavors, not sour, not bitter		
Минеральная примесь Mineral impurity		При разжевывании муки не должно ощущаться хруста When chewing flour, there should be no crunch		
Влажность, %, не более Moisture, %, no more		15,0	15,0	15,0
Зольность в пересчете на сухое вещество, %, не более Ash content in terms of dry matter, %, no more		0,9	1,3	–
Жир в пересчете на сухое вещество, %, не более Fat in terms of dry matter, %, no more		2,5	3,0	–
Крупность помола: Fineness of grinding:				
остаток на сите из шелковой ткани № 23 по ГОСТ 4403, не более the residue on the silk fabric sieve No. 23 according to GOST 4403, no more		2		2
остаток на сите из проволочной сетки № 56 по ТУ 14–4–1374, не более the residue on the wire mesh sieve No. 56 according to TU 14–4–1374, no more		–		–
проход через сито из шелковой ткани № 32 по ГОСТ 4403, не менее passage through a silk fabric sieve No. 32 according to GOST 4403, at least		30	–	30
Металломагнитная примесь, мкг в 1 кг муки Metallomagnetic admixture, mcg in 1 kg of flour размером отдельных частиц в наибольшем линейном измерении не более 0,3 мм и (или) массой не более 0,4 мг, не более the size of individual particles in the largest linear dimension is not more than 0.3 mm and (or) the mass is not more than 0.4 mg, not more		3	3	3
размером и массой отдельных частиц более указанных выше значений the size and mass of individual particles are more than the above values		Не допускается Not allowed		
Зараженность вредителями хлебных запасов Pest infestation of grain stocks				
Загрязненность вредителями вредных запасов Pest contamination of harmful stocks				

Средняя взвешенная (выборочная средняя):

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i f_i}{\sum f_i} = \frac{333,5 \cdot 3 + 338 \cdot 6 + 342 \cdot 7 + 345,5 \cdot 2 + 349,5 \cdot 2}{20} = (1)$$

$$= \frac{6812,5}{20} = 340,625$$

Мода как наиболее часто встречающееся значение признака у единиц данной совокупности:

$$M_0 = x_0 + h \frac{f_2 - f_1}{(f_2 - f_1) + (f_2 - f_3)} = (2)$$

$$= 341 + 2 \frac{7 - 6}{(7 - 6) + (7 - 2)} = 341,333,$$

где x_0 – начало модального интервала; h – величина интервала; f_2 – частота, соответствующая модальному интервалу; f_1 – предмодальная частота; f_3 – послемодальная частота.

Выбираем в качестве начала интервала 341, так как именно на этот интервал приходится наибольшее количество, определили, что наиболее часто встречающееся значение ряда – 341,333.

Медиана служит характеристикой при асимметричном распределении данных, т. к. при наличии их «выбросов» более устойчива к воздействию отклоняющихся из них:

$$M_e = x_0 + \frac{h}{f_{me}} \left(\frac{\sum f_i}{2} - S_{me-1} \right) = (3)$$

$$= 341 + \frac{2}{7} \left(\frac{20}{2} - 9 \right) = 341,286 .$$

Медианным является интервал 341–343, т. к. в этом интервале накопленная частота S больше медианного номера. Медианным называется первый интервал, накопленная частота S которого превышает половину общей суммы частот. Расчет показал, что 50% единиц совокупности будут меньше по величине 341,286.

Таблица 2.

Характеристики интервального вариационного ряда наблюдения числа падения кукурузной муки

Table 2.

Characteristics of the interval variation series of observation of the falling number of corn flour

Интервал Interval	Сер. интервала, $x_{\text{центр}}$ Middle of interval, x_{centre}	Количество, f_i Quantity, f_i	$x_i \cdot f_i$	Накопленная частота, S Accumulated frequency, S	$ x - x_{\text{ср}} \cdot f_i$	$(x - x_{\text{ср}})^2 \cdot f_i$	Относительная частота, f_i/f Relative frequency, f_i/f
331–335	333,5	3	1000,5	3	21,375	152,297	0,15
336–340	338	6	2028	9	15,75	41,344	0,3
341–343	342	7	2394	16	9,625	13,234	0,35
344–347	345,5	2	691	18	9,75	47,531	0,1
348–351	349,5	2	699	20	17,75	157,531	0,1
Итого Total		20	6812,5		74,25	411,938	1

Квартили, как значения признака в ранжированном ряду распределения, выбраны таким образом, что 25% единиц совокупности меньше по величине квартиля Q_1 , 25% будут заключены между квартилями Q_1 и Q_2 , 25% – между квартилями Q_2 и Q_3 , а остальные 25% превосходят квартиль Q_3 :

$$Q_1 = x_0 + \frac{h}{f_{me}} \left(\frac{\sum f_i}{4} - S_{me-1} \right) = (4)$$

$$= 336 + \frac{4}{6} \left(\frac{20}{4} - 3 \right) = 337,333 ,$$

$$Q_3 = x_0 + \frac{3h}{f_{me}} \left(\frac{3 \cdot \sum f_i}{4} - S_{me-1} \right) = (5)$$

$$= 341 + \frac{2}{7} \left(\frac{3 \cdot 20}{4} - 9 \right) = 342,714 .$$

Расчет показал, что 25% единиц совокупности меньше по величине 337,333, квартиль Q_2 совпадает с медианой и равен 341,286, а остальные 25% превосходят значение 342,714.

Децили, как значения признака в ранжированном ряду распределения, выбраны таким образом, что 10% единиц совокупности меньше по величине дециля D_1 , а 80% заключены между децилями D_1 и D_9 , а остальные 10% превосходят дециль D_9 .

$$D_1 = x_0 + \frac{h}{f_{me}} \left(\frac{\sum f_i}{10} - S_{me-1} \right) = (6)$$

$$= 332 + \frac{3}{3} \left(\frac{20}{10} - 0 \right) = 334,$$

$$D_9 = x_0 + \frac{h}{f_{me}} \left(\frac{9 \sum f_i}{10} - S_{me-1} \right) = (7)$$

$$= 344 + \frac{3}{3} \left(\frac{9 \cdot 20}{10} - 16 \right) = 347.$$

Расчет показал, что 10% единиц совокупности меньше по величине 334, а остальные 10% превосходят 347.

Среднее значение изучаемого признака по способу моментов равно:

$$\bar{x} = \frac{x_i' f_i}{\sum f_i} h + A = \frac{-9,17}{20} 3 + 342 = 340,625 \quad (8)$$

где A – условный нуль, равный варианту с максимальной частотой (середина интервала с максимальной частотой), равен 501; h – шаг интервала, равен 26.

Средний квадрат отклонений по способу моментов равен:

$$D = \frac{[x_i']^2 f_i}{\sum f_i} h^2 + (\bar{x} - A)^2 = \frac{49,97}{20} 3^2 - (340,625 - 342)^2 = 20,597. \quad (9)$$

Результаты расчета квадрата отклонений по способу момента приведены в таблице 3.

Таблица 3.
Расчет квадрата отклонений по способу моментов

Table 3.
Calculation of the square of deviations by the method of moments

x_{it}	x_i^*	$x_i^* f_i$	$[x_i^*]^2 f_i$
333,5	-2,83333333333333	-8,5	24,0833333333333
338	-1,33333333333333	-8	10,6666666666667
342	0	0	0
345,5	1,16666666666667	2,33333333333333	2,72222222222222
349,5	2,5	5	12,5
		-9,1666666666667	49,9722222222222

Среднеквадратичное отклонение равно:

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{20,597} = 4,538. \quad (10)$$

Соответственно, каждое значение ряда отличается от среднего значения 340,625 в среднем на 4,538.

Размах вариации как разность между максимальным и минимальным значениями признака первичного ряда:

$$R = x_{max} - x_{min} = 351 - 332 = 19. \quad (11)$$

Среднее линейное отклонение для учета различия всех единиц исследуемой совокупности равно:

$$d = \frac{\sum |x_i - \bar{x}| f_i}{\sum f_i} = \frac{74,25}{20} = 3,713. \quad (12)$$

Очевидно, что каждое значение ряда отличается от другого в среднем на 3,713.

Дисперсия как мера разброса около ее среднего значения (мера рассеивания, т. е. отклонения от среднего) равна:

$$D = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 f_i}{\sum f_i} = \frac{411,938}{20} = 20,597. \quad (13)$$

Результат аналогичен полученному ранее по формуле (9).

Несмещенная оценка дисперсии как состоятельная оценка дисперсии (исправленная дисперсия) равна:

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 f_i}{\sum f_i - 1} = \frac{411,938}{19} = 21,681. \quad (14)$$

Оценка среднеквадратичного отклонения равна:

$$s = \sqrt{S^2} = \sqrt{21,681} = 4,656. \quad (15)$$

Коэффициент вариации, как мера относительного разброса значений совокупности, показывает, какую долю среднего значения этой величины составляет ее средний разброс:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{4,538}{340,286} 100\% = 1,33\%. \quad (16)$$

Поскольку $v \leq 30\%$, то совокупность однородна, а вариация слабая, поэтому полученным результатам можно доверять.

Линейный коэффициент вариации характеризует долю усредненного значения признака абсолютных отклонений от средней величины:

$$K_d = \frac{d}{\bar{x}} = \frac{3,713}{340,625} 100\% = 1,09\%. \quad (17)$$

Коэффициент осцилляции отражает относительную колеблемость крайних значений признака вокруг средней:

$$K_r = \frac{R}{\bar{x}} = \frac{19}{340,625} 100\% = 5,58\%. \quad (18)$$

Симметричным является распределение, в котором частоты любых двух вариантов, равностоящих в обе стороны от центра распределения, равны между собой. Наиболее точным и распространенным показателем асимметрии является моментный коэффициент асимметрии:

$$As = M_3 / s^3 = \frac{22,72}{4,538^3} = 0,243, \quad (19)$$

где M_3 – центральный момент третьего порядка; s – среднеквадратичное отклонение.

Полученная положительная величина моментного коэффициента асимметрии указывает на наличие правосторонней асимметрии.

Оценка существенности показателя асимметрии дается с помощью среднеквадратичной ошибки коэффициента асимметрии:

$$s_{As} = \sqrt{\frac{6(n-2)}{(n+1)(n+3)}} = \sqrt{\frac{6(5-2)}{(5+1)(5+3)}} = 0,612. \quad (20)$$

Если выполняется соотношение $|As|/s_{As} < 3$, то асимметрия несущественная, ее наличие объясняется влиянием различных случайных обстоятельств.

Если имеет место соотношение $|As|/s_{As} > 3$, то асимметрия существенная и распределение признака в генеральной совокупности не является симметричным. Результаты расчета центральных моментов приведены в таблице 4.

Таблица 4.

Расчет центральных моментов

Table 4.

Calculation of central moments

Интервал Interval	Середина интервала, $x_{\text{центр}}$ The middle of the interval, x_{centre}	Количество, f_i Quantity, f_i	$(x - x_{\text{cp}})^3 \cdot f_i$	$(x - x_{\text{cp}})^4 \cdot f_i$
331 – 335	333,5	3	-1085,115	7731,446
336 – 340	338	6	-108,527	284,884
341 – 343	342	7	18,197	25,021
344 – 347	345,5	2	231,715	1129,61
348 – 351	349,5	2	1398,09	12408,047
Итого Total		20	454,359	21579,009

В анализируемом вариационном ряду распределения наблюдается несущественная асимметрия ($0,243 / 0,612 = 0,4 < 3$).

Структурный коэффициент асимметрии Пирсона характеризует асимметрию только в центральной части распределения, т. е. основной массы единиц, и не зависит от крайних значений признака:

$$A_{sp} = \frac{\bar{x} - M_0}{\sigma} = \frac{340,625 - 341,333}{4,538} = -0,16. \quad (21)$$

Коэффициент эксцесса определяется для симметричных распределений, при этом эксцесс представляет собой выпад вершины эмпирического распределения вверх или вниз от вершины кривой нормального распределения:

$$E_x = \frac{M_4}{s^4} - 3 = \frac{1078,95}{4,538^4} - 3 = 2,5433 - 3 = -0,46. \quad (22)$$

Для распределений более островершинных (вытянутых), чем нормальное, показатель эксцесса обычно положительный ($E_x > 0$), для более плосковершинных (сплюснутых) – отрицательный ($E_x < 0$), т. к. для нормального распределения выполняется равенство $M_4 / s^4 = 3$. Число 3 вычитается из отношения μ^4 / σ^4 , поскольку для нормального закона распределения $\mu^4 / \sigma^4 = 3$, поэтому для нормального распределения эксцесс равен нулю.

Для данного вариационного ряда характерно плосковершинное распределение при выполнении условия $E_x < 0$. Существенность эксцесса рассчитывается по статистике E_x / s_{E_x} , где s_{E_x} – средняя квадратическая ошибка коэффициента эксцесса:

$$s_{E_x} = \sqrt{\frac{24n(n-2)(n-3)}{(n+1)^2(n+3)(n+5)}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 5 \cdot (5-2) \cdot (5-3)}{(5+1)^2(5+3)(5+5)}} = 0,5. \quad (23)$$

Если отношение $E_x / s_{E_x} > 3$, то отклонение от нормального распределения считается существенным. В данном случае $s_{E_x} < 3$, поэтому отклонение от нормального распределения считается не существенным.

Доверительный интервал для генерального среднего равен:

$$\left(\bar{x} - t_{kp} \frac{8}{\sqrt{n}}; \bar{x} + t_{kp} \frac{8}{\sqrt{n}} \right). \quad (24)$$

Для проведения расчета определили значение t_{kp} по таблице распределения Стьюдента: $T_{\text{табл}}(n-1; \alpha / 2) = T_{\text{табл}}(19; 0,025) = 2,433$.

Стандартная ошибка выборки для среднего равна:

$$s_c = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{4,656}{\sqrt{20}} = 1,0412. \quad (25)$$

Стандартная ошибка среднего указывает, на какую величину среднее выборки 340,625 отличается от среднего генеральной совокупности.

Предельная ошибка выборки равна:

$$\varepsilon = t_{kp} \frac{s}{\sqrt{n}} = 2,433 \frac{4,656}{\sqrt{20}} = 2,533. \quad (26)$$

или если $\varepsilon = t_{kp}$, то $s_c = 2,433 \cdot 1,041 = 2,533$.

Расчетный доверительный интервал равен: $(340,625 - 2,533; 340,625 + 2,533) = (338,092; 343,158)$. С вероятностью 0,95 можно утверждать, что среднее значение при выборке большего объема не выйдет за пределы найденного интервала.

Доверительный интервал для генеральной доли ($p \cdot -\varepsilon; p \cdot + \varepsilon$) равен:

$$\varepsilon = t_{kp} \sqrt{\frac{p \cdot (1 - p \cdot)}{n}}. \quad (27)$$

В рассматриваемом случае принято равенство $2\Phi(t_{kp}) = \gamma$. $\Phi(t_{kp}) = \gamma / 2 = 0,954 / 2 = 0,477$. По таблице функции Лапласа нашли t_{kp} значение при $\Phi(t_{kp}) = 0,477$, т. е. $t_{kp}(\gamma) = (0,477) = 2$. Результаты вычислений приведены в таблице 5.

Таблица 5.

Интервальное оценивание генеральной доли

Table 5.

Interval estimation of the general share

Доля i -ой группы $f_i/\sum f$ The share of the i -th group $f_i/\sum f$	Средняя ошибка выборки для генеральной доли, ε Average sampling error for the general fraction, ε	Нижняя граница доли, $p \cdot -\varepsilon$ Lower limit of the share, $p \cdot -\varepsilon$	Верхняя граница доли, $p \cdot +\varepsilon$ Upper limit of the share, $p \cdot +\varepsilon$
0,15	$\varepsilon = 2\sqrt{\frac{0,15(1-0,15)}{20}} = 0,0798$	0,0702	0,23
0,3	$\varepsilon = 2\sqrt{\frac{0,3(1-0,3)}{20}} = 0,1$	0,198	0,402
0,35	$\varepsilon = 2\sqrt{\frac{0,35(1-0,35)}{20}} = 0,11$	0,243	0,457
0,1	$\varepsilon = 2\sqrt{\frac{0,1(1-0,1)}{20}} = 0,0671$	0,0329	0,167
0,1	$\varepsilon = 2\sqrt{\frac{0,1(1-0,1)}{20}} = 0,0671$	0,0329	0,167

С вероятностью 0,954 при большем объеме выборки эти доли будут находиться в заданных интервалах.

При проверке статистической гипотезы о том, что случайная величина наблюдений числа падения кукурузной муки распределена по нормальному закону, воспользовались следующим условием:

$$|A_s| < 3S_{A_s}; |A| < 3S_{A_s}; |E| < 3S_{E_x} \quad (28)$$

Для изучаемого вариационного ряда $S_{A_s} = 0,6124$, $S_{E_x} = 0,5$, $A_s = 0,243$, $E_x = -0,46$.

$|0,243| < 3 \times 0,6124 = 1,8371$; $|-0,46| < 3 \times 0,5 = 1,5$, то есть 3σ условия выполняются.

При проверке статистической гипотезы о том, что случайная величина наблюдений числа падения распределена по нормальному закону с помощью правила 3σ , воспользовались предположением: если случайная величина распределена нормально, то абсолютная величина ее отклонения от математического ожидания не превосходит утроенного среднеквадратичного отклонения, т. е. все значения случайной величины должны попасть в интервал:

$$\left(x - 3 \cdot \sigma; x + 3 \cdot \sigma \right) \quad (29)$$

В рассматриваемом случае этот интервал составил: $(340,625 - 3 \cdot 4,538; 340,625 + 3 \cdot 4,538) = (327,011; 354,239)$, все значения случайной величины попадают в интервал, так как $x_{\min} = 332$, $x_{\max} = 351$.

Очевидно, что для рассматриваемой выборки небольшого объема ($n = 20$) при проверке статистической гипотезы о законе распределения достаточно было использовать критерий

Стьюдента для сравнения генеральных параметров распределения и их оценок, полученных по выборке. В качестве оцениваемых параметров выборки целесообразным посчитали выбирать центральные моменты.

Обсуждение

Полученные в работе результаты совпадают с принятыми представлениями о параметрах функции распределения, определяемых с помощью методов статистического анализа эксперимента. В целях статистического анализа в математической статистике введено понятие абстрактной генеральной совокупности, состоящей из всех допустимых значений случайной величины, и выборки, представляющей собой совокупность ограниченного числа значений, полученных в результате опытов [3, 19, 22]. В соответствии с этим, различают выборочные характеристики случайной величины, найденные по ограниченному числу наблюдений и зависящие от этого числа, и соответствующие им характеристики генеральной совокупности. Предметом подобного изучения служит репрезентативная выборка, т. е. выборка, в которой все основные признаки генеральной совокупности, из которой извлечена данная выборка, представлены приблизительно в той же пропорции или с той же частотой, с которой данный признак выступает в этой генеральной совокупности. По изучаемой выборке наблюдений числа падения кукурузной муки в виде интервального вариационного ряда (таблица 2) рассчитали широкий перечень выборочных статистических характеристик, которые и явились оценками соответствующих генеральных параметров (таблица 5).

Заключение

Изучение выборочного распределения наблюдений числа падения кукурузной муки позволило установить числовые характеристики, выражающие характерные особенности случайной величины и относимые к ее центральным моментам. Статистический метод «сгруппированных данных» для получения интервального вариационного ряда с показателями центра распределения, вариации, формы распределения и интервального оценивания центра генеральной совокупности позволил оценить репрезентативность выборочных данных в отношении варьирования изучаемого признака в генеральной совокупности. Статистическая гипотеза о нормальном распределении изучаемой случайной величины числа падения кукурузной муки

доказана путем расчета показателей асимметрии и эксцесса (соответственно, третьего и четвертого центральных моментов), а также при применении правила 3σ . В силу взятого объема выборки ($n = 20$) при проверке статистической гипотезы о законе распределения достаточно было использовать критерий Стьюдента для сравнения генеральных параметров распределения и их оценок, полученных по выборке.

Благодарности

Исследования выполнялись с использованием оборудования ЦПК «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 Хатит А.М., Лямец А.Л. Алгоритм проверки гипотезы о нормальном распределении исследуемого количественного признака // Смоленский медицинский альманах. 2022. № 3. С. 131–136.
- 2 Клявин И.А., Тырсин А.Н. Метод подбора наилучшего закона распределения случайной величины по экспериментальным данным // Автометрия. 2013. Т. 49. № 1. С. 18–25.
- 3 Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. М.: Высшая школа, 1978. 319 с.
- 4 Ключкова И.С., Масленникова И.В. Использование нетрадиционного сырья при разработке рецептур хлебобулочных изделий // Пищевая промышленность. 2021. № 4. С. 32–35. doi: 10.24412/0235–2486–2021–4–0033
- 5 Машанова Н.С., Алтайулы С., Мажит Г. Разработка новых видов хлебобулочных изделий с использованием растительного сырья // Интернаука. 2021. № 28–1 (204). С. 69–71.
- 6 Писарец О.П., Семенова О.Б., Дробот В.И. Обоснование эффективности использования молочнокислой закваски в технологии пшенично-кукурузного хлеба // Вестник Алматинского технологического университета. 2016. № 3. С. 94–99.
- 7 Мартирисян В.Д., Сотченко Е.Ф., Сотченко Ю.В. Применение кукурузной муки для улучшения показателей качества хлебобулочных изделий // Кукуруза и сорго. 2011. № 1. С. 28–29.
- 8 Ахмедов М.Э., Вершинина О.Л., Гончар В.В., Тычина А.В., Жемчужникова Н.А. Использование кукурузной муки при производстве ржаной симбиотической естественной закваски для хлебопечения // Проблемы развития АПК региона. 2019. № 1(37). С. 203–209.
- 9 Hussein A.M., Mohie M.K., Nefisa A.H., El-Nor S.A.H.A. Effect of Wheat Flour Supplemented with Barely and/or Corn Flour on Balady Bread Quality // Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. 2013. V. 63. №. 1. P. 11–18. doi: 10.2478/v10222–012–0064–6
- 10 Raya M.A.A., Ghoneem G., Elhadi H. Effect of Addition Corn Flour on Chemical, Physical, Rheological and Sensory Properties of Iraq Bread // Journal of Food and Dairy Sciences. 2022. V. 13. №. 6. P. 95–100. doi: 10.21608/jfds.2022.145157.1062
- 11 Brooker D.J. Quality assurance for corn and wheat flour tortilla manufacturing // Tortillas. AACC International Press, 2015. P. 97–123. doi: 10.1016/B978–1–891127–88–5.50004–9
- 12 de Alcântara R.G., de Carvalho R.A., Vanin F.M. Evaluation of wheat flour substitution type (corn, green banana and rice flour) and concentration on local dough properties during bread baking // Food Chemistry, 2020. V. 326. P. 126972. doi:10.1016/j.foodchem.2020.126972
- 13 Özboy Ö. Development of corn starch-gum bread for phenylketonuria patients // Nahrung. 2002. V. 46 (2). P. 87–91. doi: 10.1002/1521–3803(20020301)46:2<87:AID-FOOD87>3.0.CO; 2-Y
- 14 Корнева О.А., Дунец Е.Г., Руденко О.В., Полозюк Т.Д. Исследование кривой вязкости пресного безглютенового теста в зависимости от концентрации разных видов муки // Пищевая промышленность. 2019. № 6. С. 62–65. doi: 10.24411/0235–2486–2019–10091
- 15 Шмалько Н.А., Никитин И.А. Регрессионная зависимость числа падения аглютиновой мучной смеси от состава компонентов // Хлебопродукты. 2022. № 10. С. 34–39. doi: 10.32462/0235–2508–2022–31–10–34–39
- 16 Шмалько Н.А., Никитин И.А., Велина Д.А., Хайруллин М.Ф. Экспоненциальное сглаживание динамического ряда числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси // Вестник ВГУИТ. 2022. № 2 (92). Т. 84. С. 170–178. doi: 10.20914/2310-1202-2022-2-170-178

- 17 Delwiche S.R., Rausch S.R., Vinyard B.T. Evaluation of a standard reference material for falling number measurement // *Cereal Chemistry*. 2020. V. 97. P. 441–448. doi: 10.1002/cche.10259
- 18 Delwiche S.R., Liang J. On the use of native corn starch as a standard reference material for falling number // *Cereal Chemistry*. 2020. V. 97. P. 1227–1235. doi: 10.1002/cche.10346
- 19 Халафян А.А. *STATISTICA 6. Статистический анализ данных*; 3-е изд. М.: ООО «Бином-Пресс», 2007. 512 с.
- 20 ГОСТ 14176–69. Мука кукурузная. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2008. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/2285/?ysclid=lbw89vcpqa506896564>
- 21 ГОСТ ISO 2093–2016. Зерно и продукты его переработки. Определение числа падения методом Харберга-Пертена. М.: Стандартинформ, 2019. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140380>
- 22 Грачев Ю.П., Плаксин Ю.М. *Математические методы планирования эксперимента*. М.: ДеЛи принт, 2005. 296 с.

References

- 1 Khatit A.M., Lyamets A.L. Algorithm for testing the hypothesis of the normal distribution of the investigated quantitative trait. *Smolensk Medical Almanac*. 2022. no. 3. pp. 131-136. (in Russian).
- 2 Klyavin I.A., Tyrsin A.N. Method of selecting the best distribution law of a random variable according to experimental data. *Autometry*. 2013. vol. 49. no. 1. pp. 18-25. (in Russian).
- 3 Akhnazarova S.L., Kafarov V.V. Optimization of experiment in chemistry and chemical technology. Moscow, Higher School, 1978. 319 p. (in Russian).
- 4 Klochkova I.S., Maslennikova I.V. The use of unconventional raw materials in the development of recipes for bakery products. *Food industry*. 2021. no. 4. pp. 32-35. doi: 10.24412/0235-2486-2021-4-0033 (in Russian).
- 5 Mashanova N.S., Altayuly S., Mazhit G. Development of new types of bakery products using vegetable raw materials. *Internauka*. 2021. no. 28-1 (204). pp. 69-71. (in Russian).
- 6 Pisarets O.P., Semenova O.B., Drobot V.I. Justification of the effectiveness of using lactic acid starter culture in wheat-corn bread technology. *Bulletin of the Almaty Technological University*. 2016. no. 3. pp. 94-99. (in Russian).
- 7 Martirosyan V.D., Sotchenko E.F., Sotchenko Yu.V. The use of corn flour to improve the quality indicators of bakery products. *Corn and sorghum*. 2011. no. 1. pp. 28-29. (in Russian).
- 8 Akhmedov M.E., Vershinina O.L., Gonchar V.V., Tychina A.V., Zhemchuzhnikova N.A. The use of corn flour in the production of rye symbiotic natural sourdough for baking. *Problems of the development of the agro-industrial complex of the region*. 2019. no. 1(37). pp. 203-209. (in Russian).
- 9 Hussein A.M., Mohie M.K., Nefisa A.H., El-Nor S.A.H.A. Effect of Wheat Flour Supplemented with Barely and/or Corn Flour on Balady Bread Quality. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2013. vol. 63. no. 1. pp. 11–18. doi: 10.2478/v10222-012-0064-6
- 10 Raya M.A., Ghoneem G., Elhadi H. Effect of Addition Corn Flour on Chemical, Physical, Rheological and Sensory Properties of Iraq Bread. *Journal of Food and Dairy Sciences*. 2022. vol. 13. no. 6. pp. 95–100. doi: 10.21608/jfds.2022.145157.1062
- 11 Brooker D.J. Quality assurance for corn and wheat flour tortilla manufacturing. *Tortillas*. AACC International Press, 2015. pp. 97-123. doi: 10.1016/B978-1-891127-88-5.50004-9
- 12 de Alcântara R.G., de Carvalho R.A., Vanin F.M. Evaluation of wheat flour substitution type (corn, green banana and rice flour) and concentration on local dough properties during bread baking. *Food Chemistry*, 2020. vol. 326. pp. 126972. doi:10.1016/j.foodchem.2020.126972
- 13 Özboy Ö. Development of corn starch-gum bread for phenylketonuria patients. *Nahrung*. 2002. vol. 46 (2). pp. 87–91. doi: 10.1002/1521-3803(20020301)46:2<87:AID-FOOD87>3.0.CO;2 Y
- 14 Korneva O.A., Dunets E.G., Rudenko O.V., Polozyuk T.D. Study of the viscosity curve of unleavened gluten-free dough depending on the concentration of different types of flour. *Food industry*. 2019. no. 6. pp. 62-65. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10091 (in Russian).
- 15 Shmalko N.A., Nikitin I.A. Regression dependence of the number of drops of gluten-free flour mixture on the composition of components. *Bread products*. 2022. no. 10. pp. 34-39. doi: 10.32462/0235-2508-2022-31-10-34-39 (in Russian).
- 16 Shmalko N.A., Nikitin I.A., Levina D.A., Khairullin M.F. Exponential smoothing of the dynamic series of the number of liquefaction of corn starch mixture. *Bulletin of VSUIT*. 2022. no. 2 (92). vol. 84. pp. 170-178. doi: 10.20914/2310-1202-2022-2-170-178 (in Russian).
- 17 Delwiche S.R., Rausch S.R., Vinyard B.T. Evaluation of a standard reference material for falling number measurement. *Cereal Chemistry*. 2020. vol. 97. pp. 441–448. doi: 10.1002/cche.10259
- 18 Delwiche S.R., Liang J. On the use of native corn starch as a standard reference material for falling number. *Cereal Chemistry*. 2020. vol. 97. pp. 1227–1235. doi: 10.1002/cche.10346
- 19 Khalafyan A.A. *STATISTICA 6. Statistical data analysis*; 3rd ed. Moscow, ООО "Binom-Press", 2007. 512 p. (in Russian).
- 20 GOST 14176-69. Corn flour. Technical specifications. Moscow, Standartinform, 2008. Available at: <https://internet-law.ru/gosts/gost/2285/?ysclid=lbw89vcpqa506896564> (in Russian).
- 21 GOST ISO 2093-2016. Grain and its processed products. Determination of the number of falls by the Hagberg-Perten method. Moscow, Standartinform, 2019. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200140380> (in Russian).
- 22 Grachev Yu.P., Plaksin Yu.M. *Mathematical methods of experiment planning*. Moscow, Delhi Print, 2005. 296 p. (in Russian).

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, зав. кафедрой биотехнологий пищевых продуктов 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>

Шерзодхон Муталлибзода аспирант, ассистент кафедры биотехнологий пищевых продуктов 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, mutallibzoda@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3855-9494>

Андрей В. Гончаров к.т.н., доцент, зав. кафедрой систем автоматизированного управления, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, a.goncharov@mgutm.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3024-495X>

Елена В. Кузнецова к.б.н., доцент, директор Башкирского института технологий и управления (филиал), Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Смоленская, 34, г. Мелеуз, 453856, Россия, mail@mfmgtu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2352-7521>

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

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. (Engin.), 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>

Sherzodkhon Mutallibzoda graduate student, assistant lecturer 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, mutallibzoda@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3855-9494>

Andrey V. Goncharov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, head of department of automated control systems, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (The First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, a.goncharov@mgutm.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3024-495X>

Elena V. Kuznetsova Cand. Sci. (Biol.), associate professor, manager of bashkir institute of technology and management (branch), K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (The First Cossack University), Smolenskaya st., 34, Meleuz, 453856, Russia, mail@mfmgtu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2352-7521>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/12/2022	После редакции 15/01/2023	Принята в печать 12/02/2023
Received 20/12/2022	Accepted in revised 15/01/2023	Accepted 12/02/2023

Разработка рецептуры пшеничного хлеба с повышенным содержанием пищевых волокон

Наталья В. Андросова ¹	androsovanv@susu.ru	 0000-0003-2382-462X
Абдували Д. Тошев ¹	toshevad@susu.ru	 0000-0001-8620-2065
Лина Ю. Лагуткина ²	lagutkina_lina@mail.ru	 0000-0003-4407-926X

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

2 Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия

Аннотация. В настоящее время в рационе питания взрослого населения России наблюдается стойкий дефицит пищевых волокон. Перспективным источником пищевых волокон являются вторичные продукты переработки масличных культур. В статье предложен способ обогащения пшеничного хлеба пищевыми волокнами путем внесения конопляного шрота, образующегося при получении изолята белка из конопляного жмыха и содержащего $57,5 \pm 0,4\%$ пищевых волокон. Целью работы явилось установление оптимальной дозировки шрота в рецептуру пшеничного хлеба путем сравнительного анализа органолептических (внешний вид, цвет корки и мякиша, структура пористости, вкус, запах, разжевываемость) и физико-химических (влажность, кислотность, пористость мякиша, удельный объем хлеба) характеристик. Объектами исследования выступили контрольный образец хлеба из пшеничной муки высшего сорта, а также модельные образцы хлеба с различным добавлением шрота. Применялись стандартные методы исследования основных качественных характеристик контрольного и модельных образцов хлеба. Установлена оптимальная дозировка шрота в количестве 15% к массе муки. Образец хлеба с внесением 15% шрота характеризовался соответствием органолептических и физико-химических показателей требованиям ГОСТ Р 58233-2018 «Хлеб пшеничный. Технические условия». Установлено увеличение содержания пищевых волокон в оптимальном образце на 5,4% по сравнению с контрольным образцом. Установлено, что употребление в сутки 100 г хлеба, полученного по оптимизированной рецептуре, удовлетворит потребность в пищевых волокнах взрослого человека на 31,6-39,5%. Результатом исследования является оптимизированная дозировка конопляного шрота в рецептуру пшеничного хлеба. Данный хлеб может быть рекомендован в качестве источника пищевых волокон.

Ключевые слова: хлеб, пищевые волокна, конопляный шрот, разработка рецептуры, физико-химические характеристики.

Разработка рецептуры пшеничного хлеба с повышенным содержанием пищевых волокон

Natalya V. Androsova ¹	androsovanv@susu.ru	 0000-0003-2382-462X
Abduvali D. Toshev ¹	toshevad@susu.ru	 0000-0001-8620-2065
Lina Yu. Lagutkina ²	lagutkina_lina@mail.ru	 0000-0003-4407-926X

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

2 Astrakhan State Technical University, st. Tatishcheva, building 16/1, Astrakhan, 414056, Russia

Abstract. At present, there is a persistent deficiency of dietary fiber in the diet of the adult population of Russia. A promising source of dietary fiber is the by-products of oilseeds processing. The article proposes a method for enriching wheat bread with dietary fibers by introducing hemp meal, which is formed during the production of protein isolate from hemp cake and contains $57.5 \pm 0.4\%$ dietary fiber. The aim of the work was to establish the optimal dosage of meal in the recipe of wheat bread by comparative analysis of organoleptic (appearance, color of the crust and crumb, porosity structure, taste, smell, chewability) and physico-chemical (humidity, acidity, crumb porosity, specific volume of bread) characteristics. The objects of the study were a control sample of bread made from premium wheat flour, as well as model samples of bread with various additions of meal. Standard methods were used to study the main qualitative characteristics of the control and model samples of bread. The optimal dosage of meal was established in the amount of 15% by weight of flour. A sample of bread with the addition of 15% meal was characterized by the compliance of organoleptic and physico-chemical parameters with the requirements of GOST R 58233-2018 "Wheat bread. Specifications". An increase in the content of dietary fiber in the optimal sample by 5.4% was found compared to the control sample. It has been established that eating 100 g of bread per day, obtained according to an optimized recipe, will satisfy the need for dietary fiber in an adult by 31.6-39.5%. The result of the study is an optimized dosage of hemp meal in the wheat bread recipe. This bread can be recommended as a source of dietary fiber.

Keywords: bread, dietary fiber, hemp meal, formulation development, physico-chemical characteristics.

Введение

Согласно ежегодному докладу Роспотребнадзора в течение многих лет у взрослого населения в России наблюдается дефицит пищевых волокон в рационе питания. Пищевые волокна представляют собой группу неперевариваемых,

либо частично или полностью перевариваемых в желудочно-кишечном тракте человека веществ. Пищевые волокна выполняют множество разнообразных функций: способны связывать токсичные элементы и химические соединения и выводить их из организма, опосредованно

Для цитирования

Андросова Н.В., Тошев А.Д., Лагуткина Л.Ю. Разработка рецептуры пшеничного хлеба с повышенным содержанием пищевых волокон // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 138–142. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-138-142

For citation

Androsova N.V., Toshev A.D., Lagutkina L.Yu. Разработка рецептуры пшеничного хлеба с повышенным содержанием пищевых волокон. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 138–142. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-138-142

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

влиять на процессы метаболизма липидов, на уровень глюкозы и инсулина, проявлять функции пребиотиков. Физиологическая потребность в пищевых волокнах согласно МР 2.3.1.2053–21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» для взрослого человека составляет 20–25 г/сутки. Большую часть пищевых волокон человек получает из плодов, овощей, фруктов, продуктов переработки зерновых культур [1].

При ежедневном употреблении хлеба и хлебобулочных изделий в организм человека поступает необходимое количество белка, витаминов, минеральных веществ и пищевых волокон. Но при переработке зерна в муку, особенно высших сортов, часть пищевых веществ теряется и для восстановления их первоначального уровня целесообразно обогащать хлеб по различным направлениям.

Путей повышения доли пищевых волокон в хлебе несколько: добавление в рецептуру отрубей, целых семян злаков, масличных культур (льна, подсолнечника), вторичных продуктов переработки плодов и овощей, использование цельнозерновой муки. Все эти подходы позволяют решать проблему обогащения хлеба пищевыми волокнами [2–7]. Кроме этого, увеличение доли хлеба для здорового питания в общем объеме потребительского спроса, интерес к ремесленным технологиям хлебопечения позволяют сделать вывод об актуальности данной темы [8].

Перспективным источником пищевых волокон являются вторичные продукты переработки технической конопли, а именно, шрот, остающийся после получения изолята белка из конопляного жмыха. Анализ данной добавки показал высокий уровень содержания пищевых волокон – $57,5 \pm 0,4\%$ [9–20].

Цель работы – установить оптимальную дозировку шрота при добавлении в рецептуру пшеничного хлеба на основании анализа органолептических и физико-химических характеристик модельных образцов, а также определить степень удовлетворения суточной потребности в пищевых волокнах при употреблении 100 г образца с оптимальной дозировкой.

Материалы и методы

За основу принята унифицированная рецептура на хлеб пшеничный из муки высшего сорта. Использован безопасный способ тестоприготовления. Шрот вносили в количестве 5, 10, 15, 20, 25% по отношению к массе муки. Процесс производства контрольных и модельных образцов

включал следующие этапы: замес теста в течение 8–10 минут, брожение при температуре 32 °С в течение 180 минут, деление теста на куски, укладывание их в формы, окончательная расстойка при температуре 32 °С в течение 40–45 минут, выпечка при температуре 200–210 °С в течение 30–35 минут. После выпечки изделия охлаждали.

Определение органолептических показателей проводили в соответствии с ГОСТ 5667–65, влажность мякиша – ГОСТ 21094–75, кислотность мякиша – ГОСТ 5670–96, пористость мякиша – ГОСТ 5669–96, удельный объем хлеба – ГОСТ 27669, определение массовой доли пищевых волокон – ГОСТ 54014–2010. Все определения проводили в трехкратном повторении.

Результаты и обсуждение

Органолептические показатели контрольных и модельных образцов характеризовались более интенсивным цветом корки, а также более выраженным серо-коричневым цветом мякиша при увеличении добавки шрота. Увеличение дозировки шрота способствовало незначительному снижению объема образцов хлеба. Мякиш становился более плотным, менее эластичным. Пористость характеризовалась как равномерная, без включения крупных пор. Вкус и запах становились более выраженными по мере увеличения добавки.

Для лучшей визуализации органолептические показатели были представлены в виде профилограммы (рисунок 1), в которой характеристика каждого показателя оценена по 5-балльной шкале.

Анализ физико-химических показателей (таблица 1) показал постепенное снижение влажности мякиша по мере увеличения количества вносимой добавки. Это обусловлено большей (по сравнению с пшеничной мукой) водопоглотительной способностью пищевых волокон шрота, а также, предположительно, увеличением доли более прочно связанной влаги в мякише. Данное свойство шрота в дальнейшем будет способствовать увеличению сроков сохранения свежести хлеба и снижению скорости его черствения.

Увеличение количества добавки в хлебе приводило к увеличению кислотности мякиша. Вероятно, это связано с проявлением пребиотических свойств пищевых волокон, которые способствуют интенсификации процесса кислотонакопления в тесте.

Показатели пористости и удельного объема снижались незначительно за счет снижения доли клейковины в тесте.

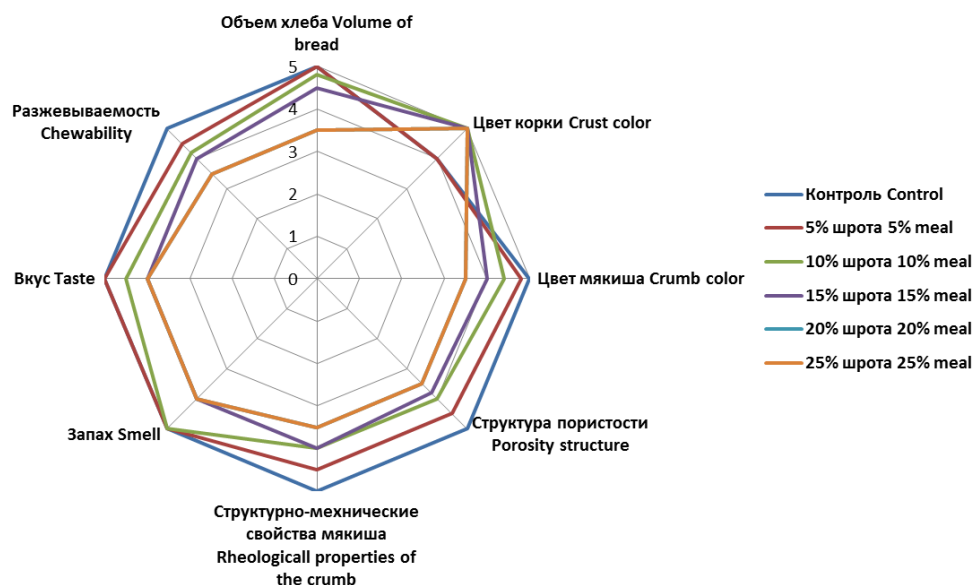


Рисунок 1. Профилограмма контрольного и опытного образцов хлеба

Figure 1. Profilogram of control and experimental samples of bread

Таблица 1.

Физико-химические показатели контрольного и модельных образцов хлеба

Table 1.

Physical and chemical parameters of control and model samples of bread

Показатель Indicator	Контроль Control	5% шрота 5% meal	10% шрота 10% meal	15% шрота 15% meal	20% шрота 20% meal	25% шрота 25% meal
Влажность мякиша, % Crumb moisture, %	39,0 ± 0,3	40,4 ± 0,2	39,3 ± 0,2	38,1 ± 0,2	37,5 ± 0,2	35,2 ± 0,2
Кислотность мякиша, град Crumb acidity, degrees	1,40 ± 0,01	1,60 ± 0,01	1,80 ± 0,02	2,00 ± 0,03	2,20 ± 0,02	2,40 ± 0,02
Пористость мякиша, % Crumb porosity, %	80,0 ± 0,6	78,0 ± 0,4	76,0 ± 0,5	74,0 ± 0,5	71,0 ± 0,4	69,0 ± 0,6
Удельный объем, см ³ /г Specific volume, cm ³ /g	3,90 ± 0,05	3,60 ± 0,06	3,60 ± 0,04	3,50 ± 0,03	3,50 ± 0,06	3,30 ± 0,06
Массовая доля пищевых волокон, % Dietary fiber, %	2,50 ± 0,04	4,20 ± 0,02	6,00 ± 0,04	7,90 ± 0,1	9,70 ± 0,08	11,50 ± 0,06

Сопоставление органолептических и физико-химических характеристик с требованиями нормативно-технической документации позволило установить, что дозировка конопляного шрота в рецептуру пшеничного хлеба, составляющая 15% от массы муки является наиболее оптимальной. Данный образец содержит 7,9% пищевых волокон.

Расчетным способом установили проценты удовлетворения суточной потребности в пищевых волокнах для контрольного и оптимального вариантов (таблица 2).

Употребление 100 г хлеба в сутки по оптимизированной рецептуре позволит увеличить долю пищевых волокон в рационе взрослого человека и обеспечить удовлетворение суточной потребности в них до 40%.

Таблица 2.

Процент удовлетворения суточной потребности в пищевых волокнах при употреблении 100 г продукта

Table 2.

Percentage of satisfaction of the daily requirement for dietary fiber when using 100 g of the product

Образец Sample	Пищевые волокна Dietary fiber		
	содержание в 100 г продукта, г content in 100 g of product, g	сут. потребность (МР 2.3.1.0253-21), г daily requirement (MR 2.3.1.0253-21), g	% удовлетворения суточной потребности % of daily requirement
Контроль Control	2,5	20–25	10–12,5
15% шрота 15% meal	7,9		31,6–39,5

Заключение

Установлена оптимальная дозировка конопляного шрота при добавлении в рецептуру пшеничного хлеба – 15% по отношению к массе муки.

Оптимальный образец характеризуется следующими физико-химическими показателями: влажность мякиша – $38,1 \pm 0,2\%$, кислотность мякиша – $2,00 \pm 0,03$ градуса, пористость мякиша – $74,0 \pm 0,5\%$.

Установлено, что массовая доля пищевых волокон в оптимальном образце равна 7,9%, что на 5,4% больше, чем в контрольном образце.

Расчетным способом установлено, что употребление 100 г хлеба с добавлением 15% шрота удовлетворит суточную потребность в пищевых

волокнах на 31,6–39,5%, что на 21,6–27% больше, чем при употреблении контрольного образца.

Добавление конопляного шрота положительно скажется на степени сохранения свежести хлеба и будет способствовать снижению скорости его черствения.

Результаты исследования могут быть использованы для совершенствования ассортимента хлеба и хлебобулочных изделий, обогащенных пищевыми волокнами. Употребление хлеба, изготовленного с добавлением конопляного шрота, может быть рекомендовано лицам, придерживающимся диетического питания, а также подвергающимся воздействию ионизирующих излучений.

Литература

- 1 Пырьева Е.А., Сафронова А.И. Роль и место пищевых волокон в структуре питания населения // Вопросы питания. 2019. Т. 88. № 6. С. 5–11. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10059
- 2 Батура Н.Г. Тенденции развития технологии цельнозернового тестоведения // Вестник КрасГАУ. 2022. № 1(178). С. 180–188. doi: 10.36718/1819-4036-2022-1-180-188
- 3 Зинина О.В., Кузнецов В.Н., Сереброва С.А., Брызгалова А.Д. Разработка рецептуры хлеба, обогащенного концентратом пищевых волокон из вторичного растительного сырья // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2022. Т. 10. № 4. С. 57–67. doi: 10.14529/food220406
- 4 Мелешкина Л.Е., Стурова Ю.Г., Афанасьева Ю.Г. Изделия хлебобулочные функционального назначения с ламинарией // Ползуновский вестник. 2020. № 4. С. 10–13. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.002
- 5 Ефремов Д.П. Перспективные отечественные разработки в области производства мучных изделий с семенами льна и продуктами их переработки // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 4(90). С. 209–218. doi: 10.20914/2310-1202-2021-4-209-218
- 6 Бакуменко О.Е., Шаповал О.Д., Чернобровина А.Г. Пищевые волокна при производстве хлебобулочных изделий // 2020. № 3–4(186). С. 60–63.
- 7 Нечаев А.П., Тарасова В.В., Николаева Ю.В. Влияние различных видов пищевых волокон на белки хлеба // Пищевая промышленность. 2019. № 4. С. 74–75. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10037
- 8 Костюченко М.Н., Мартиросян В.В., Косован А.П., Шапошников И.И. Основные направления развития рынка хлебобулочных изделий России // 2020. № 2(44). С. 32–36. doi: 10.24411/9999-008a-2020-10005
- 9 Leonard W., Zhang P., Ying D., Fang Z. Hempseed in food industry: nutritional value, health benefits, and industrial applications // Comprehensive reviews in food science and food safety. 2020. V. 19. № 1. P. 282–308. doi: 10.1111/1541-4337.12517
- 10 Sharma S., Prabhasankar P. Effect of whole hempseed flour incorporation on the rheological, microstructural and nutritional characteristics of chapati – Indian flatbread // LWT – Food Science and Technology. 2021. V. 137. doi: 10.1016/j.lwt.2020.110491
- 11 Osokina N., Kostetska K., Gerasymchuk H., Voziiian V. et al. Development of recipes and estimation of raw material for production of wheat bread // EUREKA: Life Sciences. 2017. №. 4. P. 26-34. doi: 10.21303/2504-5695.2017.00381
- 12 Statsenko E.S., Korneva N.Y., Pokotilo O.V., Litvinenko O.V. Development of technology for producing wheat bread enriched with soy ingredient // Food Science and Technology International. 2023. V. 29. №. 2. P. 97-104. doi: 10.1177/10820132211062991
- 13 Liubych V., Novikov V., Pushka O., Pushka I. et al. Development of Wheat Bread Recipe with Pumpkin Paste // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2023. V. 1. №. 11. P. 121. doi:10.15587/1729-4061.2023.274259
- 14 Krochmal-Marczak B., Tobiasz-Salach R., Kaszuba J. The effect of adding oat flour on the nutritional and sensory quality of wheat bread // British Food Journal. 2020. V. 122. №. 7. P. 2329-2339. doi: 10.1108/BFJ-07-2019-0493
- 15 Correia P., Gonzaga M., Batista L., Beirão-Costa L. et al. Development and characterization of wheat bread with lupin flour // International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering. 2015. V. 9. №. 10. P. 923-927.
- 16 Arena E., Muccilli S., Mazzaglia A., Giannone V. et al. Development of durum wheat breads low in sodium using a natural low-sodium sea salt // Foods. 2020. V. 9. №. 6. P. 752. doi: 10.3390/foods9060752
- 17 Samilyk M., Demidova E., Bolgova N., Savenko O. et al. Development of bread technology with high biological value and increased shelf life // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. V. 2. №. 11. P. 116. doi:10.15587/1729-4061.2022.255605
- 18 Ringsted T., Siesler H.W., Engelsen S.B. Monitoring the staling of wheat bread using 2D MIR-NIR correlation spectroscopy // Journal of Cereal Science. 2017. V. 75. P. 92-99. doi: 10.1016/j.jcs.2017.03.006
- 19 Huang G., Guo Q., Wang C., Ding H.H. et al. Fenugreek fibre in bread: Effects on dough development and bread quality // LWT-Food Science and Technology. 2016. V. 71. P. 274-280. doi: 10.1016/j.lwt.2016.03.040
- 20 Bassett M.N., Pérez-Palacios T., Cipriano I., Cardoso P. et al. Development of bread with NaCl reduction and calcium fortification: study of its quality characteristics // Journal of Food Quality. 2014. V. 37. №. 2. P. 107-116. doi: 10.1111/jfq.12079

References

- 1 Pyrieva E.A., Safronova A.I. The role and place of dietary fiber in the structure of nutrition of the population. Nutrition issues. 2019. vol. 88. no. 6. pp. 5-11. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10059 (in Russian).
- 2 Batura N.G. Trends in the development of whole-grain dough technology. Bulletin of KrasGAU. 2022. no. 1(178). pp. 180-188. doi: 10.36718/1819-4036-2022-1-180-188 (in Russian).

- 3 Zinina O.V., Kuznetsov V.N., Serebrova S.A., Bryzgalova A.D. Development of a recipe for bread enriched with a concentrate of dietary fiber from secondary vegetable raw materials. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 2022. vol. 10. no. 4. pp. 57-67. doi: 10.14529/food220406 (in Russian).
- 4 Meleshkina L.E., Sturova Yu.G., Afanasyeva Yu.G. Bakery products of functional purpose with luminaria. Polzunovsky vestnik. 2020. no. 4. pp. 10-13. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.002 (in Russian).
- 5 Efremov D.P. Promising domestic developments in the production of flour products with flax seeds and products of their processing. Bulletin of VSUIT. 2021. vol. 83. no. 4(90). pp. 209-218. doi: 10.20914/2310-1202-2021-4-209-218 (in Russian).
- 6 Bakumenko O.E., Shapoval O.D., Chernobrovina A.G. Dietary fibers in the production of bakery products. 2020. no. 3-4(186). pp. 60-63. (in Russian).
- 7 Nechaev A.P., Tarasova V.V., Nikolaeva Yu.V. The influence of various types of dietary fibers on bread proteins. Food industry. 2019. no. 4. pp. 74-75. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10037 (in Russian).
- 8 Kostyuchenko M.N., Martirosyan V.V., Kosovan A.P., Shaposhnikov I.I. The main directions of development of the bakery products market in Russia. 2020. no. 2(44). pp. 32-36. doi: 10.24411/9999-008a 2020-10005 (in Russian).
- 9 Leonard W., Zhang P., Ying D., Fang Z. Hempseed in food industry: nutritional value, health benefits, and industrial applications. Comprehensive reviews in food science and food safety. 2020. vol. 19. no. 1. pp. 282-308. doi: 10.1111/1541-4337.12517
- 10 Sharma S., Prabhaskar P. Effect of whole hempseed flour incorporation on the rheological, microstructural and nutritional characteristics of chapati – Indian flatbread. LWT – Food Science and Technology. 2021. vol. 137. doi: 10.1016/j.lwt.2020.110491
- 11 Osokina N., Kostetska K., Gerasymchuk H., Voziiian V. et al. Development of recipes and estimation of raw material for production of wheat bread. EUREKA: Life Sciences. 2017. no. 4. pp. 26-34. doi: 10.21303/2504-5695.2017.00381
- 12 Statsenko E.S., Korneva N.Y., Pokotilo O.V., Litvinenko O.V. Development of technology for producing wheat bread enriched with soy ingredient. Food Science and Technology International. 2023. vol. 29. no. 2. pp. 97-104. doi: 10.1177/10820132211062991
- 13 Liubych V., Novikov V., Pushka O., Pushka I. et al. Development of Wheat Bread Recipe with Pumpkin Paste. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2023. vol. 1. no. 11. pp. 121. doi:10.15587/1729-4061.2023.274259
- 14 Krochmal-Marczak B., Tobiasz-Salach R., Kaszuba J. The effect of adding oat flour on the nutritional and sensory quality of wheat bread. British Food Journal. 2020. vol. 122. no. 7. pp. 2329-2339. doi: 10.1108/BFJ-07-2019-0493
- 15 Correia P., Gonzaga M., Batista L., Beirão-Costa L. et al. Development and characterization of wheat bread with lupin flour. International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering. 2015. vol. 9. no. 10. pp. 923-927.
- 16 Arena E., Muccilli S., Mazzaglia A., Giannone V. et al. Development of durum wheat breads low in sodium using a natural low-sodium sea salt. Foods. 2020. vol. 9. no. 6. pp. 752. doi: 10.3390/foods9060752
- 17 Samilyk M., Demidova E., Bolgova N., Savenko O. et al. Development of bread technology with high biological value and increased shelf life. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. vol. 2. no. 11. pp. 116. doi:10.15587/1729-4061.2022.255605
- 18 Ringsted T., Siesler H.W., Engelsen S.B. Monitoring the staling of wheat bread using 2D MIR-NIR correlation spectroscopy. Journal of Cereal Science. 2017. vol. 75. pp. 92-99. doi: 10.1016/j.jcs.2017.03.006
- 19 Huang G., Guo Q., Wang C., Ding H.H. et al. Fenugreek fibre in bread: Effects on dough development and bread quality. LWT-Food Science and Technology. 2016. vol. 71. pp. 274-280. doi: 10.1016/j.lwt.2016.03.040
- 20 Bassett M.N., Pérez-Palacios T., Cipriano I., Cardoso P. et al. Development of bread with NaCl reduction and calcium fortification: study of its quality characteristics. Journal of Food Quality. 2014. vol. 37. no. 2. pp. 107-116. doi: 10.1111/jfq.12079

Сведения об авторах

Наталья В. Андросова ст. преподаватель, кафедра технологии и организации общественного питания, Южно-Уральский государственный университет, пр. Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, androsovanv@susu.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2382-462X>

Абдували Д. Тошев д.х.н., профессор, кафедра технологии и организации общественного питания, Южно-Уральский государственный университет, пр. Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, toshevad@susu.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8620-2065>

Лина Ю. Лагуткина д.с.-х.н., доцент, кафедра аквакультуры и рыболовства, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия, lagutkina_lina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4407-926X>

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

Natalya V. Androsova Senior Lecturer, technology and public catering department, South Ural State University, 76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia, androsovanv@susu.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2382-462X>

Abduvali D. Toshev Dr. Sci. (Chem.), professor, technology and public catering department, South Ural State University, 76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia, toshevad@susu.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8620-2065>

Lina Yu. Lagutkina Dr. Sci. (Agri.), professor, aquaculture and fisheries department, Astrakhan State Technical University, st. Tatischeva, building 16/1, Astrakhan, 414056, Russia, lagutkina_lina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4407-926X>

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 28/12/2022	После редакции 09/02/2023	Принята в печать 28/02/2023
Received 28/12/2022	Accepted in revised 09/02/2023	Accepted 28/02/2023

Анализ функционально-технологического потенциала использования топинамбура при производстве продуктов питания

Ева В. Ражина	¹	eva.mats@mail.ru	 0000-0002-6305-1783
Екатерина С. Смирнова	¹	ekaterina-kazantseva@list.ru	 0000-0003-2116-121X
Ольга В. Горелик	¹	olgao205en@ya.ru	 0000-0002-9546-2069
Алексей В. Степанов	¹	alexeystepanow@mail.ru	 0000-0001-8819-5639
Яна С. Павлова	¹	yana.laborant.pavlova@mail.ru	 0000-0002-5663-4497

¹ Уральский государственный аграрный университет, ул. Карла-Либкнехта, д.42, г. Екатеринбург, 620075, Россия

Аннотация. Топинамбур-клубнеплод семейства астровые, имеющий важное значение в качестве натурального пищевого обогатителя продуктов питания, в том числе кисломолочных, мясных, кондитерских, хлебобулочных изделий. Из топинамбура получают экстракты, сиропы, пасты, порошки, предназначенные для обогащения пищевых продуктов. Топинамбур в своем составе содержит биологически активные вещества, в том числе уникальный углеводный комплекс, состоящий из фруктозы и ее полимеров (инулин). В настоящее время из топинамбура вырабатывают концентраты с разными функционально-технологическими свойствами, определяющими водопоглощающую и жиропоглощающую способность, химический состав и коллоидные процессы. Данный обзор посвящен анализу литературных источников, в том числе научных статей в российских и зарубежных журналах с целью изучения ассортимента продуктов питания с добавлением разных концентратов топинамбура и изучению их химических и технологических свойств. Представлен ассортимент концентратов, используемых для обогащения пищевых продуктов. Выявлены общие закономерности влияния концентратов на технологические свойства готовых продуктов. Авторами показано, что не все концентраты положительно влияют на структуру готового продукта. Проведен анализ химического состава разных концентратов из топинамбура. Высокую пищевую ценность имели концентраты с высоким углеводным составом: сушеные клубни, добавка из жома, порошок. Все анализируемые концентраты имели низкую жирность, что подтверждает возможность применения в диетическом и лечебном питании. Осуществлен анализ витаминного состава концентратов, преобладающим являлся витамин С. Определен наиболее распространенный вид концентрата из топинамбура, широко используемый в разных отраслях пищевой промышленности (порошок).

Ключевые слова: топинамбур, концентраты, продукты питания, обогащение, функционально-технологические свойства.

Analysis of the functional and technological potential of the use of Jerusalem artichoke in food production: an overview of the subject field

Eva V. Razhina	¹	eva.mats@mail.ru	 0000-0002-6305-1783
Ekaterina S. Smirnova	¹	ekaterina-kazantseva@list.ru	 0000-0003-2116-121X
Olga V. Gorelik	¹	olgao205en@ya.ru	 0000-0002-9546-2069
Alexey V. Stepanov	¹	alexeystepanow@mail.ru	 0000-0001-8819-5639
Yana S. Pavlova	¹	yana.laborant.pavlova@mail.ru	 0000-0002-5663-4497

¹ Ural State Agrarian University, Karl-Liebknecht street, 23 Ekaterinburg, 620075, Russia

Abstract. Jerusalem artichoke is a tuber of the asteraceae family, it is important as a natural food fortifier of food products, including fermented milk, meat, confectionary, bakery products. Jerusalem artichoke is used to produce extracts, syrups, pastes, powders intended for food enrichment. Jerusalem artichoke is contain biologically active substances, including a unique carbohydrate complex consisting of fructose and its polymers (inulin). Currently, concentrates with different functional and technological properties are produced from jerusalem artichoke, which determine the water-absorbing ability, chemical composition and colloidal processes. The review is devoted to the analysis of literature sources, including scientific articles in Russian and foreign journals in order to study the range of food products with the addition of different concentrates of jerusalem artichoke and study their chemical and technological properties. The range of concentrates used for food enrichment is presented. The general patterns of influence of concentrates on the technological properties of finished products were revealed. The authors have shown that not all concentrates have a positive effect on the structure of the finished product. The chemical composition of various jerusalem artichoke concentrates was analyzed. Concentrates with a high carbohydrate composition had a high nutritional value: dried tubers, pulp additive, powder. The analyzed concentrates had a low fat content, which confirms the possibility of use in dietary and therapeutic nutrition. The analyses of the vitamin composition of concentrates was carried out, vitamin C was the predominant. The most common type of Jerusalem artichoke widely used in various sectors of the food industry (powder) was determined.

Keywords: jerusalem artichoke, concentrates, food products, enrichment, functional and technological properties.

Для цитирования

Ражина Е.В., Смирнова Е.С., Горелик О.В., Степанов А.В., Павлова Я.С. Анализ функционально-технологического потенциала использования топинамбура при производстве продуктов питания // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 143–148. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-143-148

For citation

Razhina E.V., Smirnova E.C., Gorelik O.V., Stepanov A.V., Pavlova Ya.S. Analysis of the functional and technological potential of the use of Jerusalem artichoke in food production: an overview of the subject field. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 143–148. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-143-148

Введение

Здоровое питание является решающим фактором, влияющим на состояние здоровья человека. Одной из основных задач государственной политики РФ в области здорового питания является расширение ассортимента перечня пищевых продуктов, обогащенных функциональными составляющими [1–2]. В настоящее время в реализации достаточно часто встречаются продукты питания, имеющие функциональное значение, которые способствуют увеличению количества и качества питательных веществ [3].

В последние десятилетия изготовители все чаще обогащают продукты питания функциональными компонентами растительного происхождения с целью улучшения технологических и сенсорных характеристик продукта. Использование в пищу обогащенных продуктов – эффективное средство укрепления защитных функций организма [4].

Одним из функциональных компонентов растительного происхождения, получивших все большее распространение в обогащении продуктов питания, является топинамбур [5–6].

Топинамбур – клубнеплод, обладает кормовыми, лекарственными, декоративными, пищевыми и техническими характеристиками [7–9].

Клубни топинамбура содержат большое количество разнообразных биологически активных веществ: фруктоза, инулин, крахмал, аминокислоты, пектины, пищевые волокна, минеральные вещества (железо, фосфор, натрий, калий, кальций, магний), витамины А, В1, С [7, 10]. Особенно уникален углеводный комплекс, содержащий полисахарид инулин, применяемый при лечении заболеваний: сахарного диабета, подагры, язвы желудка, ишемической болезни сердца [7, 10, 11]. Инулин влияет на рост бифидо- и лактобактерий в желудочно-кишечном тракте человека, обладает желчегонным эффектом, улучшает функцию печени, способствует нормализации обмена холестерина [3, 12]. Широко используется в качестве низкокалорийного продукта в диетическом питании и желеобразователя в пищевых продуктах [13].

В настоящее время расширяется рынок обогащенных пищевых продуктов в основном путем введения зарубежных пищевых добавок. Заменой импортным добавкам может стать топинамбур, являющийся экологически чистым сырьем. Доказано, что данный продукт позволит не только профилактировать патологические состояния, но и повысить устойчивость организма к неблагоприятным факторам внешней среды [6,12].

Учеными разработаны концентраты из топинамбура: экстракты, порошки, сиропы, пасты, имеющие разные пищевые и биологические свойства.

В связи с этим возникает интерес исследования технологического использования разных концентратов, изготовленных из клубней топинамбура в составе продуктов питания.

Цель обзора – систематизация, сравнение, анализ функционально – технологических характеристик пасты, порошка, сушеных клубней топинамбура и возможности использования их при производстве кисломолочных продуктов.

Материалы и методы

Материалами для исследований являлись научные и аналитические результаты исследований отечественных и зарубежных ученых. В качестве методов использовались мониторинг, анализ используемых данных источников, систематика и обобщение с целью подведения результатов работы.

Представлен анализ эффективности использования разных видов концентратов, произведенных из топинамбура при производстве продуктов питания.

Данные исследований ученых представлены в диаграммах и таблицах. Поиск литературных источников проводили в базах данных Scopus, Web of Science, Elibrary, ЭБС Лань.

Анализ химического состава и пищевой ценности концентратов из топинамбура, используемых в разных отраслях пищевой промышленности

Данные В.И. Прокопенко, Ю.И. Куликова (рисунок 1) свидетельствуют о том, что во всех концентратах, изготовленных из топинамбура и предназначенных для производства мясных продуктов, содержалось невысокое количество белка 2–7% при большом уровне углеводов, что дает возможность использовать данные концентраты как углеводные добавки.

Наибольшее количество углеводов отмечено в сушеных клубнях – 83%, что на 6% и 23% выше по сравнению с экстрактом и порошком.

Проведен анализ пищевой ценности концентратов на основе топинамбура, используемых в производстве разных продуктов питания, таблица 1 [12–16].

Согласно исследованиям авторов, наибольшее распространение из концентратов топинамбура получили порошок и паста, используемые для обогащения разных продуктов питания. Высокую пищевую ценность имели добавка из жома топинамбура, сушеные клубни,

порошок, отличающиеся значительным содержанием углеводов (от 70,2 до 78,6%). Все концентраты отличались низким содержанием жира – 0,4–1,9%, что подтверждает возможность использования добавок в диетическом питании.

Существенную долю концентратов из топинамбура составляют углеводы, представленные в основном клетчаткой, фруктозой, глюкозой, сахарозой, инулином, пектиновыми веществами,

целлюлозой. Наиболее ценным углеводом является инулин, имеющий низкий гликемический индекс. Высокое количество углеводов способствует росту молочнокислых бактерий, что имеет большое значение при производстве кисломолочных продуктов [12]. На рисунке 2 приведен углеводный состав разных концентратов, изготовленных из топинамбура [15].

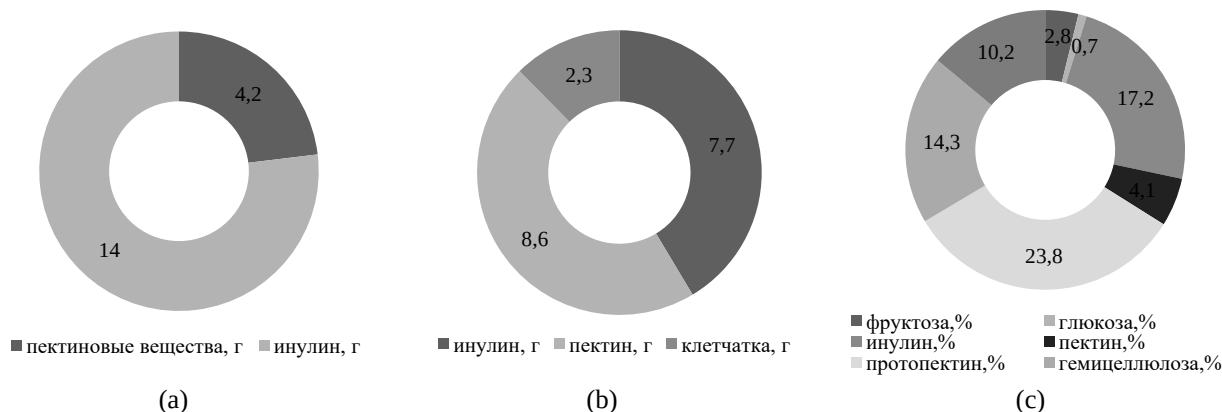


Рисунок 1. Содержание основных компонентов разных видов концентратов, изготовленных из топинамбура: (а) – паста из топинамбура; (б) – порошок; (с) – пищевая добавка для жома

Figure 1. The content of the main components of different types of concentrates made from Jerusalem artichoke: (a) topinambour paste; (b) powder; (c) food additive for pulp

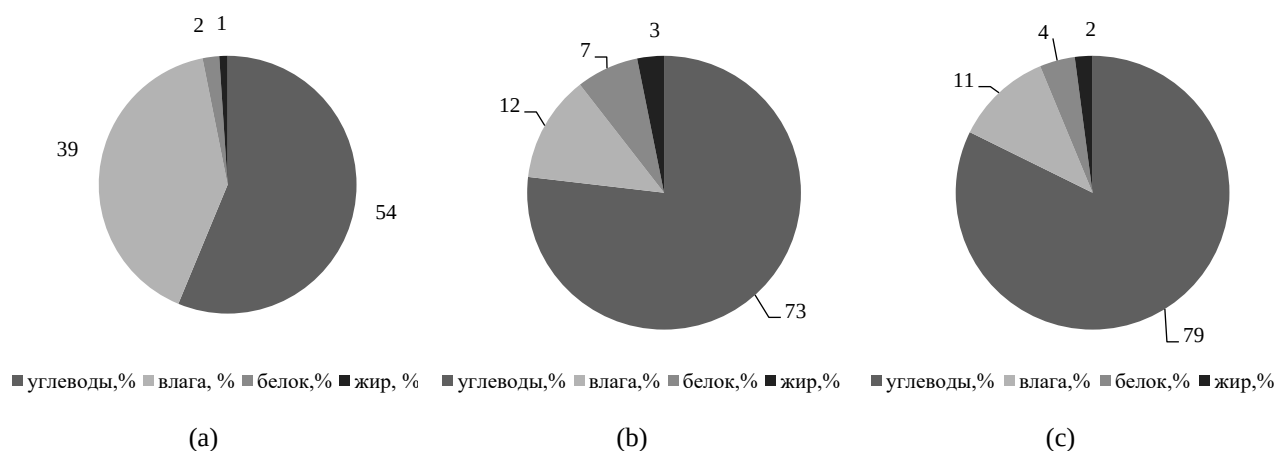


Рисунок 2. Углеводный состав концентратов из топинамбура, применяемых в хлебобулочной, мясной, молочной отраслях промышленности: (а) – экстракт; (б) – порошок; (с) – сушеные клубни

Figure 2. Carbohydrate composition of Jerusalem artichoke concentrates used in the bakery, meat, dairy industries: (a) extract; (b) powder; (c) dried tubers

Экспериментальные данные различных авторов согласуются с выводами ученого Васильева А.С., с целью обогащения хлебобулочных изделий топинамбуром разрабатывают концентраты со значительным содержанием инулина, что влияет на увеличение водопоглощающих свойств муки, способствует уплотнению структуры теста, сокращению содержания сахара и снижению энергосодержания [15].

Не все концентраты из топинамбура оказывают положительное воздействие на структуру

продукта, их органолептические показатели. Согласно данным Рябовой В.Ф., включение порошка из топинамбура в рецептуру хлебобулочных изделий приводит к разрушению структуры ценного сырья, в результате этого теряются ценные биологически активные вещества, и снижается пористость мякиша [17].

Большинство концентратов из топинамбура содержит водорастворимые витамины и минеральные вещества, что отражено в работе Барсуковой И.Г. (таблица 2) [18].

При исследовании витаминного состава авторами определено содержание водорастворимых витаминов. Наибольшее содержание витамина С и минеральных веществ определено в порошке. Витамины группы В преобладали в пасте.

Анализ водопоглощающей (ВПС) и жиропоглощающей (ЖПС) способности разных концентратов из топинамбура

Водопоглощающая способность концентратов из топинамбура зависит от содержания инулина. В исследованиях Васильева А.С. показано, что инулин связывает воду в четырехкратном увеличении в сравнении с собственной массой, повышается влажность готовых изделий, интенсифицируется жизнедеятельность бродильных микроорганизмов. Порошок из топинамбура возможно использовать в роли фитоулучшителя готовых хлебобулочных изделий. Использование порошка топинамбура увеличивает водопоглотительную способность муки, что влияет на уплотнение структуры теста и увеличение пористости готовых изделий [15].

Данные Прокопенко В.И. свидетельствуют о высоких уровнях водопоглощающей и жиропоглощающей способности порошка и сушеных клубней (рисунок 3), что окажет положительный эффект при изготовлении колбас [14].

Доказано, что пищевая добавка из жома топинамбура имеет высокую водопоглощающую способность, проявляющуюся в большей степени при повышении температуры.

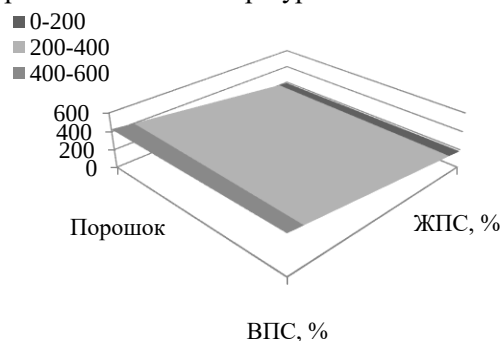


Рисунок 3. Водопоглощающая и жиропоглощающая способность концентратов из топинамбура

Figure 3. Water-absorbing and fat-absorbing capacity of Jerusalem artichoke concentrates

Таблица 1.

Пищевая ценность разных видов концентратов из топинамбура

Table 1.

Nutritional value of different types of jerusalem artichoke concentrates

Химический состав Chemical composition	Экстракт Extract	Порошок Powder	Паста Pasta	Сушеные клубни Dried tubers	Пищевая добавка из жома Food additive from pulp
Кисломолочные продукты Fermented milk products					
Жир, % Fat, %	-	2,5 ± 0,1	0,1 ± 0,02	-	-
Белок, % Protein, %	-	3,0 ± 0,2	1,3 ± 0,06	-	16,9 ± 2,1
Углеводы, % Carbohydrates, %	-	5,2 ± 0,1	19,8 ± 0,07	-	73,1 ± 3,9
Мясные продукты (колбасные изделия) Meat products (sausage products)					
Жир, % Fat, %	1,3 ± 0,03	3,2 ± 0,07	0,1 ± 0,03	1,6 ± 0,1	-
Белок, % Protein, %	1,9 ± 0,06	7,1 ± 0,05	1,4 ± 0,09	4,1 ± 0,04	-
Углеводы, % Carbohydrates, %	54,2 ± 4,4	73,2 ± 4,6	19,3 ± 0,06	78,6 ± 3,7	-
Хлебобулочные изделия Bakery products					
Жир, % Fat, %	-	0,4 ± 0,08	0,1 ± 0,01	1,9 ± 2,0	-
Белок, % Protein, %	-	8,5 ± 0,1	1,3 ± 0,09	6,7 ± 1,3	16,9 ± 2,1
Углеводы, % Carbohydrates, %	-	70,2 ± 0,2	19,6 ± 0,04	73 ± 2,1	73,1 ± 3,9

Таблица 2.

Витаминный и минеральный состав концентратов из топинамбура

Table 2.

Vitamin and mineral composition of aerasalem artichoke concentrates

Показатель Indicator	Порошок Powder	Паста Paste
Витамин С, мг Vitamin C, mg	13,2	6,0
Витамин В1, мг Vitamin B1, mg	0,04	0,07
Витамин В2, мг Vitamin B2, mg	0,06	0,06
Витамин В6, мг Vitamin B6, mg	-	0,2
Натрий, мг Sodium, mg	15,1	3
Калий, мг Potassium, mg	260,8	200
Кальций, мг Calcium, mg	154,4	20
Магний, мг Magnesium, mg	178,9	12
Фосфор, мг Phosphorus, mg	419,5	78

Заключение

Использование разных видов концентратов из топинамбура способствует расширению ассортимента молочных, мясных, хлебобулочных изделий, улучшению технологических и пищевых

качеств готового продукта. Обогащенные изделия могут использоваться с целью придания продукту лечебно-профилактических свойств, особенно предпочтение отдается применению в питании диабетиков.

Литература

- 1 Разумовская Е.С. Состояние рынка услуг по государственной регистрации специализированной пищевой продукции // Инновации и продовольственная безопасность. 2020. № 4. С. 71–77. doi:10.31677/2072–6724–2020–30–4–71–77
- 2 Гинойн Р.В. Технология производства йогурта функционального назначения, обогащенного смесью сухого порошка пророщенной пшеницы и пюре из черники и голубики // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 283–287. doi:10.20914/2310–1202–2018–4–283–287
- 3 Елисеева Л.Г., Яценко Н.Н. Изучение пребиотических свойств кисломолочного продукта, обогащенного препаратами инулина и хрома // Хранение и переработка сельхозсырья. 2019. № 3. С. 90–99. doi: 10.36107/spfp.2019/122
- 4 Милутина А.К., Кыздарбек У., Ромазяева И.Р., Жылкыайдарова А., Кыздарбекова А.С. Разработка йогурта с антиоксидантами растительного происхождения // Молочнохозяйственный вестник. 2020. № 1. С. 103–114.
- 5 Крючкова В.В., Белик С.Н., Горлов И.Ф., Сложеникина М.И., Брехова С.А. Разработка рецептуры и оценка функционально-технологических свойств кисломолочного продукта, обогащенного топинамбуром и красной смородиной // Хранение и переработка сельхоз сырья. 2019. № 3. С. 46–55. doi:10.36107/spfp.2019.192
- 6 Qiu. Y., Ley P., Zhang I., Sha Y. Recent advances in bio-based multi-products of agricultural Jerusalem artichoke resources // Biotechnology for Biofuels. 2018. P. 1–15. doi:10.1186/s13068–018–1152–6
- 7 Коломейченко В.В. Полевые и огородные культуры России. Кормовые: монография; 2-е изд., испр. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 560 с.
- 8 Dubkova N.Z., Kharkov V.V., Vakhitov M.R. Using Jerusalem artichoke in functional food production // Foods and raw materials. 2021. P. 69–78. doi:10.21603/2308–4057–2021–1–69–78
- 9 Думанишева З.С. Определение оптимального способа производства пасты из топинамбура // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2019. № 4(26). С. 44–48.
- 10 Игитханян Д.А., Габриелян Д.С. Проектирование состава кисломолочного продукта с использованием растительных ингредиентов и обеспечением безопасности его производства // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов регионам. 2021. 346 с.
- 11 Shariati M.A., Khan M.U., Hleba L. Topinambur (The Jerusalem artichoke): nutritional value and its application in food products: an update treatise // Journal of microbiology, biotechnology and food sciences. 2021. P. 1–8. doi: 10/15414/jmbs.4737
- 12 Дубовик А.В., Крючкова В.В., Горлов И.Ф., Белик С.Н. Технология кисломолочного продукта, обогащенного растительными компонентами // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2019. № 4(26). С. 44–48.
- 13 Puchkova T.S., Pikhalo D.M., Karasyova O.M. About the universal technology of processing Jerusalem artichoke and chicory for inulin // Food systems. 2019. P. 36–43. doi: 10.21323/2618–9771–2019–2–2–36–43
- 14 Прокопенко В.И., Куликов Ю.И. Сравнительная оценка функционально-технологических свойств концентратов топинамбура // Известия вузов. Пищевая технология. 2017. № 2–3. С. 36–38.
- 15 Васильев А.С., Чумакова Е.Н., Фаринюк Ю.Т. Формирование показателей качества пшеничного хлеба при добавлении порошка топинамбура // Вестник КрасГАУ. 2019. № 5. С. 174–181.
- 16 Adel K.H.M., Ali H.M., Ahmed E.A. Influence of Jerusalem artichoke as inulin rich component on ice milk characteristics // Word journal of dairy and food sciences. №. 16(1). P. 1–7.
- 17 Рябова В.Ф., Латыпова С.Ш., Ходакова Е.Е., Миллер Д.Э. Пищевая добавка из топинамбура для производства хлебобулочных изделий с лечебно-профилактическими свойствами // Молодой ученый. 2015. № 23(103). С. 217–219.
- 18 Петрухин Д.А., Ковалева Е.Д., Ключко Н.Ю. Современные тенденции в производстве мармеладо-пастильных изделий // Вестник молодежной науки. 2020. №. 3 (25). С. 13.
- 19 Лисовой В.В., Купин Г.А., Казмирова М.А., Лукьяненко М.В. Исследование химического состава и свойств пищевой добавки из топинамбура // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. 2016. № 4. С. 86–89.
- 20 Maumela P., Rensburg E., Anny F.A. Chimphango. Sequential extraction of protein and inulin from the tubers of Jerusalem artichoke // Journal of Food Science and Technology. 2020. V. 57. P. 775–786.

References

- 1 Razumovskaya E.S. State of the market of services for the state registration of specialized food products. Innovations and Food Security. 2020. no. 4. pp. 105–113. doi:10.31677/2072–6724–2020–30–4–71–77 (in Russian).
- 2 Ginoyan R.V., Nazarova N.E. Bondareva Yu.N. Technology for production of functional yogurt enriched with a mixture of dry powder of germinated wheat and blueberry puree. VSUIT Bulletin. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 283–287 (in Russian).
- 3 Eliseeva L.G., Yatsenko N.N. Study of the prebiotic properties of a fermented milk product enriched with inulin and chromium preparations. Storage and processing of agricultural raw materials. 2019. no. 3. P. 90–99. doi: 10.14412/1996–7012–2015–2–23–27 (in Russian).
- 4 Milyutina A.K., Kyzdarbek U., Romazyeva I.R., Zhylykaydarova A., Kyzdarbekova A.S. Development of yogurt with antioxidants of plant origin. Dairy Bulletin. 2020. no. 1. pp 103–114. (in Russian).
- 5 Kryuchkova V.V., Belik S.N., Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Brekhova S.A. Formulation development and assessment of functional and technological properties of fermented milk product enriched with Jerusalem artichoke and red currant. Storage and processing of agricultural raw materials. 2019. no. 3. pp. 46–55. (in Russian).

- 6 Qiu. Y., Ley P., Zhang I., Sha Y. Recent advances in bio-based multi-products of agricultural Jerusalem artichoke resources. *Biotechnology for Biofuels*. 2018. pp. 1–15. doi:10.1186/s13068-018-1152-6.
- 7 Kolomeychenko V.V. Field and garden crops in Russia. Feed: monograph. St. Petersburg, Lan, 2022. 560 p. (in Russian).
- 8 Dubkova N.Z., Kharkov V.V., Vakhitov M.R. Using jerusalem artichoke in functional food production. *Foods and raw materials*. 2021. pp. 69–78. doi:10.21603/2308-4057-2021-1-69-78
- 9 Dumanisheva Z.S. Determining the optimal method of producing pasta from Jerusalem artichoke. *Izvestia of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokova*. 2019. no. 4(26). pp. 44–48. (in Russian).
- 10 Igithanyan D.A., Gabrielyan D.S. Designing the composition of the fermented milk product using vegetable ingredients and ensuring the safety of its production. *Young researchers of agro-industrial and forestry complexes to the regions*. 2021. 346 p. (in Russian).
- 11 Shariati M.A., Khan M.U., Hleba L. Topinambur (The Jerusalem artichoke): nutritional value and its application in food products: an update treatise. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*. 2021. pp. 1–8. doi: 10/15414/jmbs.4737
- 12 Dubovik A.V., Kryuchkova V.V., Gorlov I.F., Belik S.N. Technology of fermented milk product enriched with vegetable components. *Izvestia of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokova*. 2019. no. 4(26). pp. 44–48. (in Russian).
- 13 Puchkova T.S., Pikhalo D.M., Karasyova O.M. About the universal technology of processing jerusalem artichoke and chicory for inulin. *Food systems*. 2019. pp. 36–43. doi: 10.21323/2618-9771-2019-2-2-36-43
- 14 Prokopenko V.I., Kulikov Yu. I. Comparative assessment of functional and technological properties of girasol concentrates. *Izvestia of universities. Food technology*. 2017. no. 2–3. pp. 36–38. (in Russian).
- 15 Vasiliev A.S., Chumakova E.N., Farinyuk Yu. T. Formation of wheat bread quality indicators when adding girasol powder. *Vestnik KrasGAU*. 2019. no 5. pp. 174–181. (in Russian).
- 16 Adel K.H.M., Ali H.M., Ahmed E.A. Influence of jerusalem artichoke as inulin rich component on ice milk characteristics. *Word journal of dairy and food sciences*. no. 16(1). pp. 1–7.
- 17 Ryabova V.F., Latypova S.S., Khodakova E.E., Miller D.E. Girasol food additive for the production of bakery products with therapeutic and preventive properties. *Young scientist*. 2015. no. 23(103). pp. 217–219. (in Russian).
- 18 Petrukhin D.A., Kovaleva E.D., Klyuchko N.Yu. Modern trends in the production of marmalade-pastille products. *Bulletin of Youth Science*. 2020. no. 3 (25). pp. 13. (in Russian).
- 19 Lisovoy V.V., Kupin G.A., Kazimirova M.A., Lukyanenko M.V. Study of the chemical composition and properties of the girasol food additive. *Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex-healthy food products*. 2016. no. 4. pp. 86–89.
- 20 Maumela P., E. Rensburg, Anny F.A. Chimphango. Sequential extraction of protein and inulin from the tubers of Jerusalem artichoke. *Journal of Food Science and Technology*. 2020. vol. 57. pp. 775–786.

Сведения об авторах

Ева В. Ражина старший преподаватель, кафедра биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, ул. Карла-Либкнехта, 42, г. Екатеринбург, 620075, Россия, eva.mats@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6305-1783>

Екатерина С. Смирнова к.с.-х.н., доцент, кафедра биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, ул. Карла-Либкнехта, 42, г. Екатеринбург, 620075, Россия, ekaterina-kazantseva@list.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2116-121X>

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>

Алексей В. Степанов к.с.-х. наук, доцент, кафедра биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, ул. Карла-Либкнехта, 42, г. Екатеринбург, 620075, Россия, alexeystepanow@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8819-5639>

Яна С. Павлова старший преподаватель, кафедра биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, ул. Карла-Либкнехта, 42, г. Екатеринбург, 620075, Россия, yana.laborant.pavlova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5663-4497>

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

Eva V. Razhina senior lecturer, biotechnology and food products department, Ural State Agrarian University, Karla-Liebknecht street, 42 Yekaterinburg, 620075, Russia, eva.mats@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6305-1783>

Ekaterina S. Smirnova Cand. Sci. (Agric.), associate professor, biotechnology and food products department, Ural State Agrarian University, Karla-Liebknecht street, 42 Yekaterinburg, 620075, Russia, ekaterina-kazantseva@list.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2116-121X>

Olga V. Gorelik Dr. Sci. (Agric.), professor, biotechnology and food products department, Ural State Agrarian University, Karla-Liebknecht street, 42 Yekaterinburg, 620075, Russia, olgao205en@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9546-2069>

Alexey V. Stepanov Cand. Sci. (Agric.), associate professor, of biotechnology and food products department, Ural State Agrarian University, Karla-Liebknecht street, 42 Yekaterinburg, 620075, Russia, alexeystepanow@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8819-5639>

Yana S. Pavlova senior lecturer, biotechnology and food products department, Ural State Agrarian University, Karla-Liebknecht street, 42 Yekaterinburg, 620075, Russia, yana.laborant.pavlova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5663-4497>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 29/12/2022	После редакции 03/02/2023	Принята в печать 20/02/2023
Received 29/12/2022	Accepted in revised 03/02/2023	Accepted 20/02/2023

Перспективные методы интенсификации процесса экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки

Ольга С. Корнеева	¹	korneeva-olgas@ya.ru	 0000-0002-2863-0771
Светлана Ф. Яковлева	¹	svetlana.yakovleva.68@mail.ru	 0000-0003-3686-9966
Наталья А. Матвиенко	¹	natali25_81@mail.ru	 0000-0003-4777-003X
Лариса Н. Фролова	¹	fln-84@mail.ru	 0000-0002-6505-4136
Екатерина А. Мотина	¹	emotina18@mail.ru	 0000-0002-3433-2754
Галина П. Шуваева	¹	gpshuv@mail.ru	 0000-0001-9536-6512

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

Аннотация. Свеклосахарная промышленность России имеет неисчерпанные резервы своего развития, поэтому для их использования требуется комплекс мер по повышению эффективности производства сахара, в котором важную роль необходимо уделять процессу экстрагирования. Эффективность процесса экстрагирования определяет условия проведения последующих технологических операций, оказывает влияние на производство сахара в целом. Кроме того, в результате экстрагирования образуется многотоннажный отход свеклосахарного производства – жом, проблемы утилизации которого остро стоят перед сахарной отраслью. Поэтому комплексное рассмотрение процесса производства сахара включает вопросы глубокой переработки жома, как ценного сырьевого ресурса, способствующей уменьшению количества отходов свеклосахарного производства и решающей проблемы загрязнения окружающей среды. Свеклосахарная промышленность занимает важное место в агропромышленном комплексе страны. Среди отраслей пищевой и перерабатывающей промышленности России свеклосахарное производство одно из наиболее высокоиндустриальных и энергоемких. Эта монопродуктовая отрасль представляет собой весьма своеобразное явление в экономике и, в частности, в пищевой промышленности. В данной статье мы рассмотрим несколько наиболее перспективных методов интенсификации процесса экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки, а также переработки вторичных ресурсов свеклосахарного производства с получением новых продуктов высокого качества.

Ключевые слова: интенсификация, экстрагирование сахарозы, свекловичная стружка, свекловичный жом.

Promising methods for intensifying the process of sucrose extraction from beet chips

Olga S. Korneeva	¹	korneeva-olgas@ya.ru	 0000-0002-2863-0771
Svetlana F. Yakovleva	¹	svetlana.yakovleva.68@mail.ru	 0000-0003-3686-9966
Natalia A. Matvienko	¹	natali25_81@mail.ru	 0000-0003-4777-003X
Larisa N. Frolova	¹	fln-84@mail.ru	 0000-0002-6505-4136
Ekaterina A. Motina	¹	emotina18@mail.ru	 0000-0002-3433-2754
Galina P. Shuvaeva	¹	gpshuv@mail.ru	 0000-0001-9536-6512

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

Abstract. The sugar beet industry in Russia has unexhausted reserves of its development, so to use them requires a set of measures to improve the efficiency of sugar production, in which an important role should be given to the extraction process. The efficiency of the extraction process determines the conditions of subsequent technological operations and affects the production of sugar in general. In addition, as a result of extraction produces a multi-tonnage waste of sugar beet production - pulp, the problem of disposal of which is acute for the sugar industry. Therefore, a comprehensive consideration of the process of sugar production includes the issues of deep processing of pulp, as a valuable raw material resource, which contributes to reducing the amount of waste sugar beet production and solving the problem of environmental pollution. Sugar beet industry occupies an important place in the agro-industrial complex of the country. Among the food and processing industries in Russia, sugar beet production is one of the most highly industrialized and energy-intensive. This monoprodukt industry is a very peculiar phenomenon in the economy and, in particular, in the food industry. In this article we will consider some of the most promising methods for intensifying the process of sucrose extraction from beet chips, as well as processing of secondary resources of sugar beet production with obtaining new products of high quality.

Keywords: intensification, sucrose extraction, beet chips, beet pulp.

Для цитирования

Корнеева О.С., Яковлева С.Ф., Матвиенко Н.А., Фролова Л.Н., Мотина Е.А., Шуваева Г.П. Перспективные методы интенсификации процесса экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 149–155. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-149-155

For citation

Korneeva O.S., Yakovleva S.F., Matvienko N.A., Frolova L.N., Motina E.A., Shuvaeva G.P. Promising methods for intensifying the process of sucrose extraction from beet chips. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 149–155. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-149-155

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

Введение

Из наиболее перспективных приёмов, позволяющих интенсифицировать процесс экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки, а также переработку вторичных ресурсов свеклосахарного производства, является применение электрохимически активированных (ЭХА) водных растворов.

Одним из направлений решения этой задачи является усовершенствование процесса экстрагирования сахарозы с одновременной очисткой диффузионного сока и получением экологически чистого жома посредством предварительной подготовки свекловичной стружки и экстрагента с применением инновационных технологий. Полученный жом можно эффективно использовать как сырьё для производства новой продукции (пектина и пищевых волокон), расширяющей ассортимент отечественных недорогих функциональных продуктов питания, что в свою очередь является стратегическим направлением развития пищевой промышленности в области здорового питания населения России.

От эффективности работы диффузионного отделения во многом зависит выбор варианта проведения известково-углекислотной очистки сахаросодержащего раствора, а количество получаемого товарного сахара находится в непосредственной зависимости от степени извлечения сахарозы из сырья. Таким образом, получение диффузионного сока является одной из наиболее важных операций свеклосахарного производства.

Проведены исследования, убедительно доказывающие, что одним из наиболее перспективных приёмов, позволяющих интенсифицировать процесс экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки, является применение электрохимически активированных (ЭХА) водных растворов, полученных в диафрагменном электролизёре [1]. В результате такой обработки получают две фракции растворов: анолит и католит. В объёме электролита под влиянием постоянного электрического тока протекают сложные физико-химические процессы, следствием которых могут быть коагуляция, флуктуация частиц, изменение валентности ионов в окислительно-восстановительных реакциях, деструкция сложных соединений, формирование твёрдой, жидкой и газовой фаз и др.

Подбирая режим активации, можно получать растворы с нужными параметрами. Например, обработка раствора в диафрагменном электролизёре позволяет направленно изменять pH и окислительно-восстановительный потенциал. Особого внимания заслуживают дезинфицирующие свойства ЭХА растворов, особенно анолитов.

Это свойство находит широкое применение в разных областях деятельности человека. Положительные стороны анолитов как дезинфицирующих веществ, выгодно отличают их от химических препаратов, применяемых для этой цели:

отсутствие побочного остаточного химизма вследствие релаксации в исходное состояние (превращение в обычную воду). Поэтому после применения ЭХА растворов не требуется промывки оборудования, исключается токсикация помещений и оборудования, не происходит накопления вредного вещества в готовом продукте, что очень важно для пищевой промышленности;

универсальный спектр действия ЭХА растворов на микробиологические объекты, т. е. губительное действие на все микроорганизмы: бактерии, грибы, вирусы и др., в том числе споровые формы;

отсутствие у микроорганизмов адаптивного эффекта привыкания;

безвредность по отношению к соматическим клеткам растений, животных и человека;

ЭХА раствор готовится непосредственно на месте потребления перед применением, поэтому нет надобности его хранить и транспортировать.

Электрохимическая активация позволяет снижать вязкость растворов благодаря изменению химического состава и накоплению газов в растворе. Это свойство, несомненно, представляет повышенный интерес, поскольку в средах с пониженной вязкостью интенсифицируются массообменные процессы, в том числе и экстрагирование сахарозы.

Исследования показывают, что экстрагирование сахарозы ЭХА растворами наиболее эффективно проводить при температуре 63–65 °С. Между тем, температура традиционной диффузии составляет 72–75 °С. В случае применения ЭХА экстрагента при увеличении температуры выше 65 °С наблюдается ухудшение качества диффузионного сока. Этот эффект можно объяснить влиянием двух факторов. Во-первых, на коэффициент молекулярной диффузии сахарозы активно влияет температура: чем она выше, тем выше коэффициент диффузии и больше сахарозы переходит в раствор, но, вместе с тем, увеличивается гидролиз протопектина, что значительно снижает чистоту диффузионного сока. Во-вторых, активация экстрагента повышает физико-механические свойства стружки и интенсифицирует процесс экстракции из свекловичной ткани. Благодаря этому уже при 65 °С чистота диффузионного сока выше, чем при температуре традиционной диффузии (72 °С). При дальнейшем росте температуры увеличивается переход несахаров в раствор, что отрицательно сказывается на качестве диффузионного сока [2].

Интерес представляют также изучение электрической проводимости, окислительно-восстановительного потенциала, химического состава и других параметров ЭХА растворов. Установлено, что использование электрохимической обработки позволяет снизить вязкость растворов в среднем на 10–12%. Интересен обнаруженный факт, что в воде с большой примесью органических веществ (жомопрессовая вода, вода из открытого водоёма) наблюдается наименьшая вязкость. Так же использование электрохимической активации способствует увеличению коэффициента диффузии в среднем на 15%.

Методы

Нами исследовано влияние способов обработки свекловичной стружки ЭХА растворами различных реагентов на качество получаемых соков. Установлено, что после обработки стружки анолитом с последующим ошпариванием католитом и использованием в качестве экстрагента на диффузии ЭХА католита, соки имеют наилучшие показатели качества. При опрыскивании стружки ЭХА анолитами ее поверхность дезинфицируется, происходит инактивация ферментов, вследствие чего отсутствуют видимые признаки протекания окислительных реакций. Последующее ошпаривание католитами, содержащими ионы поливалентных металлов, способствует фиксации группы несахаров в стружке, что препятствует переходу и накоплению их в диффузионном соке. При такой подготовке свекловичной стружки содержание высокомолекулярных соединений в диффузионном соке снижается в 1,5 раза, в преддефекованном соке – в 3 раза, а в соке II сатурации – в 3,5 раза, содержание редуцирующих веществ и солей кальция в очищенном соке снижается 2 раза, а пектина – в 5 раз соответственно, по сравнению с традиционной схемой. Таким образом, применение водного раствора неорганической соли, подвергнутого электрохимической обработке, для подготовки стружки и воды позволяет повысить эффективность экстрагирования сахарозы за счет повышения чистоты соков, снижения потерь сахарозы в жоме. Обессахаренная свекловичная стружка после процесса экстрагирования и прессования получается светлой, упругой, с минимальными потерями сахарозы (0,18–0,20%) и является ценным сырьем для получения пектина и пищевых волокон.

Далее обессахаренная свекловичная стружка используется для получения пектина с дополнительным извлечением пищевых волокон. При этом на стадии гидролиза-экстрагирования используется ЭХА раствор. Твердая фаза после экстракции католитом поступает на получение пищевых волокон, а гидролизат и экстракт используют для выделения пектиновых веществ.

Установлено, что целесообразнее использовать ЭХА воду как более эффективный гидролизующий агент и проводить процесс гидролиза-экстрагирования в следующем режиме: pH ЭХА воды – 2,5; температура – 65 °C; продолжительность – 90 минут; гидромодуль жомоводяной смеси – 1:7–1:8. Кроме того, ЭХА растворы позволяют снизить температуру и продолжительность процесса, интенсифицировать экстракцию за счет увеличения скорости химического превращения протопектина, дополнительного снижения вязкости. Это определяет повышение выхода пектина на 4% его качества, а также качества пищевых волокон (водоудерживающая способность пищевых волокон повышается на 2,5 г/г ПВ, адсорбционная способность – на 20%) [3]. Полученное технологическое решение является более перспективным по сравнению с традиционным, так как отвечает современным требованиям к экологической безопасности и энергоресурсосбережению. Использование ЭХА гидролизующего агента вместо кислот способствует организации комплексной переработки растительного сырья, повышению выхода пектина и пищевых волокон при сохранении их высокого качества.

Электрохимическая активация позволяет изменять свойства растворов. Подбирая режимы активации, можно получить ЭХА экстрагенты, обеспечивающие наиболее полное извлечение сахарозы при минимальном переходе несахаров в диффузионный сок. Результаты исследования свойств ЭХА растворов могут быть использованы для обоснования механизма их положительного действия в диффузионном процессе и разработки способов по его усовершенствованию.

Применение электрохимической активации позволяет не только интенсифицировать технологию производства сахара, уменьшить расход минеральных сырьевых ресурсов и выбросов отходов в окружающую среду, улучшить экологические показатели производства, но и открывает перспективы создания новых технологий комплексной переработки сахарной свёклы.

Можно сделать вывод о целесообразности использования ЭХА растворов с целью повышения эффективности основных технологических процессов, сокращения расхода вспомогательных материалов и энергетических ресурсов и сохранения экологической безопасности производства.

Поиск способов, интенсифицирующих процесс извлечения сахарозы из свеклы, направленных на решение проблемы комплексной переработки сырья с получением новых продуктов, является перспективным и актуальным научным направлением в развитии технологии сахара, отвечающей современным требованиям [4].

Еще одним существенным этапом подготовки свекловичной стружки к экстракции является ее обработка реагентами.

При экстрагировании сахара наиболее существенными, с точки зрения обеспечения нормальной работы диффузионных аппаратов, являются физико-химические свойства свекловичной ткани (упругость, твердость и т. д.). При низких значениях этих показателей, из-за слипания отдельных стружинок и их дробления, слой уплотняется. В результате этого уменьшается живое сечение стружечного слоя и затрудняется прохождение экстрагируемой жидкости, что влечет за собой увеличение содержания жома, продолжительности процессов, ухудшение в него нес сахаров. Наиболее полное извлечение сахара из стружки при высоком качестве диффузионного сока может быть достигнуто при таком режиме процесса, когда ткань имеет оптимальные показатели прочности.

Важнейшим элементом подготовки свекловичной стружки к экстракции следует считать обработку ее реагентами, переводящими основной компонент клеточной стенки – пектин в нерастворимое состояние. Переход пектина в раствор сопровождается переходом в раствор непереносимых его спутников – гемицеллюлоз, не удаляемых при последующей очистке и способствующих дополнительному мелассообразованию.

Для подготовки свекловичной стружки к экстрагированию использовали кальцийсодержащий реагент – мелкодисперсный порошок гипса в количестве 0,01–0,30% к массе свекловичной стружки [5]. Введение меньшего количества кальцийсодержащего реагента оказывается недостаточным для сохранения структуры свекловичной ткани и повышения активности пектиновых веществ, входящих в состав целевого продукта. При увеличении же массовой доли гипса больше 0,30% к массе свекловичной стружки повышения модуля упругости свекловичной стружки, а также сорбционной способности пищевых волокон по отношению к воде и ионам тяжелых металлов не наблюдается.

Поскольку карбоксильные группы пектина в свекловичной стружке находятся в связанном состоянии, то есть в этерифицированном виде ($-\text{COOCH}_3$), при обработке CaSO_4 происходит их освобождение путем деэтерификации и образования групп ($-\text{COO}-$), одновременно осаждается нерастворимая соль – пектат кальция. При последующем контакте полученных волокон с ионами тяжелых металлов и радионуклидами последние вытесняют кальций из пектата, занимая его место. Кроме того, обработка стружки кальцийсодержащим реагентом повышает ее реологические свойства, что в свою очередь упростит последующие обработку, промывку и прессование свекломассы.

Далее обработанную гипсом свекловичную стружку подвергают экстрагированию водой при температуре 72–75 °C. Выгруженный из диффузионного аппарата свекловичный жом прессуют до содержания сухих веществ 16–18% для более полного удаления нежелательных веществ, перешедших в растворимое состояние в процессе экстрагирования. Наличие в прессованном жоме некоторого количества ионов SO_4^{2-} предохраняет его от потемнения на следующих этапах. Кроме того, сульфат ионы обладают дезинфицирующим действием, снижают неучтенные потери сахарозы в диффузионном отделении.

Затем жом измельчают до размера частиц 0,5–3,0 мм, что позволяет увеличить поверхность растительной массы с целью улучшения процессов экстрагирования растворимых веществ, ингибирования фермента оксидазы и обесцвечивания. При размере частиц жома меньше 0,5 мм измельченная масса плохо прессуется (стекает через сито прессов); больше 3,0 мм – энзиматические системы, вызывающие потемнение продуктов переработки, не полностью ингибируются при обработке сульфитированной водой.

Далее свекловичную массу обрабатывают паром с температурой 105–115° C, что позволяет удалить специфический свекловичный запах и привкус в результате разложения простых аминов, амидов, жиров и других соединений; увеличить клеточную проницаемость ткани для последующей стадии обесцвечивания сульфитированной водой; инактивировать фермент оксидазу. Такая паровая обработка оказывает также стерилизующее действие. В качестве пара с такой температурой можно использовать вторичный пар III–IV корпусов выпарной установки, что способствовало бы рациональному расходу тепла вторичных энергетических ресурсов на сахарном заводе. Обработка жома паром с более высокой температурой (125–130 °C) приводит к лишнему расходу тепла, к рыхлости ткани, что затрудняет дальнейшее прессование и снижает вододерживающую и сорбционную способности свекловичных волокон.

По окончании паровой обработки растительные волокна прессуют до содержания сухих веществ 16,0–18,0% и подвергают экстракции сульфитированной водой при температуре 45–50 °C до достижения pH смеси 5,6–6,5, что способствует удалению низкомолекулярных веществ (остатков сахарозы, возможных пестицидов, нитратов, солей тяжелых металлов и др.), снижению перехода пектиновых веществ в раствор и более полной инактивации фермента оксидазы, предотвращая потемнение волокон при последующих операциях. Проведение экстракции при температуре выше 50 °C приводит к снижению

адсорбционной способности пищевых волокон, что объясняется переходом в растворимое состояние гидрофильных соединений (белков, пектиновых веществ, некоторых полисахаридов гемицеллюлоз).

Безопасность использования сернистого ангидрида, применяемого для получения сульфитированной воды, заключается в его летучести, за счет чего он легко уходит из среды, особенно при нагревании и контакте с воздухом. В связи с вышеуказанным, объясняется отсутствие стадии отмывания свекломассы от сульфитированной воды.

Далее массу прессуют до содержания сухих веществ 20,0–25,0%, сушат до влажности 5,5–6,5%, что позволяет сохранить качественные характеристики пищевых волокон и увеличить срок их хранения. Высушенную массу волокон измельчают до порошкообразного состояния и рассеивают. Фракцию с размером частиц более 0,4 мм возвращают на измельчение.

Результаты и обсуждение

Состав и свойства пищевых волокон, полученных по предлагаемому способу, в сравнении с ближайшим аналогом, представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Состав и свойства пищевых волокон

Table 1.

Composition and properties of dietary fiber

Показатель Index	Ближайший аналог The closest analogue	Предлагаемый способ Suggested method
Влажность, % Water content, %	11–12	5,5–6,5
Состав пищевых волокон, % к массе сухих веществ		
Суммарное количество ПВ Total number of PV	78–84	80–86
Сахар Sugar	2–3	2–3
Минеральные вещества Minerals	3–4	3–4
Фракционный состав пищевых волокон, % к массе сухих веществ Fractional composition of dietary fiber, % to the mass of dry substances		
Целлюлоза Cellulose	20–24	22–26
Гемицеллюлоза Hemicellulose	26–28	31–33
Общий пектин Total Pectin	18–20	23–27
нерастворимый протопектин insoluble protopectin	10–11	13–15
растворимый пектин soluble pectin	8–9	10–12
Лигнин Lignin	4–5	4–5
ВУС, г воды/г ПВ VUS, g water/g PV	5,0–5,5	5,8–6,2
Адсорбционная емкость, мг-экв/г ПВ Adsorption capacity, mg-eq/g PV	16,9–22,4	18,6–24,6
Белизна, ед. прибора Whiteness, unit of the device	83,0–85,0	84,3–87,5
Вкус Taste	Нейтральный	Нейтральный
Запах Smell	Нейтральный	Нейтральный

Данный способ позволяет увеличить суммарное количество (выход) пищевых волокон (ПВ) на 4–6%, в том числе целлюлозы на 2–4%, гемицеллюлозы на 3–5%, пектиновых веществ на 5–6%. Улучшаются функциональные свойства ПВ – увеличиваются водоудерживающая способность (ВУС) на 0,7–0,8 г/г ПВ и адсорбционная емкость на 2,6–7,7 мг-экв/г ПВ. Белизна продукта повышается на 1,3–4,5 ед. прибора. Эффективность данного способа заключается в увеличении сорбционных свойств ПВ путем активизации содержащихся в них пектиновых веществ под действием кальцийсодержащего реагента.

Заключение

Разработанный способ прост, не требует дорогостоящих реактивов, обеспечивает большой выход пищевого волокна из свекловичного жома путем уменьшения потерь основных компонентов в процессе экстрагирования свекловичной стружки, паровой обработки и экстракции свекломассы

сульфитированной водой; позволяет улучшить качество готового продукта за счет снижения цветности и повышения сорбционных свойств, а также получить ценную пищевую добавку, которую можно применять в различных отраслях пищевой промышленности.

Кроме того, данный способ отвечает одному из важнейших направлений повышения эффективности современного производства – созданию малоотходных и безотходных технологий, более широкому вовлечению в хозяйственный оборот вторичных сырьевых ресурсов [6–20].

В этой статье мы рассмотрели несколько наиболее перспективных приемов интенсификации процесса экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки, а также переработки свекловичного жома с целью получения пищевых волокон, которые могут быть использованы в пищевой промышленности для улучшения качества и функциональности различных продуктов.

Литература

- 1 Лосева В.А., Ефремов А.А., Матвиенко Н.А., Путилина Л.Н. Новые виды продукции из сахарной свёклы // Сахар. 2009. № 3. С. 52–55.
- 2 Сидорченко Е.И., Захарченко Т.Н., Пушанко Н.Н. интенсификация процесса экстрагирования сахарозы с применением электромембранной подготовки реагента // Вестник Алматинского технологического университета. 2015. №. 4. С. 11-15.
- 3 Олишевский В.В. и др. Оптимальные параметры процесса экстрагирования сахарозы с применением наноразмерного гидроксида алюминия // Сахар. 2020. №. 8. С. 8-11.
- 4 Лоскутов А.Ю., Парахин Р.В. Способы повышения эффективности экстрагирования сахарозы // Проблемы, перспективы и направления инновационного развития науки. 2016. С. 51-53.
- 5 Пат. № 2340678, RU, А 23 L 1/214, С 13 С 3/00. Способ получения пищевого волокна из свекловичного жома / Лосева В.А., Путилина Л.Н., Матвиенко Н.А., Шестова С.М. Оpubл. 10.12.08, Бюл. № 34.
- 6 Воробьев Е.И., Майшак Ф. Селективное извлечение сахарозы из свёклы методом электроплазмолиза и его влияние на технологию сахарного производства // Сахар. 2018. №. 3. С. 19-27.
- 7 Fasahat P. et al. Sucrose accumulation in sugar beet: From fodder beet selection to genomic selection // Sugar Tech. 2018. V. 20. P. 635-644.
- 8 Hosseini S.Z., Abbasi Souraki B. Simulation of mass transfer during sucrose extraction from sugar beet using a combined analytical and semi-empirical model // Chemical Engineering Communications. 2022. P. 1-12.
- 9 McGrath J.M., Townsend B.J. Sugar beet, energy beet, and industrial beet // Industrial crops: Breeding for bioenergy and bioproducts. 2015. P. 81-99.
- 10 Šereš Z. et al. Application of biocides in the process of sucrose extraction from sugar beet: Effect on sucrose content, number of *Leuconostoc* colonies and wet pulp characteristics // LWT. 2017. V. 75. P. 17-24.
- 11 Jung B. et al. Identification of the transporter responsible for sucrose accumulation in sugar beet taproots // Nature Plants. 2015. V. 1. №. 1. P. 1-6.
- 12 Almohammed F., Mhemdi H., Vorobiev E. Several-staged alkaline pressing-soaking of electroporated sugar beet slices for minimization of sucrose loss // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2016. V. 36. P. 18-25.
- 13 Pan L. et al. Determination of sucrose content in sugar beet by portable visible and near-infrared spectroscopy // Food chemistry. 2015. V. 167. P. 264-271.
- 14 Almohammed F., Mhemdi H., Vorobiev E. Pulsed electric field treatment of sugar beet tails as a sustainable feedstock for bioethanol production // Applied Energy. 2016. V. 162. P. 49-57.
- 15 Ruban N.V., Kulneva N.G., Zhuravlev M.V. Justification of the Energy Efficiency of the Technology for the Thermochemical Preparation of Beet Chips for the Extraction of Sucrose Using Exergy Analysis Methods // Health, Food & Biotechnology. 2021. V. 1. №. 3. P. 69-83. doi: 10.36107/hfb.2019.i3.s264
- 16 Zhuravlev M.V., Kulneva N.G., Agafonov G.V., Naumchenko I.S. et al. The rationale for the method of thermochemical processing of beet chips before extraction of sucrose // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. V. 640. №. 5. P. 052020. doi: 10.1088/1755-1315/640/5/052020
- 17 Степанова Е.Г., Орлов Б.Ю. Использование электротехнологии и тепловой обработки свекловичной стружки при исследовании процесса экстрагирования сахара // Альманах мировой науки. 2016. №. 2-1. С. 36-39.
- 18 Кульнева Н.Г., Беляева Л.А., Белогурова Н.А., Карасева О.М. Эффективный способ экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки // Экономика. Инновации. Управление качеством. 2016. №. 3. С. 14а-15.
- 19 Степанова Е.Г. и др. Анализ факторов, влияющих на эффективность экстрагирования сахара из свеклы с применением методов электротехнологии // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции. 2020. С. 257-263.
- 20 Семенов Е.В., Славянский А.А. Расчет процесса обессахаривания свекловичной стружки в диффузионном аппарате // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2017. Т. 7. №. 1 (20). С. 95-101.

References

- 1 Loseva V.A., Efremov A.A., Matvienko N.A., Putilina L.N. New types of sugar beet products. Sugar. 2009. no. 3. pp. 52-55. (in Russian).
- 2 Sidorchenko E.I., Zakharchenko T.N., Pushanko N.N. intensification of the sucrose extraction process using electromembrane preparation of the reagent. Bulletin of the Almaty Technological University. 2015. no. 4. pp. 11-15. (in Russian).
- 3 Olishovsky V.V. et al. Optimal parameters of sucrose extraction process using nanoscale aluminum hydroxide. Sugar. 2020. no. 8. pp. 8-11. (in Russian).
- 4 Loskutov A.Yu., Parakhin R.V. Ways to increase the efficiency of sucrose extraction. Problems, prospects and directions of innovative development of science. 2016. pp. 51-53. (in Russian).
- 5 Loseva V.A., Putilina L.N., Matvienko N.A., Shestova S.M. A method for obtaining dietary fiber from beet pulp. Patent RF, no. 2340678, 2008.
- 6 Vorobyev E.I., Maishak F. Selective extraction of sucrose from beet by electropasmolysis and its effect on sugar production technology. Sugar. 2018. no. 3. pp. 19-27. (in Russian).
- 7 Fasahat P. et al. Sucrose accumulation in sugar beet: From fodder beet selection to genomic selection. Sugar Tech. 2018. vol. 20. pp. 635-644.
- 8 Hosseini S.Z., Abbasi Souraki B. Simulation of mass transfer during sucrose extraction from sugar beet using a combined analytical and semi-empirical model. Chemical Engineering Communications. 2022. pp. 1-12.
- 9 McGrath J.M., Townsend B.J. Sugar beet, energy beet, and industrial beet. Industrial crops: Breeding for bioenergy and bioproducts. 2015. pp. 81-99.
- 10 Šereš Z. et al. Application of biocides in the process of sucrose extraction from sugar beet: Effect on sucrose content, number of *Leuconostoc* colonies and wet pulp characteristics. LWT. 2017. vol. 75. pp. 17-24.

- 11 Jung B. et al. Identification of the transporter responsible for sucrose accumulation in sugar beet taproots. *Nature Plants*. 2015. vol. 1. no. 1. pp. 1-6.
- 12 Almohammed F., Mhemdi H., Vorobiev E. Several-staged alkaline pressing-soaking of electroporated sugar beet slices for minimization of sucrose loss. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2016. vol. 36. pp. 18-25.
- 13 Pan L. et al. Determination of sucrose content in sugar beet by portable visible and near-infrared spectroscopy. *Food chemistry*. 2015. vol. 167. pp. 264-271.
- 14 Almohammed F., Mhemdi H., Vorobiev E. Pulsed electric field treatment of sugar beet tails as a sustainable feedstock for bioethanol production. *Applied Energy*. 2016. vol. 162. pp. 49-57.
- 15 Ruban N.V., Kulneva N.G., Zhuravlev M.V. Justification of the Energy Efficiency of the Technology for the Thermochemical Preparation of Beet Chips for the Extraction of Sucrose Using Exergy Analysis Methods. *Health, Food & Biotechnology*. 2021. vol. 1. no. 3. pp. 69-83. doi: 10.36107/hfb.2019.i3.s264
- 16 Zhuravlev M.V., Kulneva N.G., Agafonov G.V., Naumchenko I.S. et al. The rationale for the method of thermochemical processing of beet chips before extraction of sucrose. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2021. vol. 640. no. 5. pp. 052020. doi: 10.1088/1755-1315/640/5/052020
- 17 Stepanova E.G., Orlov B.Yu. The use of electrical technology and heat treatment of beet chips in the study of the sugar extraction process. *Almanac of World science*. 2016. no. 2-1. pp. 36-39. (in Russian).
- 18 Kulneva N.G., Belyaeva L.A., Belogurova N.A., Karaseva O.M. An effective method of extracting sucrose from their beet chips. *Economy. Innovation. Quality management*. 2016. no. 3. pp. 14a-15. (in Russian).
- 19 Stepanova E.G. et al. Analysis of factors affecting the efficiency of sugar extraction from beets using electrotechnology methods. *Modern aspects of production and processing of agricultural products*. 2020. pp. 257-263. (in Russian).
- 20 Semenov E.V., Slavyansky A.A. Calculation of the process of desaccharification of beet chips in a diffusion apparatus. *Izvestiya vuzov. Applied chemistry and biotechnology*. 2017. vol. 7. no. 1 (20). pp. 95-101. (in Russian).

Сведения об авторах

Ольга С. Корнеева д.б.н., профессор, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, korneeva-olgas@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2863-0771>

Светлана Ф. Яковлева к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, svetlana.yakovleva.68@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3686-9966>

Наталья А. Матвиенко к.т.н., доцент, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, natali25_81@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4777-003X>

Лариса Н. Фролова д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, fln-84@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6505-4136>

Екатерина А. Мотина к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, emotina18@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3433-2754>

Галина П. Шуваева к.б.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gpshuv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9536-6512>

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

Olga S. Korneeva Dr. Sci. (Bio.), professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, korneeva-olgas@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2863-0771>

Svetlana F. Yakovleva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, svetlana.yakovleva.68@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3686-9966>

Natalia A. Matvienko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, natali25_81@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4777-003X>

Larisa N. Frolova Dr. Sci. (Engin.), professor, machines and devices for food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, fln-84@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6505-4136>

Ekaterina A. Motina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, emotina18@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3433-2754>

Galina P. Shuvaeva Cand. Sci. (Bio.), associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gpshuv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9536-6512>

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 16/01/2023	После редакции 14/02/2023	Принята в печать 02/03/2023
Received 16/01/2023	Accepted in revised 14/02/2023	Accepted 02/03/2023

Проблема качества и безопасности алкогольной продукции

Татьяна С. Ковалева	¹	tanyakova2501@gmail.com	 0000-0002-3531-3811
Алексей Н. Яковлев	¹	vip.alex2702@mail.ru	 0000-0002-3246-6628
Геннадий В. Агафонов	¹	gvagafonov@mail.ru	 0000-0002-2133-5606
Светлана Ф. Яковлева	¹	svetlana.yakovleva.68@mail.ru	 0000-0003-3686-9966

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

Аннотация. В данной статье рассмотрены основные проблемы качества и безопасности алкогольной продукции, а также возможные пути решения этой проблемы. Алкоголь является одним из самых распространенных психоактивных веществ в мире. Качество и безопасность алкогольной продукции и этилового спирта часто подвергаются угрозам и вызывают серьезные беспокойства со стороны потребителей, государственных органов и общественности в целом. Многие производители алкоголя заинтересованы в создании продукции с максимальным количеством спирта и минимальной стоимостью. Это обуславливает использование низкосортных ингредиентов, смешивание разных видов алкоголя и значительное увеличение содержания алкоголя до критических уровней. Это может вызвать еще более серьезные последствия для здоровья людей, особенно для тех, кто уже имеет проблемы с алкогольной зависимостью. Одной из актуальных проблем российского потребительского рынка является фальсификация алкогольной продукции, реализуемой населению через розничную торговую сеть. Употребление фальсифицированных алкогольных напитков опасно для жизни из-за повышенного содержания в них токсических примесей. Даже незначительный избыток примесей может вызвать интоксикацию организма человека, оказывая токсическое, аллергенное, иммуномодулирующее, генотоксичное действия, что отрицательно влияет на функцию воспроизводства, гормональную регуляцию. Для того чтобы решить проблему качества и безопасности алкогольной продукции, необходимо проводить ее качественный контроль на каждом этапе производства. Это поможет исключить использование низкосортного сырья, неправильного сочетания компонентов и нарушения технологических процессов. Для борьбы с нелегальным производством необходимо ужесточить наказание за его осуществление. Также необходимо проводить мониторинг рынка и выявлять случаи продажи нелегальной продукции.

Ключевые слова: алкогольная продукция, качество, безопасность, фальсификация, алкогольные напитки.

The problem of quality and safety of alcohol products

Tatiana S. Kovaleva	¹	tanyakova2501@gmail.com	 0000-0002-3531-3811
Alexey N. Yakovlev	¹	vip.alex2702@mail.ru	 0000-0002-3246-6628
Gennady V. Agafonov	¹	gvagafonov@mail.ru	 0000-0002-2133-5606
Svetlana F. Yakovleva	¹	svetlana.yakovleva.68@mail.ru	 0000-0003-3686-9966

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

Abstract. This article considers the main problems of quality and safety of alcohol products, as well as possible ways to solve this problem. Alcohol is one of the most common psychoactive substances in the world. The quality and safety of alcohol products and ethyl alcohol are often threatened and cause serious concerns from consumers, government agencies, and the general public. Many alcohol producers are interested in creating products with the maximum amount of alcohol and the minimum cost. This leads to the use of low-grade ingredients, the mixing of different types of alcohol, and a significant increase in alcohol content to critical levels. This can cause even more serious consequences for people's health, especially for those who already have problems with alcohol addiction. One of the urgent problems of Russian consumer market is adulteration of alcohol products sold to population through retail trade network. Consumption of adulterated alcoholic beverages is dangerous to life due to high content of toxic impurities. Even a slight excess of impurities can cause intoxication of the human body, having toxic, allergenic, immunomodulatory, genotoxic effect that negatively affects the reproduction function, hormonal regulation. In order to solve the problem of quality and safety of alcohol products, it is necessary to carry out its qualitative control at each stage of production. This will help to exclude the use of low-quality raw materials, improper combination of components and violation of technological processes. To combat unlicensed production, it is necessary to toughen penalties for its implementation. It is also necessary to monitor the market and identify cases of sale of illegal products.

Keywords: alcohol products, quality, safety, falsification, alcoholic beverages.

Введение

Алкогольная продукция подразделяется на этиловый питьевой спирт, спиртные напитки, вино. Принцип оценки качества алкогольной продукции заключается в выявлении соответствия (несоответствия) алкогольной продукции гигиеническим нормативам, изложенным в Единых санитарно-эпидемиологических и гигиенических требованиях, утвержденных решением комиссии

Таможенного Союза от 28.05.2010 г. № 299; СанПиН 2.3.2.1078–01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов».

Проблема качества алкогольной продукции становится особенно актуальной в свете появления на рынке нелегальной продукции. Она изготавливается без соблюдения необходимых технологий и никак не контролируется

Для цитирования

Ковалева Т.С., Яковлев А.Н., Агафонов Г.В., Яковлева С.Ф. Проблема качества и безопасности алкогольной продукции // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 156–161. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-156-161

For citation

Kovaleva T.S., Yakovlev A.N., Agafonov G.V., Yakovleva S.F. The problem of quality and safety of alcohol products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 156–161. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-156-161

государственными органами. Как правило, такая продукция содержит опасные вещества, такие как метанол и другие яды, что может привести к отравлению и даже смерти.

Гигиеническими показателями качества алкогольной продукции являются санитарно-химические и микробиологические показатели [2]. Употребление фальсифицированных алкогольных напитков опасно для жизни из-за повышенного содержания в них токсических примесей (сивушного масла, альдегидов и метилового спирта, а также токсичных металлов и пестицидов). Даже незначительный избыток примесей может вызвать интоксикацию организма человека, оказывая токсическое, аллергенное, иммуномодулирующее, генотоксичное действия, что отрицательно влияет на функцию воспроизводства, гормональную регуляцию. Тем не менее, в стране наряду с продажей алкоголя, соответствующего стандартам качества, производится и реализуется некачественный алкоголь.

Кроме того, проблема качества алкоголя связана с нарушением технологических процессов и на производстве. Использование не качественных сырья и ингредиентов, нарушение отношений компонентов при приготовлении продукта, небрежность при использовании химических реагентов и техники – все это может привести к получению низкокачественного продукта.

Проблема безопасности алкоголя связана в первую очередь с напитками крепостью свыше 40 градусов. Их употребление может вызвать ожоги слизистой оболочки пищеварительного тракта, алкогольное опьянение, а в наихудшем случае – смерть.

Опасен и этиловый спирт, который используется не только в производстве алкоголя, но и в медицине и промышленности.

Одной из актуальных проблем российского потребительского рынка является фальсификация алкогольной продукции, реализуемой населению через розничную торговую сеть [3].

Обсуждение

В России в 2021 году вступили в силу новые ГОСТы на алкогольную продукцию, которые ужесточают требования к качеству и безопасности алкоголя. Например, теперь в производстве алкоголя запрещено использование генетически модифицированных организмов (ГМО), а также некоторых добавок, таких как красители и ароматизаторы.

Также новые ГОСТы предусматривают обязательное указание на этикетке алкогольной продукции информации о содержании сахара, калорийности и других питательных веществ. Это позволит потребителям более осознанно выбирать алкогольную продукцию и контролировать потребление.

Новые ГОСТы также ужесточают требования и к хранению и транспортировке алкоголя, что позволит предотвратить порчу продукции и сохранить ее качество.

Таким образом, новые ГОСТы на алкогольную продукцию способствуют повышению качества и безопасности алкоголя, что положительно сказывается на здоровье потребителей.

Контроль качества алкогольной продукции проводится на всех стадиях ее производства: от сырья до готовой продукции. Для этого используются различные методы и технологии, такие как хроматография, спектроскопия и др.

Контроль качества алкогольной продукции проводится в соответствии с требованиями ГОСТов на алкоголь и других нормативных документов. ГОСТы на алкоголь устанавливают требования к составу, качеству и безопасности алкогольной продукции.

Кроме контроля качества алкогольной продукции, важно также обратить внимание на потребление алкоголя. В этом помогают рекомендации Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по потреблению алкоголя.

Согласно рекомендациям ВОЗ, женщинам и мужчинам не следует потреблять более 2 стандартных порций алкоголя в день. Стандартная порция алкоголя равна 10 граммам чистого спирта. Это, например, 100 мл водки или коньяка, 250 мл вина или 500 мл пива.

Влияние алкоголя на человека зависит от нескольких факторов, таких как количество потребляемого алкоголя, частота и регулярность употребления, возраст, пол, вес, наличие медицинских проблем и прочее.

Алкоголь является психоактивным веществом, которое поступает в кровоток после его потребления и распространяется по всему организму. Алкоголь размывает границы между клетками мозга, что приводит к изменению работы нейронных связей и способствует эйфории, расслаблению и уменьшению страха.

В Концепции государственной политики по снижению масштабов злоупотребления алкоголем и профилактике алкоголизма среди населения Российской Федерации на период до 2020 г. (распоряжение Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 2128-р [4]) указано, что в современной России злоупотребление алкогольной продукцией является одной из основных причин социальной деградации определенной части общества, которая выражается в росте преступности, насилия, сиротства, в ухудшении здоровья, росте инвалидности и случаев суицида.

Потребление алкоголя в больших количествах может привести к ряду негативных последствий. К их числу относятся повреждения

внутренних органов, таких как печень, сердце и почки, возможность развития рака, иммуно-депрессия, нарушение работы головного мозга и другие проблемы со здоровьем.

Поэтому важно умеренно потреблять алкоголь и следить за его качеством.

Для того, чтобы застраховать себя от приобретения фальсифицированной алкогольной продукции, покупателю необходимо, в первую очередь, осуществлять покупку алкогольной продукции только в торговых объектах, имеющих в уголках для потребителей информацию о наличии у объекта соответствующей лицензии на право розничной продажи алкогольной продукции. Кроме того, наличие на алкогольной продукции дополнительной этикетки в виде «Знака Добровольного Контроля Качества» является не только гарантом качества и безопасности приобретаемого Вами алкогольного напитка, но и подтверждением того, что данная продукция находится в законном обороте, так как сопровождается полным перечнем необходимых документов, подтверждающих ее происхождение. А значит такая продукция не опасна для здоровья, однако необходимо помнить, что чрезмерное употребление алкогольной продукции вредит Вашему здоровью и ее потребление противопоказано подросткам до 18 лет, беременным и кормящим женщинам, лицам с заболеваниями центральной нервной системы, почек, печени и других органов пищеварения [5].

Как утверждают специалисты, сегодня существует два вида контрафакта: первый – алкоголь, произведенный по всем технологиям на самых обычных предприятиях, на который не установлен акциз, и поэтому он является нелегальным. Второй вид контрафакта – фальсифицированный алкоголь (водка и вино), находящийся в легальной и нелегальной продаже. По мнению гендиректора НП «Винодельческий союз», в России выпускается не менее 30 % легальных вин и коньяка из несуществующего в природе сырья, т. е. таких материалов и компонентов, которые не соответствуют ГОСТу [6].

Выявить фальсификацию ликероводочных изделий, по мнению специалистов, практически невозможно [7]. Есть качественная фальсификация алкогольных напитков (введение добавок, не предусмотренных рецептурой; разбавление водой; замена одного типа напитка другим), а также некачественная фальсификация алкогольных напитков (замена пищевого спирта на технический, «Экстры» – на спирт высшей очистки, зернового – на мелассный, разбавление виноградного вина малоценными продуктами – дешевым плодово-ягодным вином. Такие вина «исправляют» введением различных химических

компонентов – спирта, чаще технического, содержащего сивушные масла, сахарозаменителей, искусственных красителей и т. д.) Все эти способы фальсификации заключаются в том, что плохие, кислые вина «улучшаются» добавлением воды до известного объема и последующим доведением крепости и кислотности до определенных пределов, регламентируемых действующим стандартом. За высококачественные выдаются вина, изготовленные с нарушением технологической схемы, разработанной и утвержденной для данного наименования вина. Например, за сортовые выдаются вина купажные; допускается смешивание различных фракций сусла (сусло-самотек – самая высококачественная фракция, смешивается с низкосортными прессовыми фракциями); фальсифицируется срок выдержки вина (за марочные выдаются вина ординарные) и т. д.

Имеет место приготовление и продажа «искусственных вин» – хорошо подобранную смесь компонентов, органолептически воспринимаемую как виноградное вино. При этом фальсифицированные вина наносят не только моральный и материальный ущерб, но порой опасны для здоровья потребителей, особенно при добавлении в крепленые вина технического спирта.

При добавлении в вино около 10 % воды обычно дегустаторы с помощью органолептических показателей не замечают данную степень его фальсификации, при введении же 20 % воды примерно треть из них высказывают сомнения по поводу качества напитка, и лишь при 50 % добавлений большинство дегустаторов указывают на «водянистость» его вкуса. Поэтому разбавление вина водой до 30 % практически не определяется ни органолептическими, ни физико-химическими методами.

Для коньяков также характерно разбавление водой. Но наиболее распространенными видами качественной фальсификации являются:

- 1) ускорение процесса выдержки коньяка за счет увеличения количества дубовой стружки;
- 2) ускорение процесса выдержки коньяка за счет подогревания коньячных спиртов;
- 3) замена коньячных спиртов водно-спиртовыми растворами с добавлением жженого сахара (колера) и других компонентов, приближающих вкусоароматические свойства к натуральному продукту, и т. д. [7].

По данным доклада к итоговой коллегии ведомства Федеральной службы по регулированию алкогольного рынка [8], в России в 2022 году поступление акцизов на этиловый спирт, алкогольную и спиртосодержащую продукцию увеличилось на 9,6 % к 2021 году и достигло 444,1 млрд рублей.

В прошлом году в ЕГАИС (единая государственная информационная система учета алкоголя) было зафиксировано 1 011, 4 млн декалитров (дал) алкогольной продукции, что на 2,2 % больше по сравнению с 2021 годом. Объем импорта алкогольной продукции, зарегистрированной в ЕГАИС, составил 95, 8 млн дал, что на 11,4 % ниже показателя 2021 года. В то же время система зафиксировала рост экспорта на 1,1 %, до 44,1 млн дал.

Согласно докладу, объем розничной продажи маркируемой алкогольной продукции, зафиксированный в ЕГАИС и отраженный в декларациях, в 2022 году составил 226,6 млн дал (на 3,3 % больше), немаркируемой – 774,1 млн дал (на 0,4 % больше).

Росалкогольрегулирование также сообщает, что в прошлом году на легальность нахождения в обороте было проверено 533,63 тыс. дал этилового спирта, алкогольной и спиртосодержащей продукции. В предыдущем году этот показатель составлял 841 тыс. дал. Было установлено, что 449,1 тыс. дал продукции было произведено и находилось в обороте незаконно (в 2021 году – 747,7 тыс. дал). По результатам проверок арестовано 414,78 тыс. дал продукции (407,97 тыс. дал).

По вступившим в силу решениям судебных органов было конфисковано 388,93 тыс. дал (289,28 тыс. дал). Кроме того, также по решениям судов было уничтожено 579,85 тыс. дал продукции (412,32 тыс. дал), в том числе конфискованной в предыдущие годы.

В 2022 году у нарушителей было изъято 26 транспортных средств, перевозивших нелегальную продукцию (в 2021 году – 65 единиц) [8].

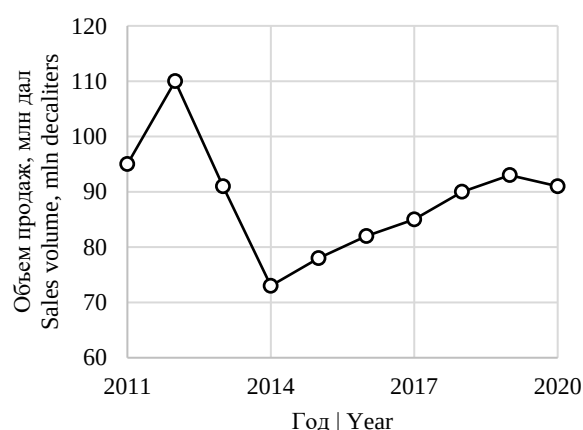


Рисунок 1. Продажи водки и ЛВИ в России с 2011 по 2020 гг.

Figure 1. Sales of vodka and spirits in Russia from 2011 to 2020

На основании статистических данных 2011–2020 годов о продаже произведенной водки и ликероводочных изделий (ЛВИ) [9,10], мы составили график (рисунок 1), данные которого подтверждают, что политическая ситуация и направления государственного регулирования имеют большое влияние на продажи алкогольных напитков.

Так, увеличение акцизов в период с 2009 по 2014 годы с 191 до 500 рублей, повлекло сокращение объемов продажи водки и ЛВИ со 106 тыс. дал до 70 тыс. дал. Однако, участники рынка алкогольной продукции смогли адаптироваться к сложившимся обстоятельствам и восстановили объемы продаж в условиях жесткого государственного регулирования. Следует отметить сокращение продаж водки и ЛВИ и в связи с пандемией COVID-19 [11–15]. Причиной сокращения явилась общая эпидемиологическая обстановка и сокращение времени розничной реализации алкогольной продукции во многих регионах России на 2 часа и более.

Заключение

Для того чтобы решить проблему качества и безопасности алкогольной продукции, необходимо проводить ее качественный контроль на каждом этапе производства. Это поможет исключить использование низкокачественного сырья, неправильного сочетания компонентов и нарушения технологических процессов. Также необходим контроль за крепостью алкоголя, чтобы избежать опасных последствий для здоровья.

Для борьбы с нелегальным производством необходимо ужесточить наказание за его осуществление. Также необходимо проводить мониторинг рынка и выявлять случаи продажи нелегальной продукции. Это поможет предотвратить опасные последствия для населения.

Покупателю отличить фальсифицированную продукцию от нефальсифицированной практически невозможно. К сожалению, эффективных мер по охране жизни граждан от отравлений спиртосодержащей продукцией у государственных структур нет, расчет – только на бдительность граждан и приобретение продукции в лицензионных магазинах со специальной маркировкой и по цене, установленной Федеральной службой по регулированию алкогольного рынка.

В целом, проблема качества и безопасности алкогольной продукции и этилового спирта является актуальной и требует мер по ее решению. Необходимо внедрять современные технологии в производство алкоголя, проводить качественный контроль и бороться с нелегальным производством.

Литература

- 1 Ковалева Т.С. Проблема безопасности алкогольной продукции и этилового спирта // В сборнике: Перспективы и проблемы инновационного развития социально-экономических систем: материалы VI Национальной научно-практической конференции научных сотрудников, специалистов, преподавателей, аспирантов. 2018. С. 39–40.
- 2 Фертман Г.И., Шойхет М.И. Химико-технологический контроль спиртового и ликероводочного производства. М.: Пищевая пром-сть, 1975. 439 с.
- 3 Новиков В.М., Голубкина Л.Т. Товароведение и организация торговли продовольственными товарами. М.: Просвещение, 2000. 58 с.
- 4 Концепция государственной политики по снижению масштабов злоупотребления алкоголем и профилактики алкоголизма среди населения Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 2128-р.
- 5 Лебедева-Несевря Н.А., Жданова-Заплесвичко И.Г., Рерке В.И., Барг А.О. Потребление алкоголя как фактор риска здоровью населения: обзор российских исследований // Анализ риска здоровью. 2017. №. 4. С. 147-160.
- 6 Елисеев М.Н. Товароведение и экспертиза вкусовых товаров. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 304 с.
- 7 Евпланов А. В России растет доля контрафактного алкоголя. URL: <http://www.rg.ru/2014/02/18/alkogol.html>
- 8 Экспертиза качества алкогольных напитков. URL: <https://znaytovar.ru/new108.html>
- 9 Федеральная служба по регулированию алкогольного рынка. URL: https://fsrar.gov.ru/information/doklady-i-otchety/itogovye_doklady_o_rezultatah_deyatelnosti_federalnoj_sluzhby_po_regulirovaniyu_alkogolnogo_rynka
- 10 Основные показатели, характеризующие рынок алкогольной продукции в 2010–2019 годах: статистический сборник. URL: <https://fsrar.gov.ru/industry/1261678438828>
- 11 ЕМИСС. Государственная статистика. URL: <https://www.fedstat.ru/organizations/>
- 12 О мерах по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия населения на территории Российской Федерации в связи с распространением новой коронавирусной инфекции (COVID-19): Указ Президента РФ от 02.04.2020 № 239. URL: <http://www.consultant.ru/>
- 13 Lachenmeier D.W. Advances in the detection of the adulteration of alcoholic beverages including unrecorded alcohol // Advances in food authenticity testing. Woodhead Publishing, 2016. P. 565-584.
- 14 Soon J.M., Abdul Wahab I.R. A Bayesian Approach to Predict Food Fraud Type and Point of Adulteration // Foods. 2022. V. 11. №. 3. P. 328.
- 15 Magnúsdóttir K., Kristinsson J., Jóhannesson B. Adulterated alcoholic beverages // Laeknablaðid. 2010. V. 96. №. 10. P. 626-628.
- 16 Savell E., Fooks G., Gilmore A.B. How does the alcohol industry attempt to influence marketing regulations? A systematic review // Addiction. 2016. V. 111. №. 1. P. 18-32.
- 17 Anal A.K. Quality ingredients and safety concerns for traditional fermented foods and beverages from Asia: A review // Fermentation. 2019. V. 5. №. 1. P. 8. doi: 10.3390/fermentation5010008
- 18 Altay F., Karbancıoğlu-Güler F., Daskaya-Dikmen C., Heperkan D. A review on traditional Turkish fermented non-alcoholic beverages: Microbiota, fermentation process and quality characteristics // International journal of food microbiology. 2013. V. 167. №. 1. P. 44-56. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.06.016
- 19 Zhao X., Du G., Zou H., Fu J. et al. Progress in preventing the accumulation of ethyl carbamate in alcoholic beverages // Trends in food science & technology. 2013. V. 32. №. 2. P. 97-107. doi:10.1016/j.tifs.2013.05.009
- 20 Nakamura R., Pechey R., Suhrcke M., Jebb S.A. et al. Sales impact of displaying alcoholic and non-alcoholic beverages in end-of-aisle locations: An observational study // Social Science & Medicine. 2014. V. 108. P. 68-73. doi: 10.1016/j.socscimed.2014.02.032

References

- 1 Kovaleva T.S. The problem of safety of alcoholic beverages and ethyl alcohol. In the collection: Prospects and problems of innovative development of socio-economic systems: materials of the VI National Scientific and Practical Conference of researchers, specialists, teachers, postgraduates. 2018. pp. 39-40. (in Russian).
- 2 Fertman G.I., Shoikhet M.I. Chemical and technological control of alcohol and liquor production. M., Food Industry, 1975. 439 p. (in Russian).
- 3 Novikov V.M., Golubkina L.T. Commodity science and organization of trade in food products. Moscow, Prosveshchenie, 2000. 58 p. (in Russian).
- 4 The concept of state policy on reducing alcohol abuse and prevention of alcoholism among the population of the Russian Federation dated December 30, 2009 No. 2128 p. (in Russian).
- 5 Lebedeva-Nesevrya N.A., Zhdanova-Zaplesvichko I.G., Rerke V.I., Barg A.O. Alcohol consumption as a risk factor for public health: a review of Russian studies. Health risk analysis. 2017. no. 4. pp. 147-160. (in Russian).
- 6 Eliseev M.N. Commodity science and examination of taste products. Moscow, Publishing Center "Academy", 2006. 304 p. (in Russian).
- 7 Evplanov A. The share of counterfeit alcohol is growing in Russia. Available at: <http://www.rg.ru/2014/02/18/alkogol.html> (in Russian).
- 8 Examination of the quality of alcoholic beverages. Available at: <https://znaytovar.ru/new108.html> (in Russian).
- 9 Federal Service for Alcohol Market Regulation. Available at: https://fsrar.gov.ru/information/doklady-i-otchety/itogovye_doklady_o_rezultatah_deyatelnosti_federalnoj_sluzhby_po_regulirovaniyu_alkogolnogo_rynka (in Russian).
- 10 The main indicators characterizing the market of alcoholic beverages in 2010-2019: statistical collection. Available at: <https://fsrar.gov.ru/industry/1261678438828> (in Russian).
- 11 EMISS. State statistics. Available at: <https://www.fedstat.ru/organizations/> (in Russian).
- 12 On measures to ensure the sanitary and epidemiological welfare of the population on the territory of the Russian Federation in connection with the spread of a new coronavirus infection (COVID 19): Decree of the President of the Russian Federation No. 239 dated 02.04.2020. Available at: <http://www.consultant.ru/> (in Russian).

- 13 Lachenmeier D.W. Advances in the detection of the adulteration of alcoholic beverages including unrecorded alcohol. Advances in food authenticity testing. Woodhead Publishing, 2016. pp. 565-584.
- 14 Soon J.M., Abdul Wahab I.R. A Bayesian Approach to Predict Food Fraud Type and Point of Adulteration. Foods. 2022. vol. 11. no. 3. pp. 328.
- 15 Magnúsdóttir K., Kristinsson J., Jóhannesson B. Adulterated alcoholic beverages. Laeknabladid. 2010. vol. 96. no. 10. pp. 626-628.
- 16 Savell E., Fooks G., Gilmore A.B. How does the alcohol industry attempt to influence marketing regulations? A systematic review. Addiction. 2016. vol. 111. no. 1. pp. 18-32.
- 17 Anal A.K. Quality ingredients and safety concerns for traditional fermented foods and beverages from Asia: A review. Fermentation. 2019. vol. 5. no. 1. pp. 8. doi: 10.3390/fermentation5010008
- 18 Altay F., Karbancıoğlu-Güler F., Daskaya-Dikmen C., Heperkan D. A review on traditional Turkish fermented non-alcoholic beverages: Microbiota, fermentation process and quality characteristics. International journal of food microbiology. 2013. vol. 167. no. 1. pp. 44-56. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.06.016
- 19 Zhao X., Du G., Zou H., Fu J. et al. Progress in preventing the accumulation of ethyl carbamate in alcoholic beverages. Trends in food science & technology. 2013. vol. 32. no. 2. pp. 97-107. doi:10.1016/j.tifs.2013.05.009
- 20 Nakamura R., Pechey R., Suhrcke M., Jebb S.A. et al. Sales impact of displaying alcoholic and non-alcoholic beverages in end-of-aisle locations: An observational study. Social Science & Medicine. 2014. vol. 108. pp. 68-73. doi: 10.1016/j.socscimed.2014.02.032

Сведения об авторах

Татьяна С. Ковалева к.т.н., вед. инженер, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tanyakova2501@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3531-3811>

Алексей Н. Яковлев к.т.н., доцент, кафедра технологии бро- дильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vip.alex2702@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3246-6628>

Геннадий В. Агафонов д.т.н., профессор, кафедра технологии бро- дильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gvagafonov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2133-5606>

Светлана Ф. Яковлева к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, svetlana.yakovleva.68@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3686-9966>

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

Tatiana S. Kovaleva Cand. Sci. (Engin.), lead engineer, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, tanyakova2501@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3531-3811>

Alexey N. Yakovlev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technol- ogy of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voro- nezh, 394036, Russia, vip.alex2702@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3246-6628>

Gennady V. Agafonov Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gvagafonov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2133-5606>

Svetlana F. Yakovleva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, svetlana.yakovleva.68@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3686-9966>

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 27/12/2022	После редакции 01/02/2023	Принята в печать 03/03/2023
Received 27/12/2022	Accepted in revised 01/02/2023	Accepted 03/03/2023

Биотестирование овощных снеков

Андрей В. Котельников¹ kotas@inbox.ru
Светлана В. Золотокопова¹ zolotokopova@mail.ru  0000-0002-2146-5443
Анастасия А. Неваленная¹ nasty_n92@rambler.ru  0000-0002-8701-9171

¹ Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия

Аннотация. Представлены результаты тестирования овощных снеков, разработанных по новой технологии с использованием лактулозы, для придания хрусткости продукту, без использования масла. Было проведено сравнение результатов биотестирования нового продукта с картофельными чипсами, приготовленными по традиционной технологии с использованием масла. Биотестирование овощных снеков проводили с использованием тест-объекта *Daphnia magna* Straus в возрасте от 6-24 часов. Продолжительность эксперимента составила 96 часов и проводилась в каждом образце в трех вариациях с различной кратностью разбавления 1:10, 1:100, 1:1000. По результатам тестирования для каждой анализируемой пробы заданного разбавления, в том числе контрольной, рассчитывали среднеарифметическое значение, выживших тест-организмов *Daphnia magna* Straus. Используемая методика биотестирования основана на определении смертности дафний при воздействии веществ, присутствующих в исследуемой водной вытяжке. В результате проведенных исследований выявлено, что в растворах водной вытяжки овощных снеков из свеклы и моркови, в технологии приготовления которых, использовалась лактулоза и лимонная кислота процент гибели тест-организмов составлял в пробах с разбавлением 1:10 – 33,3% и 26,6% соответственно. В водной вытяжке снеков из картофеля, приготовленных с лактулозой в пробах (1:10) процент гибели тест-организмов *Daphnia magna* Straus составлял 17,7%, а в аналогичных пробах чипсов, приготовленных по традиционной технологии 46,6%. При разбавлении проб 1:100 гибель тест - организмов значительно уменьшилась во всех образцах. При разбавлении проб 1:1000 все тест-организмы *Daphnia magna* Straus выжили. Таким образом, для проведения биотестирования овощных снеков с помощью *Daphnia magna* Straus для получения сравнимых результатов достаточно разбавлять образцы культивационной водой в соотношении 1:10. По результатам проведенного биотестирования *Daphnia magna* Straus было доказано, что овощные снеки, приготовленные без использования масла, имеют меньшую токсичность.

Ключевые слова: биотестирование, *Daphnia magna* Straus, овощные снеки, картофельные чипсы, лактулоза.

Biotesting of vegetable snacks

Andrey V. Kotelnikov¹ kotas@inbox.ru
Svetlana V. Zolotokopova¹ zolotokopova@mail.ru  0000-0002-2146-5443
Anastasia A. Nevalennaya¹ nasty_n92@rambler.ru  0000-0002-8701-9171

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

Abstract. The results of testing vegetable snacks developed using a new technology using lactulose to add crunchiness to the product, without the use of oil, are presented. The results of biotesting of the new product were compared with potato chips prepared according to the traditional technology using oil. Biotesting of vegetable snacks was carried out using a *Daphnia magna* Straus test object at the age of 6-24 hours. The duration of the experiment was 96 hours and was carried out in each sample in three variations with different dilution ratios 1:10, 1:100, 1:1000. Based on the test results, for each analyzed sample of a given dilution, including the control one, the arithmetic mean of the surviving test organisms *Daphnia magna* Straus was calculated. The used biotesting technique is based on the determination of daphnia mortality under the influence of substances present in the studied water extract. As a result of the studies, it was found that in solutions of aqueous extract of vegetable snacks from beets and carrots, in the preparation technology of which lactulose and citric acid were used, the percentage of death of test organisms in samples with a dilution of 1:10 was 33.3% and 26.6 % respectively. In the aqueous extract of potato snacks prepared with lactulose in samples (1:10), the percentage of death of *Daphnia magna* Straus test organisms was 17.7%, and in similar samples of chips prepared using traditional technology, 46.6%. When the samples were diluted 1:100, the death of test organisms was significantly reduced in all samples. When the samples were diluted 1:1000, all *Daphnia magna* Straus test organisms survived. Thus, to conduct biotesting of vegetable snacks with *Daphnia magna* Straus, to obtain comparable results, it is sufficient to dilute the samples with cultivation water in a ratio of 1:10. According to the results of the biotesting of *Daphnia magna* Straus, it was proved that vegetable snacks prepared without the use of oil have less toxicity.

Keywords: biotesting, *Daphnia magna* Straus, vegetable snacks, potato chips, lactulose.

Введение

При разработке новых продуктов питания важную роль играет биотестирование наряду с использованием химических, физико-химических, микробиологических методов исследования. Химические методы исследования позволяют определить пищевую ценность разрабатываемого продукта питания, физико-химические характеризуют структурно-механические свойства и особенности состояния пищевых продуктов.

Для цитирования

Котельников А.В., Золотокопова С.В., Неваленная А.А. Биотестирование овощных снеков // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 162–166. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-162-166

Аналитические методы устанавливают наличие в продуктах различных веществ, как положительно влияющих на организм человека (белков, жиров, углеводов, минеральных веществ, витаминов), так и оказывающих отрицательное влияние (тяжелые металлы, антибиотики, пестициды и другие ксенобиотики), без выявления их биологической активности и влияния в совокупности на живые организмы. Биологическое тестирование позволяет выявить комплексное действие

For citation

Kotelnikov A.V., Zolotokopova S.V., Nevalennaya A.A. Biotesting of vegetable snacks. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 162–166. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-162-166

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

пищевых и непищевых веществ и получить интегральное выражение в виде реакции живого организма [4, 12]. Так использование для этих целей высших животных не всегда благоприятно с этической и экономической точки зрения, поэтому возможно использование альтернативных видов тест-объектов (беспозвоночные, растения, микроорганизмы). Биологическую ценность молочных продуктов можно определять путем сравнения продолжительности продуктивного периода и жизни имаго комнатной мухи (*Musca domestica*) [8]. Также для контроля безопасности сырья и пищевых продуктов используют аксеническую культуру ресничных инфузорий *Tetrahymena pyriformis* [5, 6]. Одним из распространенных методов является биотестирование на луке репчатом (*Allium cepa* L.). Данная тест-система позволяет быстро и достоверно оценить цито- и генотоксическое влияние химического вещества и новых пищевых добавок на живые организмы [2, 3, 11, 13, 14–20]. Но наиболее известным экспресс-методом определения токсичности пищевых добавок и контроля качества продуктов питания на безопасность является биотестирование на дафниях [7, 9, 10]

Целью нашего исследования было определение качества разработанных нами овощных снеков методом биотестирования с использованием *Daphnia magna* Straus.

Объекты и методы

Объектом исследования были овощные снеки из свеклы, моркови и картофеля, приготовленные по разработанным нами технологиям без использования масла [1], для сравнения были взяты картофельные чипсы приготовленные по традиционной технологии путем обжаривания в масле.

Готовые изделия представляли собой тонкие пластинки, обработанные лимонной кислотой и лактулозой, для сохранения цвета и приобретения хрусткости.

Образцы были приготовлены следующим образом: свеклу мыли, очищали от кожуры, нарезами на тонкие слайсы, обрабатывали растворами лимонной кислоты, бланшировали, наносили лактулозу и высушивали, получали хрустящие свекольные снеки, ярко-бордового цвета. Морковь мыли, очищали от кожуры, резали на тонкие слайсы, бланшировали и обрабатывали раствором лактулозы и высушивали. Получали тонкие хрустящие снеки оранжевого цвета. Картофель мыли, очищали от кожуры, резали на тонкие слайсы, бланшировали, обрабатывали лактулозой, высушивали. Получили тонкие хрустящие снеки светло-желтого цвета.

Для сравнения брали картофельные чипсы Lay's приготовленные по традиционной технологии путем обжаривания в масле.

Биотестирование проводили по ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12–06 и ФР.1.39.2007.03222. В эксперименте использовалась синхронизированная культура *Daphnia magna* Straus – молодь в возрасте 6–24 часов, которая была выращена в лаборатории филиала ФГБУ «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Южному Федеральному округу» – «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Астраханской области»

Методика основана на определении смертности дафний (*Daphnia magna* Straus) при воздействии токсических веществ, присутствующих в исследуемой водной вытяжке, по сравнению с контрольной культурой в пробах, не содержащих токсических веществ (контроль) за определенный период времени. Критерием острой токсичности служит гибель 50% и более дафний за 96 часов в исследуемом растворе при условии, что в контрольном эксперименте гибель не превышает 10%.

Результаты и обсуждение

Проведение эксперимента по получению результатов по биотестированию овощных снеков проводилось в следующей последовательности.

10 г. исследуемых продуктов измельчали и заливали 100 мл культивационной воды. Культивационная вода состоит из 70% отстоянной водопроводной воды и 30% дистиллированной воды. Емкости для приготовления растворов подготавливаются в соответствии с установленными правилами. Приготовление растворов, разбавлений и проведение биотестирования выполняются при комнатной температуре. Температура культивационной и исследуемой вытяжки должна быть также доведена до комнатной температуры.

Так как нам не были известны токсикологические свойства исследуемых овощных снеков, то мы использовали несколько разведений 1:10; 1:100; 1:1000. Разведения делали, выполняя условие, что чем выше предполагаемая токсичность, тем большей должна быть кратность разбавлений исходной пробы.

Пробы исследуемых овощных снеков, высушенных до постоянной влажности в сушильном шкафу при температуре 1000 °С, перед биотестированием измельчали до размеров частиц 0,5–0,7 мм. Затем пробы просеивали через сито с размером ячейки 1 мм. Водную вытяжку готовили из соотношения твердая фаза: жидкость 1:10, в качестве жидкости для разведения использовали культивационную воду.

Далее полученную смесь встряхивали на аппарате «Шейкер перемешивающее устройство. ПЭ-0034» в течение 1,5–2-х часов, после чего пробу отстаивали в течение 30 минут. Затем водные вытяжки фильтровали через обеззоленный синий фильтр (производитель АО «ЭКРОС»). Полученная таким образом вытяжка является первой пробой, вторую и третью пробу получали разбавлением первой в 10 и 100 раз.

Затем с помощью сифона переносили 10 экземпляров живых дафний в возрасте 6–24 часов в приготовленные растворы. При проведении эксперимента учет выживших *Daphnia magna*

Straus проводили через 96 часов. Выжившими считали особи, свободно передвигающиеся в толще воды или всплывающие со дна сосуда не позднее 15 секунд после его легкого покачивания.

Эксперимент проводили с водной вытяжкой каждого образца в трех вариациях с различной кратностью разбавления 1:10, 1:100, 1:1000. По результатам тестирования для каждой анализируемой пробы заданного разбавления, в том числе контрольной, рассчитывали среднеарифметическое значение, выживших тест-организмов.

Результаты проведенного исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты биотестирования (культура *Daphnia magna* Straus – молодь в возрасте 6–24 часов)

Table 1.

Bioassay results (culture of *Daphnia magna* Straus – juveniles aged 6–24 hours)

Тест-объект Object	Продолжительность эксперимента, час Experiment durarion, hour	Кратность разбавления, раз Multiplicity of dilution, times	Количество выживших дафний, шт. Количество выживших дафний, шт.		Доля гибели тест-объекта, % Percentage of death of the test object, %
			контроль control	проба (n = 3) sample (n = 3)	
Снеки из свеклы Beetroot snacks					
Daphnia magna Straus	96 часов С 11.00 20.02.2023 до 11.00 24.02.2023	10	10/10/10	6/7/7	33,3
		100		9/9/10	6,7
		1000		10/10/10	0,0
Снеки из моркови Carrot snacks					
Daphnia magna Straus	96 часов С 11.00 20.02.2023 до 11.00 24.02.2023	10	10/10/10	8/7/7	26,6
		100		9/10/10	3,3
		1000		10/10/10	0,0
Снеки из картофеля Potato snacks					
Daphnia magna Straus	96 часов С 11.00 20.02.2023 до 11.00 24.02.2023	10	10/10/10	8/9/8	17,7
		100		10/10/9	3,3
		1000		10/10/10	0,0
Картофельные чипсы Potato chips					
Daphnia magna Straus	96 часов С 11.00 20.02.2023 до 11.00 24.02.2023	10	10/10/10	5/5/6	46,6
		100	10/10/10	9/8/8	17,7
		1000		10/10/10	0,0

Исходя из данных таблицы, видно, что острая токсичность не проявляется ни в одном из исследуемых растворов, но приближается к этим значениям (46,6%) только в растворах с десятикратным разбавлением пробы картофельных чипсов, что обусловлено традиционной технологией приготовления путем обжаривания в масле и накоплением продуктов окисления в процессе хранения. Овощные снеки, приготовленные по новой технологии с использованием лактулозы, показали низкую токсичность даже при разведении 1:10. Но наименьшая токсичность при разведении 1:10 была у проб со снеками из картофеля, она составляла 17,7% погибших особей *Daphnia magna* Straus. У овощных снеков из свеклы и моркови, в технологии приготовления которых, использовалась лактулоза и лимонная кислота процент гибели тест-организмов составлял в пробах с разбавлением 1: 10 – 33,3%

и 26,6% соответственно. При разбавлении 1:100 гибель тест организмов значительно уменьшилась во всех пробах. При разбавлении проб 1:1000 все тест-организмы *Daphnia magna* Straus выжили. Таким образом, для проведения биотестирования овощных снеков с помощью *Daphnia magna* Straus для получения сравнимых результатов достаточно разбавлять образцы культивационной водой в соотношении 1:10.

Закключение

В результате проведенных исследований по биотестированию овощных снеков с помощью тест-культуры *Daphnia magna* Straus было выявлено, что снеки из свеклы, моркови и картофеля, полученные по новой технологии проявляют меньшую токсичность, по сравнению с чипсами, полученными по традиционной технологии путем обжаривания в масле.

Литература

- 1 Золотокопова С.В., Неваленная А.А., Миронов А.И., Павликова Р.П. Влияние технологических приемов на качество овощных снеков // Товароведение, технология и экспертиза: инновационные решения и перспективы развития: мат. III нац. науч.-практ. конф. Москва, 02 июня 2022 г. 2022. С. 57–62.
- 2 Зайцева М.В. Применение метода экспресс-биотестирования для оценки цито- и генотоксичности пищевых добавок // Перспективные исследования и новые подходы к производству и переработке сельскохозяйственного сырья и продуктов питания: мат. XIII междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов организаций в сфере сельскохозяйственных наук, Углич, 28–30 октября 2019 г. С. 125–131.
- 3 Зайцева М.В., Сураева Н.М., Самойлов А.В. Оценка токсического потенциала смеси аспартама и сорбиновой кислоты на основе биотеста // Пищевые системы. 2022. Т. 5 № 1. С. 41–46. doi: 10.21323/2618-9771-2022-5-1-41-46
- 4 Зобкова З.С. Биотестирование как индикатор изучения синергетического эффекта в производстве творожных продуктов с коллагеном // Пищевая промышленность. 2023. № 2. С. 22–25. doi: 10.52653/PPI.2023.2.2.005
- 5 Карпенко Ю.В., Кращенко В.В. Биотестирование рыбной кулинарной продукции с использованием *Tetrahymena pyriformis* // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2019. № 3. С. 132–140. doi:10.24143/2073-5529-2019-3-132-140
- 6 Нитяга И.М., Уша Б.В., Морозова Е.Н., Викулова Л.В. Контроль безопасности сырья и пищевых продуктов с помощью методики определения острой токсичности на инфузориях // Пищевая промышленность. 2017. № 1. С. 48–49.
- 7 Мартынюк И.А. Разработка экспресс-методики определения токсичности пищевых добавок как один из методов экологического контроля качества продуктов питания на безопасность [Использование биотестирования на дафниях для оценки токсичности подсластителей на основе цикламатов] // Пища. Экология. Человек: мат. четвертой междунар. науч.-техн. конф. Москва, 2001. С. 260–264.
- 8 Сороколетов О.Н., Гаптар С.Л., Бгатов А.В. Применение биотестирования для оценки биологической ценности пищевых продуктов // Инновации и продовольственная безопасность. 2022. № 4 (38). С. 31–36. doi: 10.31677/2311-0651-2022-38-4-31-36
- 9 Суходоева Е.А. Определение токсичности различных сред с помощью тест-объекта дафний // Вестник КИГИТ. 2011. № 3 (16). С. 108–109.
- 10 Kaprelyants L., Pylypenko I. Development of preventive control concept of endoecological safety for foodstuffs in Ukraine // Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века: мат. 18-й Междунар. науч. конф. в 3 частях. Часть 1. Минск, 2018. С. 266–267.
- 11 Liman R., Ciğerci İ.H., Gökçe S. Cytogenetic and genotoxic effects of Rosmaniric Acid on *Allium cepa* L. root meristem cells // Food and Chemical Toxicology. 2018. V. 121. P. 444-449. doi:10.1016/j.fct.2018.09.022
- 12 Sales I.M.S., Santos F.K.S., Sousa J.M.C., Silva F.C.C. et al. Acute toxicity of grape, plum and orange synthetic food flavourings evaluated in vivo test systems // Food Technology and Biotechnology. 2017. V. 55. №. 1. P. 131-137. doi:10.17113/ftb.55.01.17.4770
- 13 Koç K., Pandir D. All aspect of toxic effect of brilliant blue and sunset yellow in *Allium cepa* roots // Cytotechnology. 2018. V. 70. P. 449-463. doi:10.1007/s10616-017-0161-9.
- 14 Yuldashbek D.H., Koishiyeva G.J., Tashmetova G.E. Application of daphnia as a bioindicator in reservoirs of the turkestan region // Bulletin of the M. Kozybayev NKU. 2020. №. 4 (49). P. 189-197.
- 15 Perfilova O.V., Akishin D.V., Vinnitskaya V.F., Danilin S.I. et al. Use of vegetable and fruit powder in the production technology of functional food snacks // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2020. V. 548. №. 8. P. 082071. doi: 10.1088/1755-1315/548/8/082071
- 16 Hastmann T.J., Bopp M., Fallon E.A., Rosenkranz R.R. et al. Factors influencing the implementation of organized physical activity and fruit and vegetable snacks in the HOPN after-school obesity prevention program // Journal of Nutrition Education and Behavior. 2013. V. 45. №. 1. P. 60-68. doi: 10.1016/j.jneb.2012.06.005
- 17 Lazzeri G., Pammolli A., Azzolini E., Simi R. et al. Association between fruits and vegetables intake and frequency of breakfast and snacks consumption: a cross-sectional study // Nutrition journal. 2013. V. 12. №. 1. P. 1-10. doi: 10.1186/1475-2891-12-123
- 18 Draxten M., Fulkerson J.A., Friend S., Flattum C.F. et al. Parental role modeling of fruits and vegetables at meals and snacks is associated with children's adequate consumption // Appetite. 2014. V. 78. P. 1-7. doi: 10.1016/j.appet.2014.02.017
- 19 Ciurzyńska A., Cieśluk P., Barwińska M., Marczak W. et al. Eating habits and sustainable food production in the development of innovative “healthy” snacks // Sustainability. 2019. V. 11. №. 10. P. 2800. doi: 10.3390/su11102800
- 20 Bisharat G.I., Lazou A.E., Panagiotou N.M., Krokida M.K. et al. Antioxidant potential and quality characteristics of vegetable-enriched corn-based extruded snacks // Journal of Food Science and Technology. 2015. V. 52. P. 3986-4000. doi: 10.1007/s13197-014-1519-z

References

- 1 Zolotokopova S.V., Nevalennaya A.A., Mironov A.I., Pavlikova R.P. The influence of technological techniques on the quality of vegetable snacks. Commodity science, technology and expertise: innovative solutions and development prospects: mat. III national scientific practice. conf. Moscow, June 02, 2022, 2022. pp. 57-62. (in Russian).
- 2 Zaitseva M.V. Application of the express-biotesting method for assessing the cyto- and genotoxicity of food additives. Promising research and new approaches to the production and processing of agricultural raw materials and food: mat. XIII International scientific and practical conference of young scientists and specialists of organizations in the field of agricultural sciences. 2019. pp. 125-131. (in Russian).
- 3 Zaitseva M.V., Surayeva N.M., Samoilov A.V. Assessment of the toxic potential of a mixture of aspartame and sorbic acid based on biotest. Food systems. 2022. vol. 5 no. 1. pp. 41-46. doi: 10.21323/2618-9771-2022-5-1-41-46 (in Russian).
- 4 Zobkova Z.S. Biotesting as an indicator of studying the synergetic effect in the production of cottage cheese products with collagen. Food industry. 2023. no. 2. pp. 22-25. doi: 10.52653/PPI.2023.2.2.005 (in Russian).

- 5 Karpenko Yu.V., Kraschenko V.V. Biotesting of fish culinary products using *Tetrahymena pyriformis* // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries. 2019. no. 3. pp. 132-140. doi:10.24143/2073-5529-2019-3-132-140 (in Russian).
- 6 Nityaga I.M., Usha B.V., Morozova E.N., Vikulova L.V. Safety control of raw materials and food products using methods for determining acute toxicity on infusoria. Food industry. 2017. no. 1. pp. 48-49. (in Russian).
- 7 Martynyuk I.A. Development of an express methodology for determining the toxicity of food additives as one of the methods of environmental quality control of food for safety [Using biotesting on daphnia to assess the toxicity of sweeteners based on cyclamates]. Food. Ecology. Man: mate. the fourth international scientific-technical conf. Moscow, 2001. pp. 260-264. (in Russian).
- 8 Sorokoletov O.N., Gaptar S.L., Bgatov A.V. Application of biotesting to assess the biological value of food products. Innovations and food security. 2022. no. 4 (38). pp. 31-36. doi: 10.31677/2311-0651-2022-38-4-31-36 (in Russian).
- 9 Sukhodoeva E.A. Determination of the toxicity of various media using a daphnia test object. Vestnik KIGIT. 2011. no. 3 (16). pp. 108-109. (in Russian).
- 10 Kaprelyants L., Pylypenko I. Development of preventive control concept of endoecological safety for foodstuffs in Ukraine. Sakharov Readings 2018: environmental problems of the XXI century: mat. The 18th International Scientific Conference in 3 parts. Part 1. Minsk, 2018. pp. 266-267.
- 11 Liman R., Ciğerci İ.H., Gökçe S. Cytogenetic and genotoxic effects of Rosmaniric Acid on *Allium cepa* L. root meristem cells. Food and Chemical Toxicology. 2018. vol. 121. pp. 444-449. doi:10.1016/j.fct.2018.09.022
- 12 Sales I.M.S., Santos F.K.S., Sousa J.M.C., Silva F.C.C. et al. Acute toxicity of grape, plum and orange synthetic food flavourings evaluated in vivo test systems. Food Technology and Biotechnology. 2017. vol. 55. no. 1. pp. 131-137. doi:10.17113/ftb.55.01.17.4770
- 13 Koç K., Pandir D. All aspect of toxic effect of brilliant blue and sunset yellow in *Allium cepa* roots. Cytotechnology. 2018. vol. 70. pp. 449-463. doi:10.1007/s10616-017-0161-9.
- 14 Yuldashbek D.H., Koishiyeva G.J., Tashmetova G.E. Application of daphnia as a bioindicator in reservoirs of the turkestan region. Bulletin of the M. Kozybayev NKU. 2020. no. 4 (49). pp. 189-197.
- 15 Perfilova O.V., Akishin D.V., Vinnitskaya V.F., Danilin S.I. et al. Use of vegetable and fruit powder in the production technology of functional food snacks. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2020. vol. 548. no. 8. pp. 082071. doi: 10.1088/1755-1315/548/8/082071
- 16 Hastmann T.J., Bopp M., Fallon E.A., Rosenkranz R.R. et al. Factors influencing the implementation of organized physical activity and fruit and vegetable snacks in the HOP'N after-school obesity prevention program. Journal of Nutrition Education and Behavior. 2013. vol. 45. no. 1. pp. 60-68. doi: 10.1016/j.jneb.2012.06.005
- 17 Lazzeri G., Pammolli A., Azzolini E., Simi R. et al. Association between fruits and vegetables intake and frequency of breakfast and snacks consumption: a cross-sectional study. Nutrition journal. 2013. vol. 12. no. 1. pp. 1-10. doi: 10.1186/1475-2891-12-123
- 18 Draxten M., Fulkerson J.A., Friend S., Flattum C.F. et al. Parental role modeling of fruits and vegetables at meals and snacks is associated with children's adequate consumption. Appetite. 2014. vol. 78. pp. 1-7. doi: 10.1016/j.appet.2014.02.017
- 19 Ciurzyńska A., Cieśluk P., Barwińska M., Marczak W. et al. Eating habits and sustainable food production in the development of innovative "healthy" snacks. Sustainability. 2019. vol. 11. no. 10. pp. 2800. doi: 10.3390/su11102800
- 20 Bisharat G.I., Lazou A.E., Panagiotou N.M., Krokida M.K. et al. Antioxidant potential and quality characteristics of vegetable-enriched corn-based extruded snacks. Journal of Food Science and Technology. 2015. vol. 52. pp. 3986-4000. doi: 10.1007/s13197-014-1519-z

Сведения об авторах

Андрей В. Котельников д.т.н., профессор, кафедра гидро-биологии и общей экологии, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия, kotas@inbox.ru

Светлана В. Золотокопова д.б.н., профессор, кафедра технологии товаров и товароведения, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия, zolotokopova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2146-5443>

Анастасия А. Неваленная к.т.н., доцент, кафедра технологии товаров и товароведения, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия, nasty_n92@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8701-9171>

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

Andrey V. Kotelnikov Dr. Sci. (Engin.), professor, hydrobiology and general ecology department, Astrakhan State Technical University, st. Tatishcheva, 16/1, Astrakhan, 414056, Russia, kotas@inbox.ru

Svetlana V. Zolotokopova Dr. Sci. (Biol.), professor, product technology and commodity science department, Astrakhan State Technical University, st. Tatishcheva, 16/1, Astrakhan, 414056, Russia, zolotokopova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2146-5443>

Anastasia A. Nevalennaya Cand. Sci. (Engin.), associate professor, product technology and commodity science department, Astrakhan State Technical University, st. Tatishcheva, 16/1, Astrakhan, 414056, Russia, nasty_n92@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8701-9171>

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 16/01/2023	После редакции 07/02/2023	Принята в печать 01/03/2023
Received 16/01/2023	Accepted in revised 07/02/2023	Accepted 01/03/2023

Трансформация рецептуры фитнес коврижки на основе зеленой гречки, обогащенной рапсовым белковым изолятом: систематический обзор

Наталья В. Рубан	¹	rubannv@mgupp.ru	 0000-0003-2511-172X
Анна С. Колосова	¹	annakolosova772@gmail.com	 0009-0003-5731-1619
Лариса И. Рысева	¹	rysevali@mail.ru	 0009-0002-5671-9869
Виктория А. Астахова	¹	vika.xaritonova.00@mail.ru	 0009-0000-4266-3265
Дарина И. Половинкина	¹	darina.ruban@ya.ru	 0009-0009-1935-0338

¹ Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия

Аннотация. В настоящее время в области пищевых производств, приоритетным направлением является создание продукции, обогащенной биологически активными компонентами, макро- и – микроэлементами. Использование такой продукции в пище существенным образом влияет на здоровье человека и продолжительность его жизни. Повышение пищевой ценности продуктов питания путем использования нетрадиционного природного сырья способствует увеличению количества питательных веществ, сбалансированных и распределенных между собой в составе изделия, который прямолинейно влияет на организм человека при употреблении. Было проведено исследование по анализу публикаций, посвященных пищевой, биологической ценности, функциональным свойствам зеленой гречки, а также изолята рапсового белка. Зеленая гречка обладает огромным запасом питательных веществ и может и использоваться для производства мучных кондитерских изделий. Замена пшеничной муки мукой зеленой гречки не влияет на физико-химические показатели качества готового изделия, но заметно улучшает органолептические показатели. Полученные результаты доказывают, что изолят белка рапса можно использовать для трансформации рецептур пищевых продуктов, обогащая их растительным белком, в качестве замены животных белков. Эмульгирующие свойства белка рапса важны в таких пищевых системах, как заправки, майонезы или мороженое. Водопоглощающая способность играет роль в формировании хлебобулочных изделий и мучных кондитерских изделий. Несмотря на все вышеописанные полезные, питательные и функциональные свойства зеленой гречки и рапсового белкового изолята на самом деле, редко используются в качестве функциональных ингредиентов, особенно в кондитерском производстве. Результаты этого исследования могут обеспечить новый подход к разработке новых пищевых продуктов.

Ключевые слова: зеленая гречка, пищевая ценность, изолят, рапсовый белок, функциональные свойства.

Transformation of the formula of fitness ginger based on green buckwheat enriched with rapeseed protein isolate: a systematic review

Natalia V. Ruban	¹	rubannv@mgupp.ru	 0000-0003-2511-172X
Anna S. Kolosova	¹	annakolosova772@gmail.com	 0009-0003-5731-1619
Larisa I. Ryseva	¹	rysevali@mail.ru	 0009-0002-5671-9869
Victoria A. Astakhova	¹	vika.xaritonova.00@mail.ru	 0009-0000-4266-3265
Darina I. Polovinkina	¹	darina.ruban@ya.ru	 0009-0009-1935-0338

¹ Russian Biotechnology University, Volokolamskoe Shosse 11, Moscow, 125080, Russia

Abstract. Currently, in the field of food production, the priority direction is the creation of products enriched with biologically active components, macro- and microelements. The use of such products in food significantly affects human health and life expectancy. Increasing the nutritional value of food through the use of unconventional natural raw materials contributes to an increase in the amount of nutrients balanced and distributed among themselves in the composition of the product, which directly affects the human body when consumed. A study was conducted to analyze publications on the nutritional, biological value, functional properties of green buckwheat, as well as rapeseed protein isolate. Green buckwheat has a huge supply of nutrients and can be used for the production of flour confectionery. Replacing wheat flour with green buckwheat flour does not affect the physico-chemical quality indicators of the finished product, but significantly improves organoleptic indicators. The results obtained prove that rapeseed protein isolate can be used to transform food formulations, enriching them with vegetable protein, as a substitute for animal proteins. The emulsifying properties of rapeseed protein are important in food systems such as dressings, mayonnaise or ice cream. Water absorption capacity plays a role in the formation of bakery products and flour confectionery products. Despite all the above-described useful, nutritious and functional properties of green buckwheat and rapeseed protein isolate, in fact, are rarely used as functional ingredients, especially in confectionery production. The results of this study may provide a new approach to the development of new food products.

Keywords: green buckwheat, nutritional value, isolate, rapeseed protein, functional properties.

Для цитирования

Рубан Н.В., Колосова А.С., Рысева Л.И., Астахова В.А., Половинкина Д.И. Трансформация рецептуры фитнес коврижки на основе зеленой гречки, обогащенной рапсовым белковым изолятом: систематический обзор // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 167–173. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-167-173

For citation

Ruban N.V., Kolosova A.S., Ryseva L.I., Astakhova V.A., Polovinkina D.I. Transformation of the formula of fitness ginger based on green buckwheat enriched with rapeseed protein isolate: a systematic review. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 167–173. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-167-173

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

Введение

Глобализация привела человека к пониманию того, что люди должны избегать употребления в пищу продуктов, которые могут вызвать заболевания и негативные последствия [6, 23]. Кондитерские изделия, сбалансированные по содержанию основных питательных веществ, с альтернативными источниками белка растительного происхождения, были разработаны на кафедре «РОСБИОТЕХА» и могут компенсировать спрос на продукты, обладающие повышенной пищевой ценностью.

Зеленая гречка – уникальный вид крупы, обладающий как питательной ценностью, так и запасом питательных веществ. Основная ценность этого злака в том, что это необработанный продукт. В результате ее также называют живой гречкой, безглютеновой пищей с ценными фитохимическими веществами, которые обеспечивают значительную пользу для здоровья [4].

В последние годы растительные белки приобрели популярность среди ученых и производителей в области пищевого производства, отчасти в ответ на растущий интерес потребителей к более экономичной и экологически безопасной диете, а также это связано с трендами веганства и вегетарианства в западных культурах [15].

Изоляты рапсового белка – это «новые продукты», введенные в рацион человека [14]. Семена рапса – вторая по объему производства масличная культура в мире после сои. Белок рапса представляет собой высококачественный, стабильный, доступный источник белка с высокой биодоступностью и усвояемостью [6].

Цель статьи – провести систематический обзор литературы о зеленой гречке и изоляте рапсового белка, а также выяснить о возможности использования их в качестве функциональных пищевых ингредиентов.

Материалы и методы

На первом этапе проведенного систематического исследования в базе данных Web of Science Core Collection и Google Scholar, были отобрано 180 статей, по ключевым словам: raw buckwheat, green buckwheat, rareseed protein functional properties, rapeseed protein isolate.

На втором этапе, проанализировав тексты отобранных статей, был проведен отбор статей, несущих информацию пищевой ценности и функциональных свойствах зеленой гречки, аминокислотном составе и функциональных свойствах рапсового белкового изолята.

Поиск был ограничен временным периодом с 2016 до 2022 года. В центре внимания были статьи, опубликованные в научных журналах, для обеспечения объективности данных. На третьем, заключительном этапе был сделан вывод об изученных ранее статьях.

Результаты и обсуждение

Важным источником пищевых волокон, полноценного белка, ненасыщенных жирных кислот, минеральных веществ и витаминов являются зерновые и масличные культуры [5].

Гречиха – двудольное травянистое растение, относящееся к семейству Polygonaceae и роду Fagopyrum. Гречиха – это совместное название двух культурных видов, обыкновенной гречихи (*Fagopyrum esculentum* Moench) и татарской гречихи (*Fagopyrum tataricum* Gaertn). Гречиха является псевдозлаком, так как это не разновидность тритикале, но физико-химические и функциональные свойства гречихи схожи со свойствами злаковых культур, поэтому агрономы относят ее к разновидности тритикале [32].

Гречиха является источником многих витаминов и минералов и имеет сбалансированную пищевую ценность. Из-за содержания питательных веществ и множества положительных эффектов на здоровье человека гречка в последнее время стала активно использоваться для обогащения пищевых продуктов. Основными эффектами гречихи на здоровье человека являются ее гипотензивное, гипогликемическое, гипохолестеринемическое, нейропротекторное и антиоксидантное действие. Таким образом, она считается альтернативным компонентом питания при диетическом лечении хронических и метаболических заболеваний, таких как диабет, гипертония и целиакия [31].

Зеленая (сырая) гречка – это очищенные семена гречихи, не прошедшие термическую обработку.

Семена гречихи состоят из эндосперма, в котором находится крахмал (в среднем 70%), и не содержащего крахмал алейронового слоя [11].

Содержание белка в зеленой гречихе составляет 11–19% из которых, 55% приходится на зародыш и 35% – на эндосперм, остальное – на скорлупу. Белки гречихи легко усваиваются организмом человека и являются более ценными по сравнению с белками злаков и по своей пищевой ценности не уступают белкам бобовых [10]. Основным белком гречки является глобулин 13S, который считается редким растительным белком с эффектом снижения уровня холестерина в крови. Гречиха также содержит лектины, играющие роль в снижении пролиферации спонтанных и индуцированных опухолей [7].

Зеленая гречка также содержит незаменимые жирные кислоты, которые не синтезируются в организме человека и должны поступать из рациона. Содержание липидов в гречке (0,75–7,4%) выше, чем в пшенице, характеризуется высокой степенью ненасыщенности, что предпочтительнее

с пищевой точки зрения [9]. Липиды гречки устойчивы к окислению, а это значит, что гречка и продукты ее переработки могут храниться длительное время. Она также богата фосфолипидами, особенно лецитином [25].

В гречке также было обнаружено несколько биофункциональных соединений, таких как: фенольные кислоты, фитостеролы, биологически активные инозиты (D-хироинит и мио-инозитол), конденсированные дубильные вещества, флавоноиды, такие как рутин, ориентин, гомоориентин, витексин, кверцетин, изовитексин и изоориентин [12, 22]. Рутин гречихи является биофлавоноидом с важными физиологическими и биологическими свойствами. Он укрепляет капилляры и артерии, предотвращает кровотечение, улучшает зрение и слух, защищает от ультрафиолетового излучения. Следует отметить, что рутин, не содержится ни в каких других злаках и псевдо злака [28].

Зерна гречихи являются важным источником минералов (2,0–2,5%), а именно цинка, меди, марганца, селена, фосфора, калия, натрия, кальция, железа и магния (Huda, 2021). Зеленая гречка содержит несколько витаминов группы В, В₁ (3,3 мг/кг), В₂ (10,6 мг/кг), В₃ (18,0 мг/кг), В₅ (11,0 мг/кг), В₆ (1,5 мг/кг), витамины А, С и Е [10].

Мука зеленой гречки имеет более светлый цвет по сравнению с темной гречневой. Ее технологические свойства мало изучены, но есть исследования, утверждающие, что ее пищевая и биологическая ценность превышает таковую у темной гречневой муки из-за отсутствия гидротермальной обработки [5].

В 2020 году киевские ученые изучали влияние разных видов гречневой муки на качество безглютенового хлеба. Результаты исследования свидетельствуют о целесообразности использования муки из термически необработанной гречневой крупы в технологии безглютенового хлеба. Мука из гречневой крупы, не прошедшая термическую обработку, имеет больший размер зерен и на 36% меньшую водопоглощающую способность. Удельный объем безглютенового хлеба с добавлением термически необработанной гречневой муки больше на 23%, по сравнению с изделиями из муки с термически обработанной гречневой крупы гречневой, характеризуется лучшими органолептическими показателями качества. Существенная разница проявляется в характеристиках вкуса и аромата, которые менее выражены, а запах больше похож на традиционный пшеничный хлеб. Улучшается состояние поверхности, ее окраска, а также состояние мякиша.

Негативное влияние термически обработанной гречневой муки обусловлено его высокой водопоглощающей способностью. Тесто с такой мукой образуется дольше. Клейстеризованный крахмал, содержащийся в термически обработанной гречневой муке, повышает водопоглощающую способность теста и способствует удержанию влаги в тесте во время выпекания [18].

В 2020 году ученые из Кургана исследовали возможность применения муки из зеленой гречки в качестве функционального ингредиента в производстве хлебобулочных изделий. Проведение исследования заключалось в замене части пшеничной муки на муку из зеленой гречки в рецептуре пшенично-ржаного хлеба и изучении органолептических и физико-химических показателей качества готового изделия. В ходе исследования было установлено, что добавление муки из зеленой гречки в рецептуру теста придает изделию приятный аромат, вкус и цвет и не оказывает влияния на физико-химические показатели качества [2].

Аналогичное исследование проводилось в 2021 году. Также заменяли пшеничную муку на цельную муку из зеленой гречки при выпечке хлеба. По итогам исследования было выяснено, что использование муки из зеленой гречки позволяет снизить энергетическую ценность готового продукта. Целесообразно использовать зеленую гречку при разработке низкокалорийных пищевых продуктов [1].

В последнее время возрос интерес к растительным белкам. Глобальный спрос на белок обусловлен различными факторами, такими как рост населения, рост урбанизации и старение, а также изменение предпочтений потребителей, которые в последнее время ориентируются на растительную пищу как на предпосылку здорового образа жизни [17]. Более того, белки играют важную роль в приготовлении пищи, поскольку они представляют собой строительный материал для структур и питательных веществ и помогают развивать желаемые пищевые свойства.

Растительные белки – это природный ресурс с универсальными, функциональными свойствами, такими как пенообразование, эмульгирование и пленкообразование [3]. Растущий спрос на растительный белок вызвал интерес к изучению малоиспользуемых в настоящее время источников растительного белка в пищевой промышленности [19].

При поиске новых источников белков особое внимание следует уделить масличным культурам семейства *Brassica*, включающему сорта рапса и канолы. Они содержат питательно

ценные белки, которые потенциально могут быть использованы в пищу, но в настоящее время редко используются или не используются в качестве пищевых компонентов [8].

Рапс является одной из основных культур, возделываемых для производства масла, наряду с соей. Белки рапса представляют особый интерес, поскольку они могут быть извлечены из остаточных материалов в процессе обезжиривания семян рапса [13].

Рапс является перспективным источником белка, так как он характеризуется аминокислотным профилем, сравнимым с соевым.

Польские ученые проводили исследование с целью оценки аминокислотного состава и функциональных свойств изолята рапсового белка. Полученные результаты доказывают, что белково-волокнуистый концентрат из семян рапса потенциально можно использовать в качестве добавки, обогащающей белком и клетчаткой продукты. Для этого трансформируется рецептура и вводятся сухие ингредиенты, взамен, например, животных белков. Было установлено, что белок рапса особенно богат лизином, валином и пролином. Было обнаружено, что изолят белка рапса обладает высокой эмульгирующей активностью и стабильностью эмульсии [24].

В 2020 году немецкие ученые исследовали влияние изолята рапсового белка (по сравнению с изолятом соевого белка) на постпрандиальные концентрации метаболитов и гормонов у здоровых людей. Исследования – отличный способ получить всестороннее представление о метаболическом воздействии, безопасности и биодоступности новых пищевых компонентов. Было установлено, что как рапсовый, так и соевый белок обеспечивают благоприятный аминокислотный состав для здоровья человека. Рапсовый белок оказывает более сильное влияние на чувство сытости, чем соевый белок. Предполагается, что отдельные аминокислоты могут быть ответственны за белок-специфическое влияние на чувство сытости, поскольку исследования выявили повышенное потребление лейцина, лизина, триптофана, изолейцина и треонина, что сопровождалось повышением концентрации этих аминокислот в плазме и было связано со сниженным чувством голода. Также было обнаружено более благоприятное влияние рапсового белка на постпрандиальный метаболизм глюкозы в отличие от соевого белка. Эти результаты показывают, что рапсовый белок имеет ценность в качестве пищевого компонента [29].

В 2021 году европейские ученые проанализировали влияние изолята рапсового белка

на физико-химические свойства, органолептические показатели и срок хранения безглютенового хлеба, приготовленного на основе смеси кукурузного и картофельного крахмала с добавлением пектина и гуаровой камеди. Было замечено, что присутствие рапсового белка, особенно в более высоких количествах, вызывало увеличение объема хлеба и плотности пор, а также уменьшение пористости мякиша. Рапсовый белок ограничил черствение хлеба при хранении по сравнению с контрольным образцом. Результаты показывают, что рапсовый белок может стать ценным компонентом безглютеновых продуктов, поскольку он содержит ценные аминокислоты, а также благотворно влияет на качественные характеристики [21].

Изолят рапсового белка применялся также для приготовления печенья на основе взбитой белковой пены, молочных напитков, сыров и их спред-аналогов, при изготовлении колбасных изделий разной степени помола, майонезов и салатных заправок [30].

Заключение

Было проведено систематическое исследование по анализу публикаций, представленных в базе данных Web of Science Core Collection и Google Scholar, посвященных пищевой, биологической ценности, функциональным свойствам зеленой гречки, а также изолята рапсового белка.

Зеленая гречка обладает огромным запасом питательных веществ и может и использоваться для производства мучных кондитерских изделий. Замена пшеничной муки мукой зеленой гречки не влияет на физико-химические показатели качества готового изделия, но заметно улучшает органолептические показатели.

Полученные результаты доказывают, что изолят белка рапса можно использовать для трансформации рецептур пищевых продуктов, обогащая их растительным белком, в качестве замены животных белков. Эмульгирующие свойства белка рапса важны в таких пищевых системах, как заправки, майонезы или мороженое. Водопоглощающая способность играет роль в формировании хлебобулочных изделий и мучных кондитерских изделий. Несмотря на все вышеописанные полезные, питательные и функциональные свойства зеленой гречки и рапсового белкового изолята на самом деле, редко используются в качестве функциональных ингредиентов, особенно в кондитерском производстве. Результаты этого исследования могут обеспечить новый подход к разработке новых пищевых продуктов.

Литература

- 1 Воропаева А.А., Ильина А.С. Обогащение хлебобулочных изделий мукой из термически необработанного зерна гречихи // Наука в исследованиях молодежи-2021. 2021. С. 111–115.
- 2 Субботина Н.А., Ткаченко М.Н. Мука из зеленой гречки как функциональный ингредиент для хлебобулочных изделий // Достижения и перспективы научно-инновационного развития АПК. 2020. С. 612–617.
- 3 Artiga-Artigas M. et al. Protein/Polysaccharide complexes to stabilize decane-in-water nanoemulsions // Food Biophysics. 2020. V. 15. P. 335–345.
- 4 Atambayeva Z. et al. A Risk and Hazard Analysis Model for the Production Process of a New Meat Product Blended With Germinated Green Buckwheat and Food Safety Awareness // Frontiers in Nutrition. 2022. V. 9. P. 902760.
- 5 Bondarenko Y. et al. Study of the influence of buckwheat flour and flax seeds on consumption properties of long-stored bakery products // EUREKA: Life Sciences. 2019. №. 4. P. 9–18.
- 6 Campbell L., Rempel C.B., Wanasundara J.P.D. Canola/rapeseed protein: Future opportunities and directions – Workshop proceedings of IRC 2015 // Plants. 2016. V. 5(2). № 17. P. 7.
- 7 Chettry U., Chrungoo N.K. Beyond the Cereal Box: Breeding Buckwheat as a Strategic Crop for Human Nutrition // Plant Foods for Human Nutrition. 2021. P. 1–11.
- 8 Chmielewska A. et al. Canola/rapeseed protein–nutritional value, functionality and food application: a review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2021. V. 61. №. 22. P. 3836–3856.
- 9 Coțovanu I., Mironeasa S. Buckwheat seeds: Impact of milling fractions and addition level on wheat bread dough rheology // Applied Sciences. 2021. V. 11. №. 4. P. 1731.
- 10 Dabija A. et al. Buckwheat and Amaranth as Raw Materials for Brewing, a Review // Plants. 2022. V. 11. №. 6. P. 756.
- 11 Deng Y. et al. Brewing rutin-enriched lager beer with buckwheat malt as adjuncts // Microbiol Biotechnol. 2019. V. 29. №. 6. P. 877–886.
- 12 Duliński R. et al. Impact of two commercial enzymes on the release of inositols, fermentable sugars, and peptides in the technology of buckwheat beer // Journal of the American Society of Brewing Chemists. 2019. V. 77. №. 2. P. 119–125.
- 13 Fetzer A. et al. Rapeseed proteins for technical applications: Processing, isolation, modification and functional properties—A review // Industrial Crops and Products. 2020. V. 158. P. 112986.
- 14 Georgiev R. et al. Multifunctionality of rapeseed meal protein isolates prepared by sequential isoelectric precipitation // Foods. 2022. V. 11. №. 4. P. 541.
- 15 Gravel A., Doyen A. The use of edible insect proteins in food: Challenges and issues related to their functional properties // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2020. V. 59. P. 102272.
- 16 Hartmann C., Bearth A. Bugs on the menu: drivers and barriers of consumer acceptance of insects as food // Edible Insects in the Food Sector: Methods, Current Applications and Perspectives. 2019. P. 45-55. doi: 10.1007/978-3-030-22522-3_4
- 17 Henchion M. et al. Future protein supply and demand: strategies and factors influencing a sustainable equilibrium // Foods. 2017. V. 6. №. 7. P. 53.
- 18 Huda M.N. et al. Treasure from garden: Bioactive compounds of buckwheat // Food chemistry. 2021. V. 335. P. 127653.
- 19 Jia W. et al. Assessing functional properties of rapeseed protein concentrate versus isolate for food applications // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2021. V. 68. P. 102636.
- 20 Kaiser F., Harbach H., Schulz C. Rapeseed proteins as fishmeal alternatives: A review // Reviews in Aquaculture. 2022. V. 14. №. 4. P. 1887–1911.
- 21 Korus J. et al. Rapeseed protein as a novel ingredient of gluten-free bread // European Food Research and Technology. 2021. V. 247. №. 8. P. 2015–2025.
- 22 Kowalska E., Ziarno M. Characterization of buckwheat beverages fermented with lactic acid bacterial cultures and bifidobacteria // Foods. 2020. V. 9. №. 12. P. 1771.
- 23 Orsi L., Voege L.L., Stranieri S. Eating edible insects as sustainable food? Exploring the determinants of consumer acceptance in Germany // Food Research International. 2019. V. 125. P. 108573. doi: 10.1016/j.foodres.2019.108573
- 24 Ostrowska A. et al. Rapeseed protein-fibre concentrate: Chemical composition and functional properties // Żywność Nauka Technologia Jakość. 2018. V. 25. №. 4 (117). P. 86–99.
- 25 Patil S.B., Jena S. Utilization of underrated pseudo-cereals of North East India: a systematic review // Nutrition & Food Science. 2020. V. 50. №. 6. P. 1229–1240.
- 26 Raguindin P.F. et al. A systematic review of phytochemicals in oat and buckwheat // Food chemistry. 2021. V. 338. P. 127982.
- 27 Sindhu R., Khatkar B.S. Composition and functional properties of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) flour and starch // IJIRAS. 2016. V. 3. №. 7. P. 154–159.
- 28 Suzuki T. et al. Breeding of buckwheat to reduce bitterness and rutin hydrolysis // Plants. 2021. V. 10. №. 4. P. 791.
- 29 Volk C. et al. Postprandial metabolic response to rapeseed protein in healthy subjects // Nutrients. 2020. V. 12. №. 8. P. 2270.
- 30 Wanasundara J.P.D. et al. Canola/rapeseed protein-functionality and nutrition // OCL. 2016. V. 23. №. 4. P. 15. doi: 10.1051/ocl/2016028
- 31 Wronkowska M. et al. Physical properties of buckwheat water biscuits formulated from fermented flours by selected lactic acid bacteria // Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. 2018. V. 68. №. 1. P. 25–31.
- 32 Zhou M. et al. Overview of buckwheat resources in the world // Buckwheat germplasm in the world. Academic Press, 2018. P. 1–7.

References

- 1 Voropaeva A.A., Ilyina A.S. Enrichment of bakery products with flour from thermally unprocessed buckwheat grain. *Science in youth research* 2021. 2021. pp. 111-115. (in Russian).
- 2 Subbotina N.A., Tkachenko M.N. Green buckwheat flour as a functional ingredient for bakery products. Achievements and prospects of scientific and innovative development of the agro-industrial complex. 2020. pp. 612-617. (in Russian).
- 3 Artiga-Artigas M. et al. Protein/Polysaccharide complexes to stabilize decane-in-water nanoemulsions. *Food Biophysics*. 2020. vol. 15. pp. 335–345.
- 4 Atambayeva Z. et al. A Risk and Hazard Analysis Model for the Production Process of a New Meat Product Blended With Germinated Green Buckwheat and Food Safety Awareness. *Frontiers in Nutrition*. 2022. vol. 9. pp. 902760.
- 5 Bondarenko Y. et al. Study of the influence of buckwheat flour and flax seeds on consumption properties of long-stored bakery products. *EUREKA: Life Sciences*. 2019. no. 4. pp. 9–18.
- 6 Campbell L., Rempel C.B., Wanasundara J.P.D. Canola/rapeseed protein: Future opportunities and directions – Workshop proceedings of IRC 2015. *Plants*. 2016. vol. 5(2). no. 17. pp. 7.
- 7 Chettry U., Chrungoo N.K. Beyond the Cereal Box: Breeding Buckwheat as a Strategic Crop for Human Nutrition. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2021. pp. 1–11.
- 8 Chmielewska A. et al. Canola/rapeseed protein–nutritional value, functionality and food application: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021. vol. 61. no. 22. pp. 3836–3856.
- 9 Coțovanu I., Mironeasa S. Buckwheat seeds: Impact of milling fractions and addition level on wheat bread dough rheology. *Applied Sciences*. 2021. vol. 11. no. 4. pp. 1731.
- 10 Dabija A. et al. Buckwheat and Amaranth as Raw Materials for Brewing, a Review. *Plants*. 2022. vol. 11. no. 6. pp. 756.
- 11 Deng Y. et al. Brewing rutin-enriched lager beer with buckwheat malt as adjuncts. *Microbiol Biotechnol*. 2019. vol. 29. no. 6. pp. 877–886.
- 12 Duliński R. et al. Impact of two commercial enzymes on the release of inositols, fermentable sugars, and peptides in the technology of buckwheat beer. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 2019. vol. 77. no. 2. pp. 119–125.
- 13 Fetzer A. et al. Rapeseed proteins for technical applications: Processing, isolation, modification and functional properties—A review. *Industrial Crops and Products*. 2020. vol. 158. pp. 112986.
- 14 Georgiev R. et al. Multifunctionality of rapeseed meal protein isolates prepared by sequential isoelectric precipitation. *Foods*. 2022. vol. 11. no. 4. pp. 541.
- 15 Gravel A., Doyen A. The use of edible insect proteins in food: Challenges and issues related to their functional properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020. vol. 59. pp. 102272.
- 16 Hartmann C., Bearth A. Bugs on the menu: drivers and barriers of consumer acceptance of insects as food. *Edible Insects in the Food Sector: Methods, Current Applications and Perspectives*. 2019. pp. 45-55. doi: 10.1007/978-3-030-22522-3_4
- 17 Henchion M. et al. Future protein supply and demand: strategies and factors influencing a sustainable equilibrium. *Foods*. 2017. vol. 6. no. 7. pp. 53.
- 18 Huda M.N. et al. Treasure from garden: Bioactive compounds of buckwheat. *Food chemistry*. 2021. vol. 335. pp. 127653.
- 19 Jia W. et al. Assessing functional properties of rapeseed protein concentrate versus isolate for food applications. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2021. vol. 68. pp. 102636.
- 20 Kaiser F., Harbach H., Schulz C. Rapeseed proteins as fishmeal alternatives: A review. *Reviews in Aquaculture*. 2022. vol. 14. no. 4. pp. 1887–1911.
- 21 Korus J. et al. Rapeseed protein as a novel ingredient of gluten-free bread. *European Food Research and Technology*. 2021. vol. 247. no. 8. pp. 2015–2025.
- 22 Kowalska E., Ziarno M. Characterization of buckwheat beverages fermented with lactic acid bacterial cultures and bifidobacteria. *Foods*. 2020. vol. 9. no. 12. pp. 1771.
- 23 Orsi L., Voegelé L.L., Stranieri S. Eating edible insects as sustainable food? Exploring the determinants of consumer acceptance in Germany. *Food Research International*. 2019. vol. 125. pp. 108573. doi: 10.1016/j.foodres.2019.108573
- 24 Ostrowska A. et al. Rapeseed protein-fibre concentrate: Chemical composition and functional properties. *Żywność Nauka Technologia Jakość*. 2018. vol. 25. no. 4 (117). pp. 86–99.
- 25 Patil S.B., Jena S. Utilization of underrated pseudo-cereals of North East India: a systematic review. *Nutrition & Food Science*. 2020. vol. 50. no. 6. pp. 1229–1240.
- 26 Raguindin P.F. et al. A systematic review of phytochemicals in oat and buckwheat. *Food chemistry*. 2021. vol. 338. pp. 127982.
- 27 Sindhu R., Khatkar B.S. Composition and functional properties of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) flour and starch. *IJIRAS*. 2016. vol. 3. no. 7. pp. 154–159.
- 28 Suzuki T. et al. Breeding of buckwheat to reduce bitterness and rutin hydrolysis. *Plants*. 2021. vol. 10. no. 4. pp. 791.
- 29 Volk C. et al. Postprandial metabolic response to rapeseed protein in healthy subjects. *Nutrients*. 2020. vol. 12. no. 8. pp. 2270.
- 30 Wanasundara J.P.D. et al. Canola/rapeseed protein-functionality and nutrition. *OCL*. 2016. vol. 23. no. 4. pp. 15. doi: 10.1051/ocl/2016028
- 31 Wronkowska M. et al. Physical properties of buckwheat water biscuits formulated from fermented flours by selected lactic acid bacteria. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2018. vol. 68. no. 1. pp. 25–31.
- 32 Zhou M. et al. Overview of buckwheat resources in the world. *Buckwheat germplasm in the world*. Academic Press, 2018. pp. 1–7.

Сведения об авторах

Наталья В. Рубан к.т.н., доцент, кафедра кондитерских, сахаристых, субтропических и пищевкусковых технологий, Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ», Волоколамское шоссе, 11, г. Москва 125080, Россия, rubannv@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2511-172X>

Анна С. Колосова бакалавр, кафедра кондитерских, сахаристых, субтропических и пищевкусковых технологий, Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ», Волоколамское шоссе, 11, г. Москва 125080, Россия, annakolosova772@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0003-5731-1619>

Лариса И. Рысева к.т.н., профессор, кафедра кондитерских, сахаристых, субтропических и пищевкусковых технологий, Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ», Волоколамское шоссе, 11, г. Москва 125080, Россия, rysevali@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0002-5671-9869>

Виктория А. Астахова магистр, кафедра кондитерских, сахаристых, субтропических и пищевкусковых технологий, Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ», Волоколамское шоссе, 11, г. Москва 125080, Россия, vika.xaritonova.00@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-4266-3265>

Дарина И. Половинкина аспирант, ассистент, кафедра пищевой безопасности, Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ», Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия, darina.ruban@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0009-1935-0338>

Вклад авторов

Наталья В. Рубан консультация в ходе исследования

Анна С. Колосова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Лариса И. Рысева консультация в ходе исследования

Виктория А. Астахова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Дарина И. Половинкина консультация в ходе исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Natalia V. Ruban Cand. Sci. (Engin.), associate professor, confectionery, sugar, subtropical and food flavoring technologies department, Russian Biotechnological University "ROSBIOTECH", Volokolamskoe highway, 11, Moscow 125080, Russia, rubannv@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2511-172X>

Anna S. Kolosova bachelor, confectionery, sugar, subtropical and food flavoring technologies department, Russian Biotechnological University "ROSBIOTECH", Volokolamskoe highway, 11, Moscow 125080, Russia, annakolosova772@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0003-5731-1619>

Larisa I. Ryseva Cand. Sci. (Engin.), professor, confectionery, sugar, subtropical and food flavoring technologies department, Russian Biotechnological University "ROSBIOTECH", Volokolamskoe highway, 11, Moscow 125080, Russia, rysevali@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0002-5671-9869>

Victoria A. Astakhova master student, confectionery, sugar, subtropical and food flavoring technologies department, Russian Biotechnological University "ROSBIOTECH", Volokolamskoe highway, 11, Moscow 125080, Russia, vika.xaritonova.00@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-4266-3265>

Darina I. Polovinkina graduate student, assistant, food safety department, Russian Biotechnological University "ROSBIOTECH", Volokolamskoe highway, 11, Moscow 125080, Russia, darina.ruban@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0009-1935-0338>

Contribution

Natalia V. Ruban consultation during the study

Anna S. Kolosova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Larisa I. Ryseva consultation during the study

Victoria A. Astakhova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Darina I. Polovinkina consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 26/12/2022	После редакции 08/02/2023	Принята в печать 02/03/2023
Received 26/12/2022	Accepted in revised 08/02/2023	Accepted 02/03/2023

Разработка продуктивных псевдокапсулированных комбикормов для радужной форели, выращиваемой в Центральном федеральном округе Российской Федерации

Виталий Н. Василенко	¹	vvn_1977@mail.ru	 0000-0002-1547-9814
Лариса Н. Фролова	¹	Fln-84@mail.ru	 0000-0002-6505-4136
Илья Ю. Кочкин	¹		
Илья Д. Еремин	¹		
София И. Жильцова	¹	Fln-84@mail.ru	
Роман В. Дорохин	¹	romandr90@gmail.com	

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

Аннотация. Снижение вылова ценных видов рыб из естественных водоемов компенсируется их интенсивным выращиванием в искусственных условиях. Для реализации основной задачи форелевых хозяйств, связанной с получением товарной продукции в кратчайшие сроки, в качестве источника питания используются искусственные корма. Экономически целесообразным альтернативным источником сырья являются продукты растительного происхождения. В процессе производства масложировой продукции на разных стадиях образуются многочисленные жировые отходы и побочные продукты, которые имеют кормовую ценность и не используются в качестве кормовых средств в промышленных масштабах. Особенно это касается отходов переработки жиров (мылонафт светлого масла, жиротобеливающие глины, дезодорирующие погony, фосфатиды, кальциевые соли жирных кислот), а также отработанных масел в сочетании с отходами переработки жиров. На основе изучения классической технологии производства комбикормов для ценных видов рыб и устранения ее недостатков предложена технология псевдокапсулированных комбикормов для лососевых рыб, выращиваемых в ЦФО РФ, с заданной кормовой ценностью и линия для ее реализации. Наилучшим способом доставки жиров и содержащихся в них витаминов ценным видам рыб является скармливание их в составе комбикормов. Однако в настоящее время на существующих в России линиях поставки жиров в комбикорма трудно повысить их содержание, так как большинство заводов могут включать в комбикорм до 10 % жира. Поэтому разработка рецептур и технологий смешивания кормов для ценных пород рыб с содержанием жира более 10 % в качестве добавки жиросодержащих отходов, таких как погony и фосфаты, представляет не только научный интерес. В ходе исследований также были разработаны оптимизирующие инкапсулированные оптимальные корма для программы "Корм Оптима Эксперт" также разработаны псевдокапсулированные оптимальные комбикорма для радужной форели. В результате получены близкие результаты по скорости роста форели, развитию, конверсии корма и выживаемости в сравнении с лучшими на российском рынке аналогами корма.

Ключевые слова: форель, оптимальный корм, производство аналогов, псевдокапсулирование, оптимизация рациона питания.

Development of productive pseudocapsulated compound feeds for rainbow trout grown in the Central Federal District of the Russian Federation

Vitalii N. Vasilenko	¹	vvn_1977@mail.ru	 0000-0002-1547-9814
Larisa N. Frolova	¹	Fln-84@mail.ru	 0000-0002-6505-4136
Ilya Yu. Kochkin	¹		
Ilya D. Eremin	¹		
Sofia I. Zhiltsova	¹	Fln-84@mail.ru	
Roman V. Dorokhin	¹	romandr90@gmail.com	

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

Abstract. The decrease in catch of valuable fish species from natural water bodies is compensated by their intensive cultivation in artificial conditions. In order to realize the main task of trout farms associated with obtaining marketable products in the shortest possible period of time, artificial feed is used as a source of food. A economically feasible alternative source of raw materials is the products of plant origin. In the process of production of oil and fat products at various stages, numerous fat wastes and by-products are formed, which have fodder value and are not used as feeding facilities in industrial scale. This is especially true for fat processing (soapstock of Light oil, fatty bleaching clays, dezodoration chases, phosphatides, calcium salts of fatty acids), as well as waste oils in combination with fat processing waste. On the base of studying the classical technology of producing mixed fodders for valuable fish species and eliminating its drawbacks the technology of pseudocapsulated mixed fodders for salmon fish grown in the CFD of Russia Federation with given fodder value and a line for its realization is suggested. The best way to bring fats and vitamins contained in them to valuable fish species is to feed them as a part of mixed fodders. At present, however, it is difficult to increase the level of fat in feed on the existing Russian fats supply lines, since most plants can include up to 10% of fat in the bulk feed line. Therefore, the development of mixing formulations and techniques for valuable fish breeds using sturgeon fish with more than 10% fat in it as an addition of fat oily wastes such as epaulettes and phosphates is not only of scientific interest. In the course of studies optimization encapsulated optimal feeds for program "Feed Optima Expert" pseudorainbow trout were also developed. As a result, close results were obtained in terms of the rate of growth of trout, the development, conversion of feed and viability in comparison with the best feed counterparts on the Russian market.

Keywords: trout, optimal feed, fodder production, pseudocapsulation, dietary optimization.

Для цитирования

Василенко В.Н., Фролова Л.Н., Кочкин И.Ю., Еремин И.Д., Жильцова С.И., Дорохин Р.В. Разработка продуктивных псевдокапсулированных комбикормов для радужной форели, выращиваемой в Центральном федеральном округе Российской Федерации // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 174–179. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-174-179

For citation

Vasilenko V.N., Frolova L.N., Kochkin I.Yu., Eremin I.D., Zhiltsova S.I., Dorokhin R.V. Development of productive pseudocapsulated compound feeds for rainbow trout grown in the Central Federal District of the Russian Federation. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 174–179. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-174-179

Introduction

At present time in the production of complete mixed fodders for valuable fish species it is necessary to produce pellets fodder raw materials processing, according to modern technologies of with replacement of a part of expensive fish meal, with protein components of other scarce and origin. Therefore, fish producers refuse long-standing partners who produce mixed fodder for fish in pelleted form. They are forced to buy mixed fodder, where the methods of extrusion and pseudocapsulation are used [1, 7].

Mixtures for valuable fish breeds produced by the classical technology of simple mixing of components have significant disadvantages: loss of biological active substances due to dust, oxidation of vitamins and destruction of a number of trace elements, exposed to the environment. But the main thing is the stratification of components into fractions during shipment and transportation (self-sorting of the feed when moving by various transport mechanisms or during transport) and traceability during storage, limiting the processed product

by the amount of fat, short storage times as well as a narrow range of products [4, 5, 7].

Methods of extrusion and pseudocapsulation are of interest primarily in the production of mixed fodders for fish, since the long-term presence of feed in water imposes special requirements for its quality [6, 9, 10].

The known disadvantages of classical technology are taken into account in the advanced technology for the production of pseudo-capsuled feeds of a given feed value, allowing to increase technological capabilities, to expand the range of produced feeds of improved quality, t. e. Production of a finished product enriched with fats and vitamins, adapted for different species of salmon fish. Also, due to the fact that the pseudocapsulated mixed fodder is less in contact with moisture and oxygen in the air, it does not oxidize and decompose longer, which increases the storability of pseudo-capsulated fodder [1, 3, 8, 11-17].

We propose a production line of pseudocapsulated mixed fodder for valuable fish species, which works as follows (Figure 1) [2].

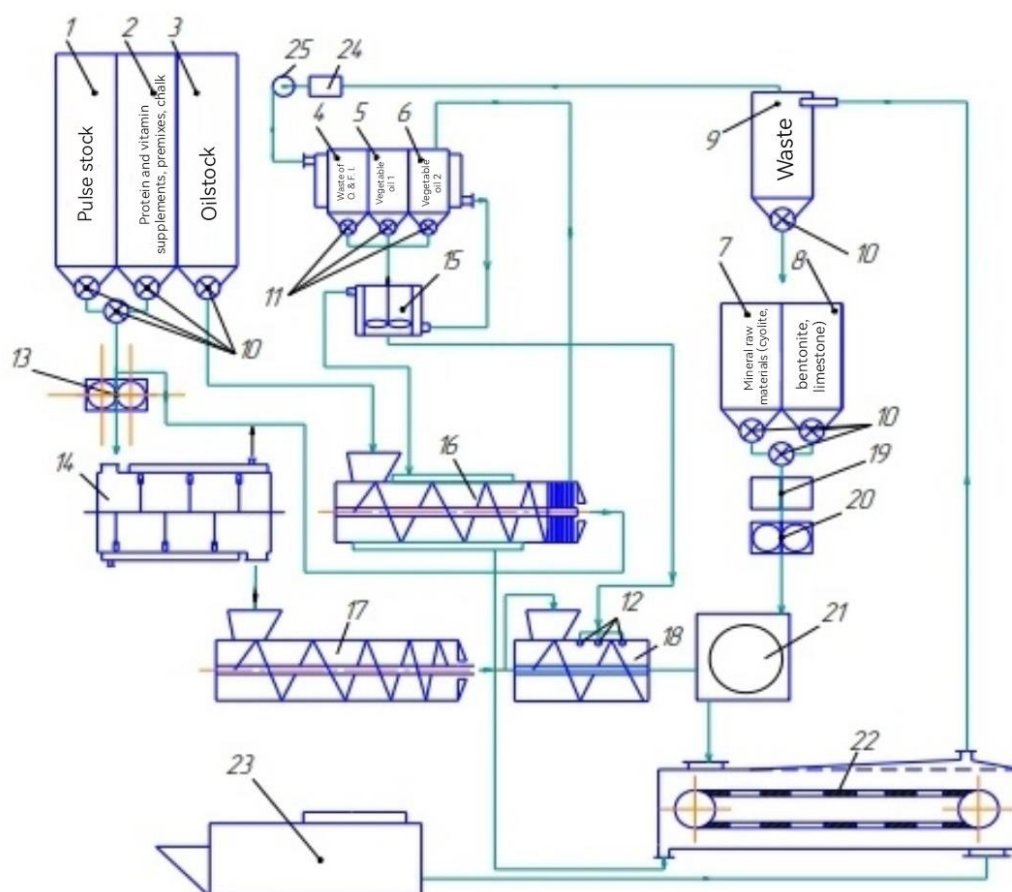


Figure 1. Production line of pseudocapsuled feedstock for valuable fish breeds: 1 – hopper for pulses, 2 – hopper for protein and mineral supplements, premix, chalk, 3 – hopper for oil stock, 4 – hopper for oil and oil waste, 5,6 – hoppers for vegetable oils, 7,8 – hoppers for mineral raw materials, 9 – hopper for waste, 10, 11 – rotary batchers, 12 – nozzles, 13 – crusher, 14 – mixer, 15 – tank for mixing fat and oil materials, 16 – extruder-oil separator, 17-extruder, 18 – fat and oil components coating machine, 19 – scales, 20 – crusher, 21 – disc granulator, 22 – belt dryer, 23 – filling and packaging machine, 24 – heater, 25 – fan

Initial pulse raw materials and protein and vitamin additives, premixes, chalk, oily raw material of a given fractional composition with initial moisture of 10–14%, stored in bunkers 1, 2, 3 are supplied by rotary batchers 10 come to crusher 13, and oil raw material into working chamber of extruder-oil separator 16. Pressed vegetable oil enters the hoppers for vegetable oil 5, 6. The cake is sent to the crusher 13 and further crushed grain pulses raw material, protein and vitamin additives, premixes, chalk, cake gets into the mixer 14 and then the product enters the working chamber of the extruder 17. The actuator is switched on and the rotating extruder 17 screw begins to capture and move the product, which passes in series through the loading, mixing, homogenizing and dosing zones.

The need to squeeze fat-containing components from various oil-bearing raw materials (soybeans, rape, sorghum and other) and their subsequent application to the surface of extruded granules is due to the fact that for the extrusion process to proceed normally, the fat content of the original oilseed must not exceed 6% [6]. Otherwise, the dissipation effect, that is, the conversion of mechanical energy into thermal energy due to friction forces, and the grain raw material is not inflated.

Vegetable oil and fat industry waste are fed into the fat and oil mixer 15 parallel to the shaft axis, the resulting mixture is radially ejected by the mixer and is intensively mixed with the emulsifier (grinding fat balls) effect.

Extruded raw material from extruder 17 is fed into and oil components coating machine 18 with nozzles 12 to apply the fat and oil components from tank for mixing fat and oil materials 15 and further to disc granulator 21, where weighed on scales 19 crusher on crushed 20 minerals raw materials (zeolite, bentonite, limestone) stored in hoppers 7, 8, in which the granules are coated with oil and fat components coming from fat and oil components coating machine 18 with nozzles 12 mounted inside it for the application of oil and fat components are treated with minerals. Due to good adhesion (surface adhesion forces) mineral raw materials are applied evenly to the surface of the granules. Pseudocapsulated mixed fodder are less in contact with moisture and oxygen contained in the air, which means that they are not oxidized and do not decay any longer, thus increasing the stored capacity of pseudocapsular mixed fodder. This allows you to keep the full vitamins, micro and macronutrients required for the fish are sent to the belt dryer 22, where the air and waste is sent to the waste bunker 9, the product is sent to the filling and packaging machine 23.

The disc granulator 21 for applying a mineral mixture is in the form of an inclined rotating drum. Discharge part of the disc granulator 22

is designed to be perforated for dripping and subsequent removal of the small (through) part of the granules into a confuser, as well as the excess amount of the mixture of mineral raw materials and waste oil and fat and vegetable oil. The loading funnel of the disc granulator is also supplied with extruded granules with oil and fat industry waste and mineral mixture applied to the surface thereof.

The original air is heated by a 24 to 60 °C calorifer and the fan 25 is pumped into the oil fat industry waste storage bunkers 4 and vegetable oil storage bunkers 5, 6 for the plasticity of waste oil and vegetable oil. Then air with a temperature of 50 °C enters the tank for mixing fat and oil materials 15, from it with an air temperature of 40 °C to the extruder-oil separator 16 and then air with a temperature of 30 °C enters the belt dryer for drying the pseudocapsuled mixed fodder. Then the air with a waste with temperature of 35 °C is directed to the hopper for waste 9, where after the deposition of the suspended particles of the waste air with a temperature of 20 °C again enters the calorifer 24, thus creating a closed cycle.

Before a pseudocapsule enters the digestive system, its contents are less in contact with the moisture and oxygen contained in the air, which means that they are not oxidized and do not decay any longer. This ensures that the vitamins, micro and macro elements necessary to unlock the genetic potential of the herd are retained.

The choice of the optimal shell material in the development of this technology was considered mineral raw materials for use as a shell: limestone, bentonite or zeolite [2].

For example, we developed a pseudocapsuled optimal mix from the following ratio of components for the trout age group (from 100 grams to 250 grams or more), mass% (table 1).

Methods

To compose pseudo-encapsulated optimal mixed fodder for salmon fish from available raw materials of plant and animal origin, by the example of rainbow trout, the optimization program "Feed Optima Expert" was used, which provides a recipe, in which the exchange and nutritive value, fully complying with the requirements is observed, while minimizing the cost of mixed fodder by 6... 9%. Rations are optimized by at least 27 nutritional indicators.

To replace fishmeal to reduce the cost of feed, to eliminate counterfeit fishmeal and poor quality flour due to contamination by aflatoxins in feed, included waste oil and fat industry (shrot, phosphate concentrates), as well as phytose to improve the absorption of this protein and phosphorus, as well as limiting feed amino acids of lysine and methionine, as part of them is lost during extrusion (table 1).

Table 1.
Pseudoencapsulated recipe optimal mixed fodder
for rainbow trout

Feed components	Substitutes	Optimum feed for fish (from 100 grams to 250 grams or more)
Fish meal (Protein 63)	—	30,23
Soy concentrate (Protein 65)	Soy, pea isolate	3,0
Meat flour (Protein 68)	Fish meal	6,0
Blood flour (Protein 80)	—	4,0
Yeast (Protein 30)	—	3,0
Corn flour	—	4,0
Soybean meal (Protein 42)	—	7,0
Corn gluten (Protein 59)	Wheat gluten	15,6
Rapeseed meal (Protein 35)	Lupin, sorghum and other meals	6,0
Fish oil	—	10,0
Vegetable oil	Phosphatides	2,0
Wheat	Barley	6,0
L – lysine	—	0,2
Methionine	—	0,3
Phytase (Naturophos-10006)	—	0,02
Subtilis	—	0,4
Oxycap (antioxidant)	—	0,05
Calcium carbonate	—	0,6
Phosphate monocalcium	—	0,6
Premix P-110-1	—	1,0
Raw protein, %	—	45,0
Raw fat, %	—	18,0
Raw carbohydrates, %	—	16,3
Raw fiber, %	—	2,4
Minerals, %	—	8,3
Moisture, %	—	6–7
Ca	—	3,2
P	—	2,1
Essential fatty acids of the linolenic series (ω 3), %, not less than:	—	2,5
Essential fatty acids of the linoleic series (ω 6), %, not less than:	—	0,8
Total energy, MJ/kcal	—	23,2/5545
Digestible energy, MJ/kcal	—	18,3/4380

The proposed recipe meets all the requirements for feed for the preparation of optimal feed for rainbow trout.

Results and discussion

Experienced batches of feed were manufactured on experimental equipment AC «Scientific and Production Center "All-Russian Research Institute of Feed Industry» Voronezh. Testing of these batches of feeds was carried out in swimming plants measuring $1 \times 1 \times 0,5$ meters, with a flow rate of 5 l/min of Innovation and Technology Center «Aquabioresource» VSUIT on rainbow trout (from body weight 150 grams to body weight 350 grams) with full control of growing

environment. Each group consisted of 20 individuals of rainbow trout, which received experienced and analog feed. Water temperature was maintained for rainbow trout 12–18 °C, oxygen content 7–8 mg/l, pH 6.5–6.7.

The results of tests of pseudocapsulated optimal feed mix, in comparison with known similar formulations developed by AC «Scientific and Production Center "All-Russian Research Institute of Feed Industry» are presented in the table 2.

As a result, close results were obtained in terms of the growth rate of trout, the development, conversion of feed and viability in comparison with the best feed analogues on the Russian market.

Table 2.
Fish and biological indicators of rainbow trout cultivation

Production figure	Experienced feed mix	Feed developed by AC «SPC «All-RRIFI»
Body mass, g: initial ultimate	152,6 ± 5,5 357,8 ± 15,2	159,4 ± 4,4 372,4 ± 18,3
Average daily increase, r:	2,29	2,37
Survival rate, %:	98,5	96,9
Feed conversion	1,06	1,09
Growing period, days: (March – May 2021)	90	90

In the test of pseudocapsulated optimal feed for rainbow trout in comparison with its analogue, close indices of growth rate, feed conversion, survival rate were also established. In 90 days, the year-old individuals reached a larger commercial mass of more than 350 g, the statistical differences in body mass in experience and control were unreliable ($p > 0.05$), close (see table 2). This testifies to the high productive action of the new pseudo-capsulated optimal mixed fodders, as well as the best Russian counterparts.

Conclusion

A range of scientific research in the development of pseudocapsulated optimal feed formulations may be of interest in the field of full feeding salmon fish, as well as through methods such as extrusion and pseudocapsulation, which provide a significant increase in the growth of living mass, the expansion of the assortment of produced feed with a sufficiently high biological, energy value, balanced in the composition of essential amino acids, vitamins and minerals, adapted to different species of valuable fish species.

Acknowledgement

The article was prepared within the framework of the Grant of the President of the Russian Federation for the state support of young Russian scientists Doctors of Science (MD-387.2022.5).

References

- 1 Vasilenko V., Frolova L., Dragan I., Mikhailova N. et al. The line for the production of feed for fish with vacuum coating. Mixed feed. 2019. no. 4. pp. 38–40.
- 2 Vasilenko V.N., Frolova L.N., Dragan I.V., Tunyan N.O. Method for the production of functional pseudo-encapsulated aquafeeds. Patent RF, no. 2494640, 2013.
- 3 Afanasyev V.A., Vasilenko V.N., Frolova L.N., Ostrikov A.N. et al. Method for the production of extruded feed for sturgeons. Patent RF, 2739798, 2020.
- 4 Ponomarev S.V., Grozesku Yu.N., Bakhareva A.A. Feed and feeding of fish in aquaculture. M., Morkniga, 2013. 410 p.
- 5 Ponomarev S.V., Gamygin E.A., Nikanorov S.I., Ponomareva E.N. et al. Technologies for growing and feeding aquaculture objects of the South of Russia. Astrakhan, Nova plus, 2002. 263.
- 6 Vasilenko V.N. Development of a new generation of extrusion equipment for animal feed. Bulletin of mechanical engineering. 2009. no. 9. pp. 77–78.
- 7 Afanasiev V.A., Ostrikov A.N., Bogomolov I.S., Filiptsov P.V. et al. Development of technology for highly digestible compound feeds with vacuum spraying of liquid components. Proceedings of VSUET. 2021. vol. 83. no. 1 (87). pp. 94–101.
- 8 Vasilenko V.N., Frolova L.N., Dragan I.V., Mikhailova N.A. Development of production extruded feed for industrial production of tilapia. Proceedings of VSUET. 2019. no. 1. pp. 132–137.
- 9 Afanasyev V., Bogomolov I., Ostrikov A., Startseva S. Technology and equipment for the production of feed for valuable fish species. Mixed feed. 2021. no. 1. pp. 24–28.
- 10 Yapontsev A.E. Processing of technological regimes in the production of extruded feed for rainbow trout. Quality of products, technologies and education. Magnitogorsk, MSTU, 2007. pp. 95–96.
- 11 Li M.H., Manning B.B., Robinson E.H., Bosworth B.G. Effects of dietary protein concentration on production characteristics of pond-raised channel catfish fed once daily or once every other day to satiation. North American Journal of Aquaculture. 2004. vol. 66. no. 3. pp. 184–190.
- 12 Robinson E.H., Li M.H., Manning B.B., Mischke C.C., Bosworth B.G. Effects of dietary protein and feeding rate on channel catfish *Ictalurus punctatus* production, composition of gain, processing yield, and water quality. Journal of the World Aquaculture Society. 2004. no. 35 (4). pp. 468–477.
- 13 Li M.H., Manning B.B., Robinson E.H., Bosworth B.G. Effect of dietary protein concentration and stocking density on production characteristics of pond-raised channel catfish *Ictalurus punctatus*. Journal of the World Aquaculture Society. 2003. no. 34 (2). pp. 147–155.
- 14 Armstrong M.S., Boyd C.E., Lovell R.T. Environmental factors affecting flavor of channel catfish from production ponds. Progressive Fish-Culturist. 1986. no. 48 (2). pp. 113–119.
- 15 Watson A.M., Napolitano M.P., Schock T.B., Bowden J.A. et al. Evaluation of graded levels of soy oil as a fish oil replacement in high soy protein feeds for juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. Aquaculture. 2020. vol. 529. no. 735627.
- 16 Villanueva-Gutiérrez E., González-Félix M.L., Gatlin D.M., Perez-Velazquez M. Use of alternative plant and animal protein blends, in place of fishmeal, in diets for juvenile totoaba, *Totoaba macdonaldi*. Aquaculture. 2020. vol. 529. no. 735698.
- 17 Zhu R., Li L., Li M., Yu Z. et al. The effects of substituting fish meal with soy protein concentrate on growth performance, antioxidant capacity and intestinal histology in juvenile golden crucian carp, *Cyprinus carpio* × *Carassius auratus*. Aquaculture Reports. 2020. vol. 18. no. 100435.

Сведения об авторах

Виталий Н. Василенко д.т.н., проректор по УР, ректорат, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vvn_1977@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1547-9814>

Лариса Н. Фролова д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, FlN-84@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6505-4136>

Илья Ю. Кочкин аспирант, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Илья Д. Еремин студент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

София И. Жильцова студент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, FlN-84@mail.ru

Роман В. Дорохин к.т.н., доцент, кафедра машин и аппаратов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, romandrn90@gmail.com

Information about authors

Vitalii N. Vasilenko Dr. Sci. (Engin.), prorector, rektorat, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vvn_1977@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1547-9814>

Larisa N. Frolova Dr. Sci. (Engin.), professor, machines and apparatus for food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, FlN-84@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6505-4136>

Ilya Yu. Kochkin graduate student, machines and apparatus for food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Ilya D. Eremin student, machines and apparatus for food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Sofia I. Zhiltsova student, technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, FlN-84@mail.ru

Roman V. Dorokhin Cand. Sci. (Engin.), machines and apparatus for food production department, Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, romandrn90@gmail.com

Вклад авторов

Виталий Н. Василенко обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент, выполнил расчёты
Лариса Н. Фролова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Илья Ю. Кочкин консультация в ходе исследования

Илья Д. Еремин предложил методику проведения эксперимента

София И. Жильцова предложила методику проведения эксперимента

Роман В. Дорохин предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

Vitalii N. Vasilenko wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Larisa N. Frolova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Ilya Yu. Kochkin consultation during the study

Ilya D. Eremin proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Sofia I. Zhiltsova proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Roman V. Dorokhin review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/01/2023	После редакции 03/02/2023	Принята в печать 22/02/2023
Received 11/01/2023	Accepted in revised 03/02/2023	Accepted 22/02/2023

Исследование биохимической активности заквасочных композиций, обогащенных пропионовокислыми бактериями, на различном сырье

Ирина В. Бояринева	¹	boyarinevaiv@yandex.ru	 0000-0003-4791-884X
Анна Б. Подволоцкая	¹	podvolotckaia.ab@dvfu.ru	 0000-0002-7450-4362
Варвара Д. Стёпочкина	¹	vdkislitsyna@gmail.com	 0000-0002-4124-6002
Егор О. Рочин	¹	rochin_eo@dvfu.ru	 0000-0001-7291-7289

¹ Дальневосточный федеральный университет, п. Аякс, 10, о. Русский, г. Владивосток, 690922, Россия

Аннотация. В настоящее время имеется необходимость развития ассортимента низколактозных или безлактозных молочных продуктов и продуктов на растительной основе, обусловленная увеличением количества потребителей с лактазной недостаточностью, имеющих аллергию на компоненты коровьего молока, проблемы с холестерином и т.п. Для разработки растительных и безлактозных биопродуктов возможно применение различных заквасочных культур, обогащенных пробиотиками. В работе были использованы различные заквасочные культуры, в качестве пробиотика – пропионовокислые бактерии. Объектами для культивирования заквасочных композиций служили безлактозное молоко, и растительные основы: рисовое молоко, овсяное молоко и кокосовое молоко; контролем являлось молоко отборное. Проведен сравнительный анализ процесса ферментации различных композиций заквасочных культур, обогащенных пропионовокислыми бактериями, на сырье животного и растительного происхождения. Продолжительность ферментации растительного сырья, относительно молока отборного и безлактозного, составляет 8-10 часов, при этом кислотообразующая активность комбинированных заквасочных культур достаточно высокая. Количество жизнеспособных клеток молочнокислых и пропионовокислых бактерий в полученных биопродуктах имеет высокое значение и составляет 107-108 к.о.е./см³. Это подтверждает, что питательная среда для культивирования подобранных заквасочных композиций, является благоприятной, и микрофлора заквасочной композиции развивается гармонично, не конкурируя друг с другом. Молочнокислые микроорганизмы и пропионовокислые бактерии, входящие в состав заквасок, позволяют получить ферментированные биопродукты с разнообразными вкусовыми характеристиками, присущими определённому виду сырья. По результатам проведенных исследований, разработанные заквасочные композиции удовлетворяют требованиям, предъявляемым к заквасочным культурам, обладают ценными технологическими свойствами, позволяющими расширить ассортимент растительных и безлактозных биопродуктов.

Ключевые слова: безлактозные биопродукты, растительные биопродукты, молочнокислые микроорганизмы, пропионовокислые бактерии, заквасочные композиции.

Investigation of the biochemical activity of starter compositions enriched with propionic acid bacteria on various raw materials

Irina V. Boyarineva	¹	boyarinevaiv@yandex.ru	 0000-0003-4791-884X
Anna B. Podvolotskaya	¹	podvolotckaia.ab@dvfu.ru	 0000-0002-7450-4362
Varvara D. Stepochkina	¹	vdkislitsyna@gmail.com	 0000-0002-4124-6002
Egor O. Rochin	¹	rochin_eo@dvfu.ru	 0000-0001-7291-7289

¹ Far Eastern Federal University, Ajax, 10, Russian Island, Vladivostok, 690922, Russia

Abstract. Currently, there is a need to develop an assortment of low-lactose or lactose-free dairy products and plant-based products due to an increase in the number of consumers with lactase deficiency, allergic to cow's milk components, cholesterol problems, etc. For the development of plant and lactose-free bioproducts, it is possible to use various starter cultures enriched with probiotics. Various starter cultures were used in the work, propionic acid bacteria were used as a probiotic. The objects were lactose-free milk and vegetable bases: rice milk, oat milk and coconut milk; the control was selected milk. A comparative analysis of the fermentation process of various compositions of starter cultures enriched with propionic acid bacteria on various raw materials was carried out. The duration of fermentation of vegetable raw materials is 8-10 hours, the acid-forming activity of combined starter cultures is quite high. The number of viable cells of lactic acid and propionic acid bacteria in the obtained bioproducts has a high value and amounts to 107-108 K.O.E. /cm³. This confirms that the nutrient medium for the cultivation of selected starter compositions is favorable, the microflora of the starter composition develops harmoniously. Lactic acid microorganisms and propionic acid bacteria make it possible to obtain fermented biological products with a variety of taste characteristics inherent in a certain type of raw material. According to the results of the research, the developed starter compositions meet the requirements for starter cultures, have valuable technological properties that allow expanding the range of plant and lactose-free biological products.

Keywords: lactose-free biological products, plant biological products, lactic acid microorganisms, propionic acid bacteria, starter cultures.

Для цитирования

Бояринева И.В., Подволоцкая А.Б., Степочкина В.Д., Рочин Е.О. Исследование биохимической активности заквасочных композиций, обогащенных пропионовокислыми бактериями, на различном сырье // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 180–186. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-180-186

For citation

Boyarineva I.V., Podvolotskaya A.B., Stepochkina V.D., Rochin E.O. Investigation of the biochemical activity of starter compositions enriched with propionic acid bacteria on various raw materials. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 180–186. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-180-186

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

Введение

Пробиотики – это «живые микроорганизмы», которые при введении в достаточных количествах приносят пользу здоровью хозяина [1]. Основные пробиотические организмы, используемые во всем мире, относятся к роду *Lactobacillus* и *Bifidobacteria* и обнаружены в микрофлоре желудочно-кишечного тракта [1, 2]. Пробиотики могут употребляться в виде ферментированной пищи, молочных продуктов [3].

Ферментированные молочные продукты, содержащие штаммы *Lactobacillus* оказывают положительное влияние на липидный обмен, снижают уровень холестерина в организме [4]. Молочнокислые бактерии в ферментированных молочных продуктах могут снизить риск развития рака толстой кишки. Это связано с тем, что они снижают активность гидролитических ферментов, которые продуцируют потенциальные проканцерогены [5].

Сбраживание углеводов и спиртов является важным диагностическим признаком молочнокислых микроорганизмов. Традиционно молочнокислые микроорганизмы культивируются и поддерживаются в стерильном молоке. Из многочисленных питательных сред, применяемых при культивировании молочнокислых микроорганизмов, пригодны сбалансированные по азотному, углеводному и витаминному составу среды, которые содержат все необходимые питательные и стимулирующие вещества, находящиеся в форме, которая легко усваивается микроорганизмами. Компоненты среды и их сочетания оказывают влияние на направленность биологической активности молочнокислых бактерий [6].

Бактерии рода *Lactobacillus* относятся к микроорганизмам, имеющим сложные питательные потребности. Для их активного развития требуется наличие веществ, необходимых для построения бактериальной клетки (нуклеиновых кислот, полисахаридов, аминсахаров и т. д.) [7].

Традиционно в нашей стране уделяется внимание технологии производства кисломолочных биопродуктов на основе коровьего молока. Основной задачей технологов является получение продукта с хорошими органолептическими свойствами, оптимальными физико-химическими, реологическими параметрами и необходимым содержанием молочнокислой микрофлоры.

Вместе с тем отдельная категория населения не переносит лактозу, являющуюся основным углеводным источником молока [8]. Непереносимость лактозы представляет собой состояние, при котором человек не может переваривать или усваивать лактозу, по причинам: генетически запрограммированного дефицита фермента лактазы, вызванного полиморфизмом в гене и повреждения эпителиальных клеток пищеварительного тракта [9–11].

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 [12]. 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 [13]. В настоящее время имеется необходимость развития ассортимента низколактозных молочных продуктов.

В последние годы на отечественном рынке пищевых продуктов появились аналоги молока на основе растительного сырья. При этом различные виды растительного молока некоторые производители позиционируют как альтернативу коровьему. Преимущества коровьего молока перед растительными альтернативами очевидны. Белки молока превосходят белки растений в силу лучшей сбалансированности по аминокислотному составу. Биологическая ценность белков молока составляет 85%, тогда как этот показатель для растительных белков значительно ниже [8]. Лактозосодержащие продукты, в первую очередь лактоза молока, увеличивают всасывание кальция, а соответственно, служат профилактикой формирования остеопороза [14].

Помимо содержания высококачественного белка, молоко и другие молочные продукты обеспечивают 30–40% кальция, йода, витамина В₁₂ и рибофлавина в рационе, поэтому группы населения с низким потреблением молока часто имеют низкие показатели этих питательных веществ [15, 16].

Тем не менее, приобретает все большую популярность рынок альтернативных продуктов на растительной основе и безлактозное молоко. К немолочным альтернативам молока на отечественном рынке относят соевое, миндальное, рисовое, овсяное, кокосовое и др. [17].

Растительные заменители молока (РЗМ) представляют собой водные экстракты семейства бобовых, семян масличных растений или злаков, которые по виду напоминают коровье молоко. Наиболее используемые растительным заменителем молока является соевое молоко [18]. Соевые продукты все еще доминируют на рынке, но появление альтернативных продуктов из других растительных источников, таких как кокосовый орех, овес и миндаль, уменьшило их долю [19].

Растительное молоко каждого вида имеет свои особенности по органолептическим свойствам. Рекомендуется потреблять растительное

молоко в разумных пределах и чередовать его виды. Это обеспечивает потребителю разнообразие по составу и свойствам и баланс незаменимых веществ [20].

В составе рисового молока присутствуют клетчатка, витамины В₃, В₆, железо, медь, магний. Рис. не содержит глютен, поэтому рисовое молоко подойдет для людей с непереносимостью этого белка. Овсяное молоко богато витаминами группы В, содержит кальций, фосфор, железо, антиоксиданты. Благодаря высокому содержанию клетчатки овсяное молоко укрепляет пищеварительную систему и дает чувство сытости. Входящий в его состав бета-глюкан помогает снизить уровень холестерина и желчных кислот в кишечнике [20].

Рисовое молоко по количеству кальция и витаминов не уступает коровьему. Имеет меньшую жирность и калорийность, легче усваивается и не вызывает аллергии. Рисовое молоко превосходит коровье по содержанию витаминов А, D, Е и В₁₂. Данный вид молока содержит большое количество веществ, которые способны снижать уровень холестерина в организме и нормализовать уровень сахара в крови [21].

Кокосовое молоко имеет низкую калорийность и способно быстро усваиваться организмом. Оно содержит аминокислоты, полиненасыщенные жирные кислоты, витамины групп А, В, С, РР, К, Е, моно- и дисахариды, медь, натрий, селен, фосфор, железо, магний, цинк, марганец, эфирные масла. Благодаря такому богатому составу употребление кокосового молока благотворно влияет на сердечно-сосудистую и желудочно-кишечную системы, стабилизирует уровень гемоглобина, содержание глюкозы и холестерина в крови, улучшает работу мозга и ускоряет набор мышечной массы [20]. Данный вид растительного молока богат калием. Содержание калия в два раза больше, чем в коровьем молоке. Что касается кальция, то уровень его в кокосовом аналоге невысок [21].

Разработка технологии низколактозных (и/или безлактозных) и растительных пробиотических кисломолочных биопродуктов в настоящее время актуальна, поскольку используются в качестве профилактических или реабилитационных продуктов в отношении различных инфекций, в качестве функциональных продуктов, а дополнительное снижение массовой доли лактозы и использование растительного сырья повышает их применимость.

Цель работы – сравнительный анализ биохимической активности микробных консорциумов, обогащенных пропионовокислыми бактериями, на различных видах сырья животного и растительного происхождения.

Материалы и методы

Объектами исследований являлись: молоко отборное с массовой долей жира 3,3–4,3%, массовой долей белка 3,2%; молоко овсяное с массовой долей жира 3,2%, массовой долей углеводов 6,5%, массовой долей белка 1,0%; молоко кокосовое с массовой долей жира 1,5%, массовой долей белка 0,4%, массовой долей углеводов 5,0%; молоко рисовое с массовой долей жира 1,5%, массовой долей белка 0,2%, массовой долей углеводов 12,0%; безлактозное молоко с массовой долей жира 1,5%, массовой долей белка 3,0%, массовой долей углеводов 4,7%. В качестве заквасочных культур использовали производственные культуры компании ДАНИСКО, а также пропионовокислые бактерии *Propionibacterium freundenreichii* subsp. *shermanii* AC-2503, активизированные биотехнологическим способом, разработанном в Восточно-сибирском государственном университете технологий и управления.

Все испытания проводили общепринятыми методами. Активную кислотность определяли с помощью pH-метра S80 Seleven Multi Mettler Toledo. Вязкость находили с помощью ротационного вискозиметра VISCO, Atago, японского производства. Микроскопирование проводили с использованием микроскопа Axio Lab. A1.

Результаты и обсуждение

В состав комплексных бактериальных заквасок микрофлора была подобрана с учетом требований к конечному продукту по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям. Опытным путем были составлены четыре композиции заквасочных культур из идентифицированных штаммов бактерий для приготовления новых кисломолочных биопродуктов. Состав заквасочных композиций представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Состав заквасочных композиций

Table 1.

Composition of starter compositions

Образец Sample	Состав Composition
Контроль Control	<i>Propionibacterium freundenreichii</i> subsp. <i>shermanii</i> AC-2503
Образец культуры 1 Sample culture 1	<i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> , <i>Propionibacterium freundenreichii</i> subsp. <i>shermanii</i> AC-2503
Образец культуры 2 Sample culture 2	<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i> , <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>cremoris</i> , <i>Propionibacterium freundenreichii</i> subsp. <i>shermanii</i> AC-2503
Образец культуры 3 Sample culture 3	<i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Bifidobacterium lactis</i> , <i>Propionibacterium freundenreichii</i> subsp. <i>shermanii</i> AC-2503

В работе использовались различные виды сырья растительного и животного происхождения: молоко безлактозное, молоко рисовое, молоко овсяное, молоко кокосовое, в качестве контроля сырья – молоко отборное.

На первом этапе исследований изучены основные технологические показатели такие, как скорость сквашивания и предельная кислотообразующая способность (таблица 2, рисунок 1).

Таблица 2.
Продолжительность культивирования комбинированных культур на различных питательных основах

Table 2.

Duration of cultivation of combined crops on various nutritional bases

Питательная основа Nutrient Base	Образец заквасочной композиции Starter Composition Sample	Температура культивирования, °C Cultivation temperature, °C	Продолжительность сквашивания, час Fermentation duration, hour
Молоко отборное (МО) Selected milk	Контроль	30	7,0
	Образец культур 1	36	6,0
	Образец культур 2	30	7,5
	Образец культур 3	37	6,5
Молоко безлактозное (МБ) Milk, lactose free	Контроль	30	8,5
	Образец культур 1	36	8,0
	Образец культур 2	30	9,0
	Образец культур 3	37	8,0
Молоко рисовое (МР) Rice milk	Контроль	30	9,0
	Образец культур 1	36	9,5
	Образец культур 2	30	10,0
	Образец культур 3	37	9,0
Молоко овсяное (МОВ) Oat milk	Контроль	30	8,0
	Образец культур 1	36	8,5
	Образец культур 2	30	9,0
	Образец культур 3	37	8,5
Молоко кокосовое (МК) Coconut milk	Контроль	30	8,5
	Образец культур 1	36	8,0
	Образец культур 2	30	8,5
	Образец культур 3	37	8,5

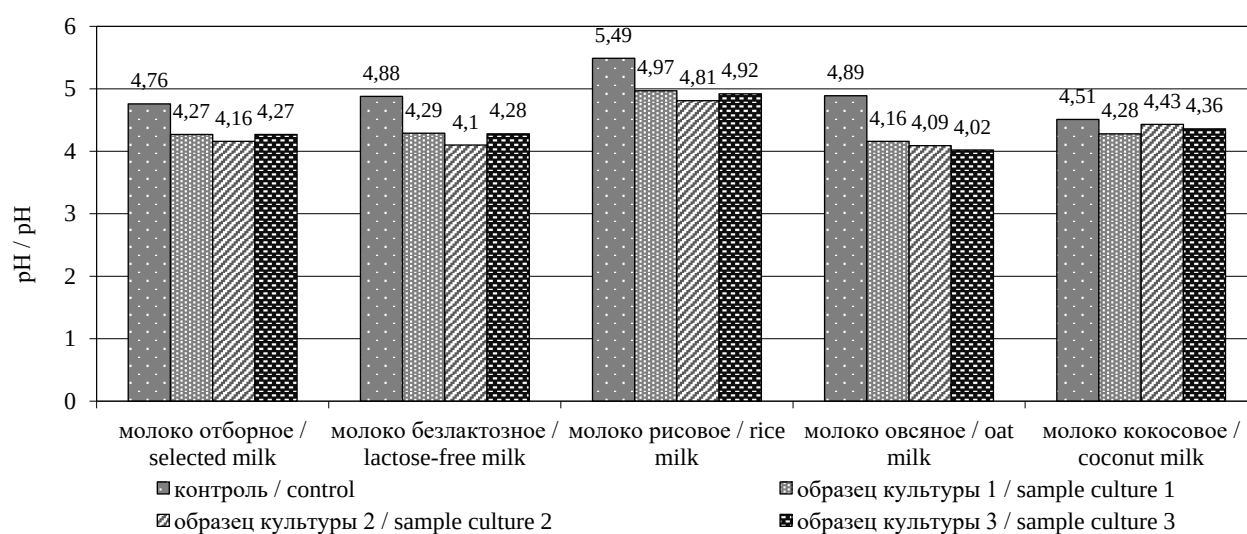


Рисунок 1. Предельная активная кислотность образцов ферментированных биопродуктов

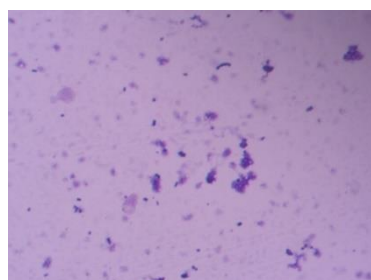
Figure 1. Maximum active acidity of samples of fermented biological products

Полученные результаты свидетельствуют, что все разработанные консорциумы, обогащенные пропионовокислыми бактериями, обладают высокой биохимической активностью. Максимальное время ферментации наблюдается при температуре 30 °C для немолочной рисовой среды. Для образцов с немолочной овсяной и кокосовой основой максимальная продолжительность ферментации составила 8,5–9,0 часов при культивирования всех заквасочных композиций.

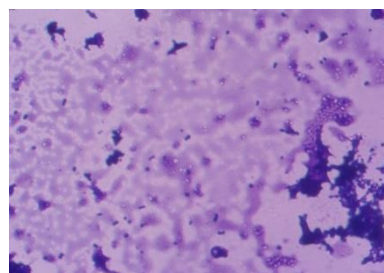
Важно отметить, что динамика изменения активной кислотности безлактозного молока проходила на уровне изменения кислотности в отборном молоке. Это можно объяснить тем, что углеводный фракционный состав безлактозного молока, а именно, глюкоза и галактоза, является субстратом для развития молочнокислой микрофлоры и пропионовокислых бактерий, и в целом, позволяет активно осуществлять процесс ферментации.

Наиболее выраженная тенденция снижения активной кислотности наблюдается в овсяном молоке, особенно при использовании комбинации культур *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium lactis*, *Propionibacterium freundenreichii subsp. shermanii* AC-2503. Возможно, это связано с проявлением большей биохимической активности культур в богатой моносахарами овсяной основе. Подобная тенденция прослеживается в образце на основе кокосового сырья.

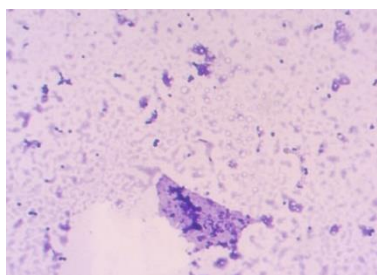
Было установлено, что все продукты обладают хорошими органолептическими свойствами. Во всех образцах отмечен выраженный рост молочнокислых и пропионовокислых бактерий 10^7 - 10^8 к.о.е./см³. В дальнейшем проводили микроскопирование образцов ферментированных биопродуктов с использованием образца комбинированной культуры 3, как наиболее биохимически активного (рисунок 2).



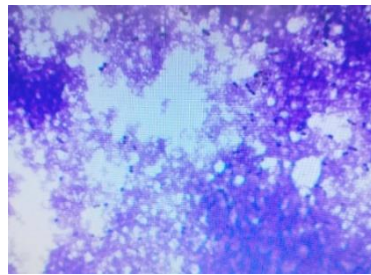
1. МО/3 / selected milk/3



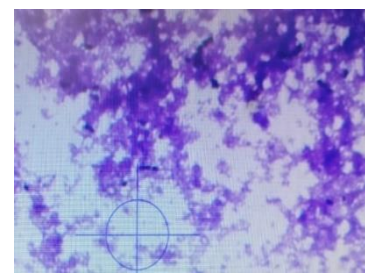
2. МБ /3 / lactose-free milk/3



3. МР/3 / rice milk/3



4. МОБ/3 / oat milk/3



5. МК/3 / coconut milk/3

Рисунок 2. Микроскопическая картина образцов кисломолочных биопродуктов с использованием различного сырья и образца комбинированных культур 3 (1. Молоко отборное; 2. Молоко безлактозное; 3. Молоко рисовое; 4. Молоко овсяное; 5. Молоко кокосовое)

Figure 2. Microscopic picture of samples of fermented dairy bioproducts using various raw materials and a sample of combined cultures 3 (1. Selected milk; 2. Lactose-free milk; 3. Rice milk; 4. Oat milk; 5. Coconut milk)

В процессе экспериментальных исследований установлено, что все комбинированные заквасочные культуры обладают выраженной биохимической активностью при ферментации на сырье животного и растительного происхождения. Более продолжительное образование сгустка наблюдали в образце на рисовой основе. Полученные данные наглядно показывают, что процесс нарастания кислотности в образцах на растительной основе проходит медленнее, чем в образцах на основе молока отборного и безлактозного. При сравнении эффектов нарастания кислотности в растительных продуктах и безлактозном молоке наблюдается активная работа всех заквасочных композиций, в состав которых входят пропионовокислые бактерии. С технологической точки зрения факт непродолжительного образования сгустка и плавного снижения pH важен, поскольку данная технология может быть легко воспроизведена в производственных условиях.

Изучены органолептические показатели полученных биопродуктов. Безлактозный кисломолочный продукт обладает плотной консистенцией,

чистым кисломолочным вкусом. Отмечено, что консистенция растительных биопродуктов является жидкой расслаивающейся. Вкус и запах растительных биопродуктов соответствует растительному компоненту сырья со слабовыраженным кисломолочным привкусом

Заключение

В заключении необходимо отметить, что разработанные заквасочные культуры, обогащенные пропионовокислыми бактериями, активно ферментируют различное сырье растительного и животного происхождения. Очевидно, что культивирование комбинированных культур на растительном сырье происходит несколько медленнее относительно белактозного продукта и сопровождается продолжительным кислотообразованием, что подтверждается результатами активной кислотности. Разработанные продукты содержат достаточное количество жизнеспособных клеток молочнокислых и пропионовокислых бактерий.

Литература

- 1 Shah N.P. Functional cultures and health benefits // International dairy journal. 2007. V. 17. №. 11. P. 1262-1277. doi: 10.1016/j.idairyj.2007.01.014
- 2 Parvez S., Malik K.A., Kang S.A., Kim H.-Y. Probiotics and their fermented food products are beneficial for health // Journal of applied microbiology. 2006. V. 100. №. 6. P. 1171-1185. doi: 10.1111/j.1365-2672.2006.02963.x
- 3 Mugambi M.N. et al. Synbiotics, probiotics or prebiotics in infant formula for full term infants: a systematic review // Nutrition journal. 2012. V. 11. P. 1-32. doi:10.1186/1475-2891-11-81
- 4 Héchard Y., Dériard B., Letellier F., Cenatiempo Y. Characterization and purification of mesentericin Y105, an anti-Listeria bacteriocin from *Leuconostoc mesenteroides* // Microbiology. 1992. V. 138. №. 12. P. 2725-2731. doi: 10.1099/00221287-138-12-2725
- 5 Абдуллаева Н.Ф., Тагизаде З.А., Мустафаева Р.С. Микробиологические и биохимические характеристики молочнокислых бактерий и области их применения (обзор) // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2017. № 3 (3). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikrobiologicheskie-i-biohimicheskie-harakteristiki-molochnokislyh-bakteriy-i-oblasti-ih-primeneniya-obzor>
- 6 Гаврилова Н.Н., Ратникова И.А., Баякышова К. Оптимизация питательной среды для культивирования ассоциаций из молочнокислых и пропионовокислых бактерий // Биотехнология. Теория и практика. 2006. № 3. С. 83–87.
- 7 Беспоместных К.В. Изучение влияния состава питательной среды на изменение биохимических и морфологических свойств штаммов лактобацилл // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16600>
- 8 Донская Г.А., Дрожжин В.М., Блинова Т.Е. Ферментированный продукт на растительной основе // Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. № 4. С. 67–78.
- 9 Domínguez-Jiménez, J.L., Fernández-Suárez A. Diagnosis of lactose intolerance // Medicina Clínica. 2017. V. 148 (6). P. 262–264.
- 10 Fassio F., Facioni M.S., Guagnini F. Lactose maldigestion, malabsorption, and intolerance: a comprehensive review with a focus on current management and future perspectives // Nutrients. 2018. V. 10. P. 1599–1611.
- 11 Deng Y. Lactose intolerance in adults: biological mechanism and dietary management // Nutrients. 2015. V. 7. P. 8020–8035.
- 12 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.
- 13 Горлова А.И., Ильина А.М. Физиологическая роль лактозы нативного и гидролизованного молока: обзор // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 57–61. doi: 10.20914/2310-1202-2022-2-57-61
- 14 Abrams S.A., Griffin I.J., Davila P.M. Calcium and zinc absorption from lactose-containing and lactose-free infant formulas // Am J Clin Nutr. 2002. V. 76. P. 442–446.
- 15 Millward D.J., Garnett T. Plenary Lecture 3: Food and the planet: nutritional dilemmas of greenhouse gas emission reductions through reduced intakes of meat and dairy foods // Proc Nutr Soc. 2010 V. 69. № 1. P. 103–118. doi: 10.1017/S0029665109991868
- 16 Black R.E., Williams S.M., Jones I.E., Goulding A. Children who avoid drinking cow milk have low dietary calcium intakes and poor bone health // Am J Clin Nutr. 2002. V. 76. № 3. P. 675–680.
- 17 Егорова Е.Ю. Немолочное молоко: обзор сырья и технологий // Ползуновский вестник. 2018. № 3. С. 25–34. doi: 10.25712/ASTU.2072 – 8921.2018.03.005
- 18 Медведев О.С., Медведева Н.А. Растительные заменители молока: особенности, преимущества, использование в питании // Вопросы диетологии. 2018. Т. 8. № 1. С. 52–58. doi: 10.20953/2224-5448-2018-1-52-58
- 19 Mintel. In the shadow of competition, the soy market slumps // Mintel Press Release. 2011. URL: <http://www.mintel.com/press-centre/press-releases/696/in-the-shadow-of-competition-the-soy-market-slumps>
- 20 Мирзоев А.М., Дорогокупля И.В. Растительное молоко: пищевая ценность и оценка качества // Современная наука: новые подходы и актуальные исследования: материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Прага, Чехия, 21 апреля 2020 года. Прага, Чехия: Научно-издательский центр "Мир науки", 2020. С. 23–28.
- 21 Козупова А.Н. Растительные заменители натурального коровьего молока // Здоровьесберегающие технологии, качество и безопасность пищевой продукции: сборник статей по материалам Всероссийской конференции с международным участием, Краснодар, 19 ноября 2021 года. С. 20–23.

References

- 1 Shah N.P. Functional cultures and health benefits. International dairy journal. 2007. vol. 17. no. 11. pp. 1262-1277. doi: 10.1016/j.idairyj.2007.01.014
- 2 Parvez S., Malik K.A., Kang S.A., Kim H.-Y. Probiotics and their fermented food products are beneficial for health. Journal of applied microbiology. 2006. vol. 100. no. 6. pp. 1171-1185. doi: 10.1111/j.1365-2672.2006.02963.x
- 3 Mugambi M.N. et al. Synbiotics, probiotics or prebiotics in infant formula for full term infants: a systematic review. Nutrition journal. 2012. vol. 11. pp. 1-32. doi:10.1186/1475-2891-11-81
- 4 Héchard Y., Dériard B., Letellier F., Cenatiempo Y. Characterization and purification of mesentericin Y105, an anti-Listeria bacteriocin from *Leuconostoc mesenteroides*. Microbiology. 1992. vol. 138. no. 12. pp. 2725-2731. doi: 10.1099/00221287-138-12-2725
- 5 Abdullayeva N.F., Tagizade Z.A., Mustafayeva R.S. Microbiological and biochemical characteristics of lactic acid bacteria and their applications (review). Actual problems of humanities and natural sciences. 2017. no. 3 (3). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikrobiologicheskie-i-biohimicheskie-harakteristiki-molochnokislyh-bakteriy-i-oblasti-ih-primeneniya-obzor> (in Russian).
- 6 Gavrilova N.N., Ratnikova I.A., Bayakyshova K. Optimization of nutrient medium for cultivation of associations from lactic acid and propionic acid bacteria. Biotechnologiya. Theory and practice. 2006. no. 3. pp. 83-87. (in Russian).
- 7 Bespomestnykh K.V. Studying the influence of nutrient medium composition on the change of biochemical and morphological properties of lactobacillus strains. Modern problems of science and education. 2014. no. 6. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16600> (in Russian).
- 8 Donskaya G.A., Drozhzhin V.M., Blinova T.E. Fermented plant-based product. Storage and processing of agricultural raw materials. 2020. no. 4. pp. 67-78. (in Russian).
- 9 Domínguez-Jiménez, J.L., Fernández-Suárez A. Diagnosis of lactose intolerance. Medicina Clínica. 2017. vol. 148 (6). pp. 262–264.

- 10 Fassio F., Facioni M.S., Guagnini F. Lactose maldigestion, malabsorption, and intolerance: a comprehensive review with a focus on current management and future perspectives. *Nutrients*. 2018. vol. 10. pp. 1599–1611.
- 11 Deng Y. Lactose intolerance in adults: biological mechanism and dietary management. *Nutrients*. 2015. vol. 7. pp. 8020–8035.
- 12 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.
- 13 Gorlova A.I., Ilyina A.M. The physiological role of lactose in native and hydrolyzed milk: a review. *Proceedings of VSUET*. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 57–61. doi: 10.20914/2310-1202-2022-2-57-61 (in Russian).
- 14 Abrams S.A., Griffin I.J., Davila P.M. Calcium and zinc absorption from lactose-containing and lactose-free infant formulas. *Am J Clin Nutr*. 2002. vol. 76. pp. 442–446.
- 15 Millward D.J., Garnett T. Plenary Lecture 3: Food and the planet: nutritional dilemmas of greenhouse gas emission reductions through reduced intakes of meat and dairy foods. *Proc Nutr Soc*. 2010. vol. 69. no. 1. pp. 103–118. doi: 10.1017/S0029665109991868
- 16 Black R.E., Williams S.M., Jones I.E., Goulding A. Children who avoid drinking cow milk have low dietary calcium intakes and poor bone health. *Am J Clin Nutr*. 2002. vol. 76. no. 3. pp. 675–680.
- 17 Egorova E.Yu. Non-dairy milk: a review of raw materials and technologies. *Polzunovsky vestnik*. 2018. no. 3. pp. 25–34. doi: 10.25712/ASTU.2072 – 8921.2018.03.005 (in Russian).
- 18 Medvedev O.S., Medvedeva N.A. Vegetable milk substitutes: features, advantages, use in nutrition. *Questions of dietetics*. 2018. vol. 8. no. 1. pp. 52–58. doi: 10.20953/2224-5448-2018-1-52-58 (in Russian).
- 19 Mintel. In the shadow of competition, the soy market slumps. *Mintel Press Release*. 2011. Available at: <http://www.mintel.com/press-centre/press-releases/696/in-the-shadow-of-competition-the-soy-market-slumps>
- 20 Mirzoev A.M., Dorogokuplya I.V. Vegetable milk: nutritional value and quality assessment. *Modern Science: New Approaches and current research: Materials of the International (correspondence) Scientific and Practical Conference, Prague, Czech Republic, April 21, 2020. Prague, Czech Republic, Scientific Publishing Center "World of Science", 2020. pp. 23–28. (in Russian).*
- 21 Kozlova A.N. Vegetable substitutes for natural cow's milk. Health-saving technologies, quality and safety of food products: collection of articles based on the materials of the All-Russian Conference with international participation, Krasnodar, November 19, 2021. pp. 20–23. (in Russian).

Сведения об авторах

Ирина В. Бояринева д.т.н., профессор, базовая кафедра «Биоэкономики и продовольственной безопасности» Инновационного технологического центра Передовой инженерной школы «Института биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет, п. Аякс, 10, о. Русский, г. Владивосток, Приморский край, 690922, Россия, boyarinevaiv@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4791-884X>

Анна Б. Подволоцкая к.м.н., доцент, базовая кафедра «Биоэкономики и продовольственной безопасности» Инновационного технологического центра Передовой инженерной школы «Института биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет, п. Аякс, 10, о. Русский, г. Владивосток, Приморский край, 690922, Россия, podvolotckaia.ab@dvfu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7450-4362>

Варвара Д. Стёпочкина аспирант, базовая кафедра «Биоэкономики и продовольственной безопасности» Инновационного технологического центра Передовой инженерной школы «Института биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет, п. Аякс, 10, о. Русский, г. Владивосток, Приморский край, 690922, Россия, vdkislitsyna@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4124-6002>

Егор О. Рочин ассистент, базовая кафедра «Биоэкономики и продовольственной безопасности» Инновационного технологического центра Передовой инженерной школы «Института биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет, п. Аякс, 10, о. Русский, г. Владивосток, Приморский край, 690922, Россия, rochin_eo@dvfu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7291-7289>

Вклад авторов

Ирина В. Бояринева принадлежит идея создания симбиотического концентрата, новых биопродуктов, обзор литературных источников, проведение эксперимента, написание рукописи

Анна Б. Подволоцкая консультация в ходе исследования

Варвара Д. Стёпочкина консультация в ходе исследования

Егор О. Рочин консультация в ходе исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Irina V. Boyarineva Dr. Sci. (Engin.), professor, Department of Bioeconomics and Food Security of the Innovative Technological Center of the Advanced Engineering School of the «Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems», Far Eastern Federal University, Ajax, 10, Russian Island, Vladivostok, Primorsky Krai, 690922, Russia, boyarinevaiv@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4791-884X>

Anna B. Podvolotskaya Cand. Sci. (Med.), associate professor, Department of Bioeconomics and Food Security of the Innovative Technological Center of the Advanced Engineering School of the «Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems», Far Eastern Federal University, Ajax, 10, Russian Island, Vladivostok, Primorsky Krai, 690922, Russia, podvolotckaia.ab@dvfu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7450-4362>

Varvara D. Stepochkina graduate student, Department of Bioeconomics and Food Security of the Innovative Technological Center of the Advanced Engineering School of the «Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems», Far Eastern Federal University, Ajax, 10, Russian Island, Vladivostok, Primorsky Krai, 690922, Russia, vdkislitsyna@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4124-6002>

Egor O. Rochin post-graduate student, Department of Bioeconomics and Food Security of the Innovative Technological Center of the Advanced Engineering School of the «Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems», Far Eastern Federal University, Ajax, 10, Russian Island, Vladivostok, Primorsky Krai, 690922, Russia, rochin_eo@dvfu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7291-7289>

Contribution

Irina V. Boyarineva owns the idea of creating a symbiotic concentrate, new biological products belongs to, reviewing literary sources, conducting an experiment, writing a manuscript

Anna B. Podvolotskaya consultation during the study

Varvara D. Stepochkina consultation during the study

Egor O. Rochin consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/12/2022	После редакции 19/01/2023	Принята в печать 15/02/2023
Received 20/12/2022	Accepted in revised 19/01/2023	Accepted 15/02/2023

Снижение затрат энергоресурсов на установке деасфальтизации гудрона

Николай В. Котляр	¹	chemicaluniversity@mail.ru	
Сергей В. Попов	¹	svpopov2018@ya.ru	 0000-0003-0533-9049
Жанна В. Николаева	¹	chemicaluniversity@mail.ru	
Оксана В. Хабибрахманова	¹	chemicaluniversity@mail.ru	 0000-0002-1523-9861

¹ Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Митрофанова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия

Аннотация. Установки пропановой деасфальтизации используются для «очистки» гудрона от асфальтосмолистых и полициклических ароматических компонентов. Используемые при этом энергоресурсы достаточно большие. Для снижения энергоёмкости рассматривается возможность рекуперации теплоты технологических потоков установки и уменьшения расхода пара и воды при регенерации пропана из раствора деасфальтизата. Исследования проведены с использованием программной системы Honeywell UniSim Design, в которой разработали модель установки пропановой деасфальтизации гудрона. Для расчета термодинамических свойств компонентов фракций использован метод Peng-Robinson. Выполненный анализ энергетических потоков технологической схемы показал, что для повышения температуры раствора деасфальтизата от 79,9°C до 120°C для трубчатого испарителя требуется подвести энергетический поток 2,709e⁵ кДж/ч. При этом величина теплового потока целевого продукта (деасфальтизата) составляет 5,746e⁶ кДж/ч, следовательно, имеется возможность рекуперации теплоты между рассмотренными потоками. Предложена энергосберегающая технология регенерации пропана из раствора деасфальтизата, в которой в трубчатом испарителе вместо острого пара используется теплота потока выделенного деасфальтизата. Проведенный вычислительный эксперимент показал, что рассчитанное уменьшение расхода острого пара в отпарной колонне К-2 снижает энергопотребление установки с сохранением четкости разделения пропана и целевого продукта. Отсутствие в потоке регенерированного пропана углеводородной фракции делает возможным его рециркуляцию на питание экстракционной колонны. Показано, что в конденсаторе смешения К-5 возможно уменьшение расхода воды. За счет снижения расхода пара, используемого в отпарной колонне К-2, и понижения расхода воды в конденсаторе К-5 уменьшается количество воды, сбрасываемой в канализацию. Предложенная технологическая схема регенерации пропана из раствора деасфальтизата и модель установки могут использоваться в процессах одно- и двухступенчатой деасфальтизации гудрона для их расчета и проектирования.

Ключевые слова: гудрон, пропан, установка деасфальтизации гудрона, раствор деасфальтизата, раствор асфальта, эвапоратор, сепаратор, отпарная колонна, энергосбережение, Honeywell UniSim Design

Reducing energy costs at the tar deasphalting unit

Nikolay V. Kotlayr	¹	chemicaluniversity@mail.ru	
Sergey V. Popov	¹	svpopov2018@ya.ru	 0000-0003-0533-9049
Zhanna V. Nikolaeva	¹	chemicaluniversity@mail.ru	
Oksana V. Khabibrakhmanova	¹	chemicaluniversity@mail.ru	 0000-0002-1523-9861

¹ Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia

Abstract. Propane de-asphalting units are used to "clean" tar from asphalt-resin and polycyclic aromatic components. The energy resources used in this case are quite large. To reduce energy consumption, the possibility of heat recovery of the technological flows of the installation and reduction of steam and water consumption during the regeneration of propane from a deasphaltisate solution is being considered. The research was carried out using the Honeywell UniSim Design software system, in which a model of a propane de-asphalting tar installation was developed. The Peng-Robinson method was used to calculate the thermodynamic properties of the fraction components. The analysis of the energy flows of the technological scheme showed that to increase the temperature of the deasphaltisate solution from 79.9 °C to 120 °C for a tubular evaporator, it is required to bring an energy flow of 2.709e⁵ kJ/h. At the same time, the value of the heat flux of the target product (deasphaltisate) is 5,746e⁶ kJ / h, therefore, there is a possibility of heat recovery between the considered flows. An energy-saving technology for the regeneration of propane from a solution of deasphaltisate is proposed, in which the heat of the flow of the extracted deasphaltisate is used in a tubular evaporator instead of hot steam. The conducted computational experiment showed that the calculated reduction in the consumption of hot steam in the K-2 steam column reduces the energy consumption of the installation while maintaining the clarity of the separation of propane and the target product. The absence of a hydrocarbon fraction in the flow of regenerated propane makes it possible to recycle it to feed the extraction column. It is shown that it is possible to reduce water consumption in the K-5 mixing condenser. By reducing the steam consumption used in the K-2 steam column and lowering the water consumption in the K-5 condenser, the amount of water discharged into the sewer is reduced. The proposed technological scheme for the regeneration of propane from a deasphaltisate solution and the installation model can be used in the processes of one- and two-stage deasphaltization of tar for their calculation and design.

Keywords: tar, propane, tar deasphalting unit, deasphalting oil solution, asphalt solution, evaporator, separator, stripping column, energy saving, Honeywell UniSim Design

Для цитирования

Котляр Н.В., Попов С.В., Николаева Ж.В., Хабибрахманова О.В. Снижение затрат энергоресурсов на установке деасфальтизации гудрона // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 187–193. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-187-193

For citation

Kotlayr N.V., Popov S.V., Nikolaeva Zh.V., Khabibrakhmanova O.V. Reducing energy costs at the tar deasphalting unit. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 187–193. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-187-193

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

Введение

Процессы деасфальтизации используются как способ углубления переработки нефти «очисткой» гудрона от асфальтосмолистых и полициклических ароматических компонентов. В качестве растворителя, определяющего получаемые характеристики продуктов, в этих процессах применяют пропан, бутан, гептан и другие углеводороды. Процесс пропановой деасфальтизации наиболее распространен в промышленных условиях [1–7], при этом пропан выполняет функции коагулятора асфальто-смолистых веществ и, одновременно, избирательного растворителя для извлекаемых компонентов нефтяных фракций [4].

Отметим, что в процессе пропановой деасфальтизации используемые энергоресурсы достаточно большие [8–11]. Для их снижения в работах [10–12] предлагается изменение аппаратного оформления процесса, в исследованиях [13–16] описано проведение процесса при сверхкритических условиях по отношению к растворителю. В работе [17] для расчета характеристик получаемого асфальта используется программный пакет SimSci-Esscor Pro II. В патенте [18] предлагается использовать тепло регенерированного растворителя для нагревания растворов, выходящих из экстракционной колонны. В исследовании [19] показана возможность снижения расхода пара при регенерации пропана из асфальтового раствора установки.

Цель работы – для промышленной установки пропановой деасфальтизации гудрона разработка варианта энергосберегающей технологии регенерации пропана из раствора деасфальтизата, обеспечивающей снижение расхода пара и воды с использованием рекуперации тепловых потоков технологической схемы.

Методы

Исследования проводили с использованием моделирующей системы Honeywell UniSim

Design [20], для расчета термодинамических свойств компонентов фракций использован метод Peng-Robinson.

На рисунке 1 приведена разработанная модель технологической схемы регенерации пропана и выделения фракции деасфальтизата из раствора деасфальтизата, поступающего из экстракционной колонны промышленной установки [8].

Раствор деасфальтизата (поток **см_ДеАСФ**), содержащий пропан (96,99% мас.) и углеводородные фракции (температуры кипения от 405° С до 537° С), выводится из экстрактора с температурой 75° С и давлением 3530 кПа. Регенерация пропана проводится с использованием трех последовательно работающих трубчатых испарителей {Э-1 V-I}, {Э-1А V-1А} и {Э-1Б V-1Б}, отпарной колонны К-2 и конденсатора смешения К-5. Переток раствора деасфальтизата из одного испарителя в другой осуществляется за счет перепада давления. В технологических потоках снижение давления проводится с помощью клапанов VLV-106 (до 1690кПа), VLV-107 (до 1660кПа), VLV-108 (до 1500кПа) и VLV-109 (до 245кПа).

Раствор деасфальтизата (поток **деасф 9**) с остаточным содержанием пропана (до 3% мас.) из испарителя {Э-1Б V-1Б} перетекает в отпарную колонну К-2, где происходит окончательная отпарка пропана из деасфальтизата острым паром. Поток **пропан 13** (смесь водяного пара и пропана) поступает на конденсатор смешения К-5 для конденсации паров воды с использованием воды. Полученная фракция деасфальтизата (поток **деасф 12**) с низа колонны К-2 откачивается в товарный парк.

Графики ИТК разгонки гудрона и полученного деасфальтизата показаны на рисунке 2.

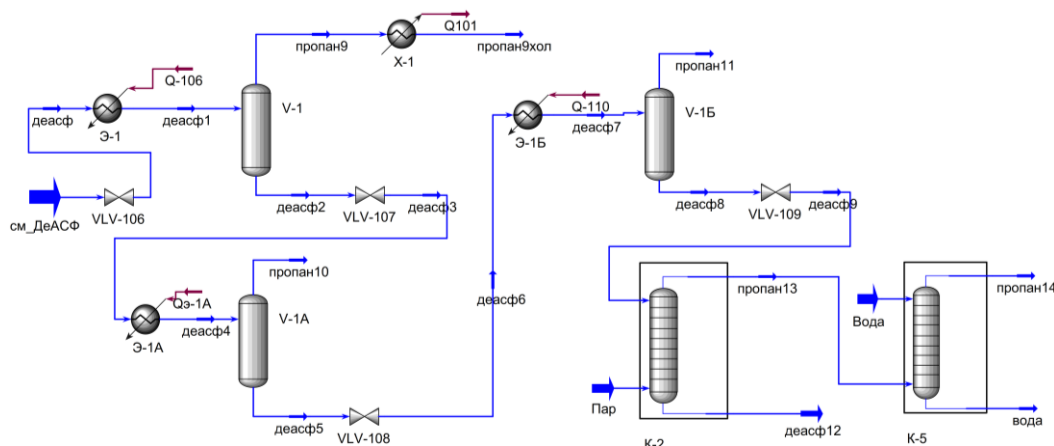


Рисунок 1. Фрагмент «типовой» технологической схемы регенерации пропана и получения фракции деасфальтизата установки пропановой деасфальтизации гудрона (распечатка в среде Honeywell UniSim Design)

Figure 1. Fragment of a "typical" technological scheme for the regeneration of propane and the production of a fraction of deasphaltisate of a propane tar deasphaltization plant (printout in the Honeywell UniSim Design environment)

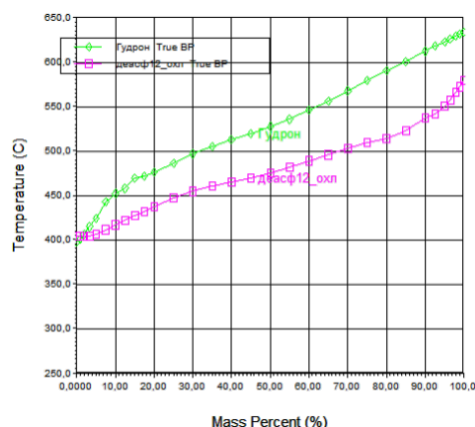


Рисунок 2. График ИТК разгонки гудрона и полученной фракции деасфальтизата

Figure 2. Graph of the ITC of the tar dispersal and the resulting deasphaltate fraction

Результаты и обсуждение

Анализ энергетических потоков технологической схемы (рисунок 1) показывает, что для повышения температуры от 79,9 °С (поток **деасф 3**) до 120° С (поток **деасф 4**) для трубчатого испарителя {Э-1А V-1А} требуется подвести энергетический поток $Q_{Э-1А} = 2,709 \text{ е}^5 \text{ кДж/ч}$. При этом величина теплового потока деасфальтизата (поток **деасф 12**) составляет $5,746 \text{ е}^6 \text{ кДж/ч}$, следовательно имеется возможность передачи части теплоты от потока **деасф 12** потоку **деасф 3**.

Измененная технологическая схема с организацией рекуперативного теплообмена приведена на рисунке 3. Технологический поток **деасф 12** отдает

тепло в испарителе {Э-1А V-1А} и охлаждается от температуры 142,8 °С до 95,3 °С (поток **деасф 12_охл**), а поток раствора деасфальтизата нагревается с 79,9 °С до 120° С. В результате обеспечивается снижение энергоёмкости установки за счёт уменьшения расхода острого пара, который использовался для рассмотренного испарителя.

Проведенный вычислительный эксперимент также позволил рассмотреть используемые на промышленной установке режимные параметры и получаемые показатели работы отпарной колонны К-2 и конденсатора смешения К-5 и выполнить оценку их оптимальных значений.

Значения используемых на установке технологических режимов и компонентный состав потоков колонны К-2 показаны в таблице 1. Видно, что при расходе острого пара 150кг/ч (таблица 1а) в деасфальтизате (поток **деасф 12**) пропан отсутствует, а содержание воды в потоке **пропан 13** 82,83% мол. (66,34% мас.). Результаты расчетов, полученные для варианта снижения расхода острого пара с 150 кг/ч до 12кг/ч, показали, что в потоке **деасф 12** остаточное содержание пропана составляет величину 0.0012% мол. (0.0001% мас.), а содержание воды в потоке пропана (**пропан 13**), поступающего в аппарат К-5, составляет 25,6% мол. (12,33% мас.), следовательно на установке имеется возможность существенного уменьшения энергозатрат за счёт снижения потребления острого пара.

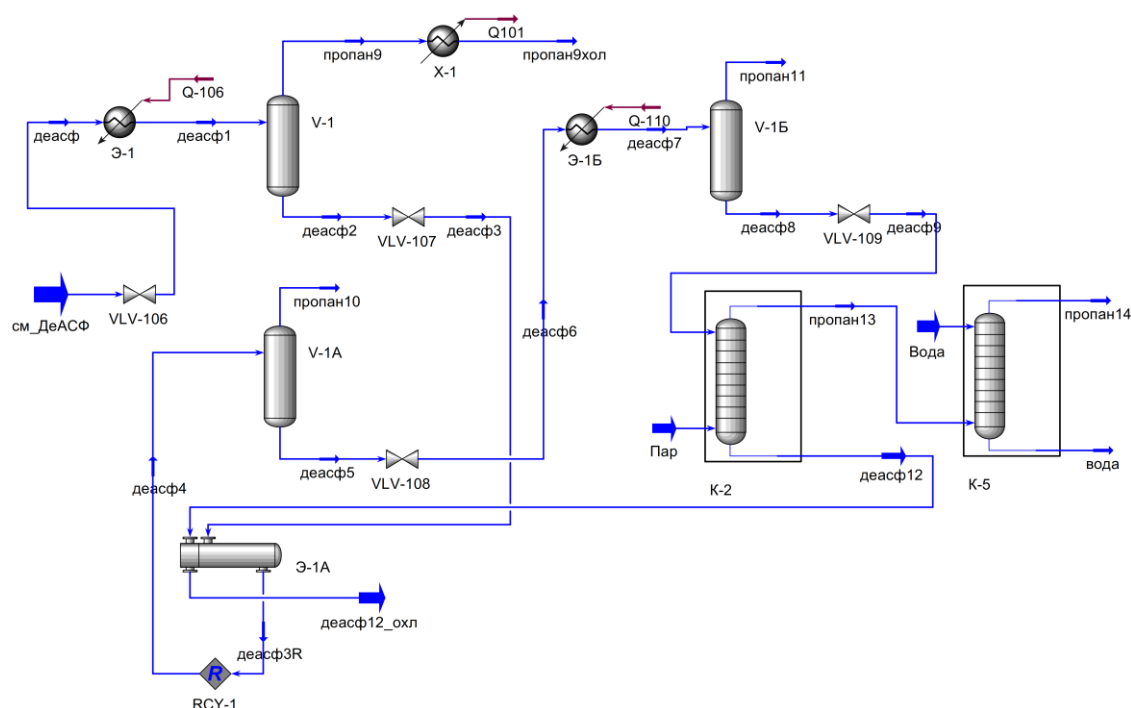


Рисунок 3. Фрагмент измененной технологической схемы регенерации пропана и получения фракции деасфальтизата установки пропановой деасфальтизации гудрона (распечатка в среде Honeywell UniSim Design)

Figure 3. Fragment of the modified technological scheme of propane regeneration and obtaining the deasphaltate fraction of the propane tar deasphaltisation unit (printout in the Honeywell UniSim Design environment)

В конденсаторе смешения К-5 через орошение водой из потока **пропан 13** удаляется вода. В таблице 2 приведены используемые на практике режимы и составы технологических потоков (входной поток **пропан 13** имеет технологические параметры из таблицы 1, то есть до оптимизации расхода пара в колонне К-2).

Из таблицы 2b видно, что в потоке **пропан 14**, выходящего из аппарата К-5 остаточное содержание воды 1,33% мол. (0,55% мас.). Расчёты показали возможность уменьшения расхода воды с 20000 кг/ч до 6000 кг/ч. При этом в потоке

пропан 14 наблюдается остаточное содержание воды порядка 0,57% мол. (0,24% мас.) и практически отсутствует тяжелая углеводородная фракция, что делает возможным в промышленных условиях его рециркулирование на питание экстракционной колонны.

Отметим, что в предложенной схеме (рисунок 3) за счет уменьшения расхода пара в колонне К-2 уменьшается требуемый расход воды в колонне-конденсаторе К-5 и, как следствие, снижается её количественный сброс в канализацию.

Таблица 1.

Значения технологических режимов (а) и компонентный состав потоков (b) колонны К-2
(распечатка в Honeywell UniSim Design)

Table 1.

Values of technological modes (a) and component composition of flows (b) of the K-2 column
(printout in Honeywell UniSim Design)

Name	деасф9	Пар	деасф12	пропан13
Vapour	0,1517	1,0000	0,0000	1,0000
Temperature [C]	142,6	280,0	148,7	142,2
Pressure [kPa]	245,2	588,4	200,0	196,0
Molar Flow [kgmole/h]	9,664	8,326	8,029	9,961
Mass Flow [kg/h]	3016	150,0	2942	224,1
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	2,996	0,1503	2,849	0,2978
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-6,134e+005	-2,332e+005	-7,156e+005	-2,132e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	490,5	180,1	564,7	184,0
Heat Flow [kJ/h]	-5,928e+006	-1,942e+006	-5,746e+006	-2,124e+006

(a)

	деасф9	Пар	деасф12	пропан13
Propane	0,176930	0,000000	0,000000	0,171648
H2O	0,000000	1,000000	0,009374	0,828343
NBP[0]405*	0,078635	0,000000	0,094639	0,000005
NBP[0]420*	0,074455	0,000000	0,089610	0,000002
NBP[0]448*	0,175101	0,000000	0,210748	0,000001
NBP[0]473*	0,210197	0,000000	0,252990	0,000000
NBP[0]504*	0,149273	0,000000	0,179663	0,000000
NBP[0]528*	0,092987	0,000000	0,111918	0,000000
NBP[0]556*	0,032996	0,000000	0,039713	0,000000
NBP[0]583*	0,007917	0,000000	0,009529	0,000000
NBP[0]616*	0,001510	0,000000	0,001817	0,000000

(b)

Таблица 2.

Значения технологических режимов (а) и компонентный состав потоков (b) конденсатора смешения К-5
(распечатка в Honeywell UniSim Design)

Table 2.

Values of technological modes (a) and component composition of flows (b) of the K-5 mixing capacitor
(printout in Honeywell UniSim Design)

Name	Вода	пропан13	вода	пропан14
Vapour	0,0000	1,0000	0,0000	0,9935
Temperature [C]	15,00	142,2	19,85	18,93
Pressure [kPa]	315,0	196,0	350,0	310,0
Molar Flow [kgmole/h]	1110	9,961	1118	1,733
Mass Flow [kg/h]	2,000e+004	224,1	2,015e+004	75,83
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	20,04	0,2978	20,19	0,1492
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2,870e+005	-2,132e+005	-2,866e+005	-1,068e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	51,05	184,0	52,35	150,1
Heat Flow [kJ/h]	-3,186e+008	-2,124e+006	-3,206e+008	-1,851e+005

(a)

	Вода	пропан13	вода	пропан14
Propane	0,000000	0,171649	0,000000	0,986702
H2O	1,000000	0,828343	1,000000	0,013252
NBP[0]405*	0,000000	0,000005	0,000000	0,000026
NBP[0]420*	0,000000	0,000002	0,000000	0,000012
NBP[0]448*	0,000000	0,000001	0,000000	0,000006
NBP[0]473*	0,000000	0,000000	0,000000	0,000002
NBP[0]504*	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
NBP[0]528*	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
NBP[0]556*	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
NBP[0]583*	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
NBP[0]616*	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

(b)

Заключение

На промышленных установках пропановой деасфальтизации гудрона в качестве основного теплоносителя применяется острый водяной пар, использование которого имеет ряд известных недостатков. В качестве альтернативы его использованию для рассматриваемой установки проведено исследование возможности рекуперации теплоты технологических потоков.

С использованием программной среды Honeywell UniSim Design разработана модель установки.

Проведенный вычислительный эксперимент позволил получить следующие результаты.

Предложена энергосберегающая технология регенерации пропана из раствора деасфальтизата, в которой в трубчатом испарителе вместо острого пара используется теплота потока выделенного деасфальтизата.

Рассчитанное уменьшение расхода острого пара в отпарной колонне К-2 снижает энергопотребление установки с сохранением четкости разделения регенерированного пропана и целевого продукта (фракции деасфальтизата). Отсутствие в потоке регенерированного пропана углеводородной фракции делает возможным его рециркуляцию на питание экстракционной колонны.

Показано, что в конденсаторе смешения К-5 возможно уменьшение расхода воды.

В целом, за счет снижения расхода пара, используемого в отпарной колонне К-2, и понижения расхода воды в конденсаторе К-5 уменьшается количество воды, сбрасываемой в канализацию.

Предложенная технологическая схема регенерации пропана и модель установки могут использоваться в процессах одно- и двухступенчатой деасфальтизации гудрона для их расчета и проектирования.

Литература

- 1 Халикова Д.А., Петров С.М., Башкирцева Н.Ю. Обзор перспективных технологий переработки тяжелых высоковязких нефтей и природных битумов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 3. С. 217-221.
- 2 Гольдберг Д.О., Соболев Б.А. Деасфальтизация пропаном. М.: Химия, 1965. 104 с.
- 3 Глазов Г.И., Фукс И.Г. Производство нефтяных масел. М.: Химия, 1976. 192 с.
- 4 Золотарев П.А., Ольков П.Л., Горелов Ю.С. Проектирование установок деасфальтизации. Уфа: Изд. Уфимск. нефт. ин-та, 1982. 85 с.
- 5 Хайрудинов И.Р., Мингараев С.С., Хамитов Г.Г. и др. Перспективы развития и повышения эффективности процессов деасфальтизации нефтяных остатков // Тематический обзор. Серия Переработка нефти. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1994. Вып. 5. 72 с.
- 6 Нигматуллин Р.Г., Золотарев П.А., Сайфуллин Н.Р. и др. Деасфальтизация нефтяного сырья пропаном. М.: Техинформ, 2003. 200 с.
- 7 Пат. № 2174532, RU, C10G 21/14. Способ деасфальтизации высоковязкой нефти и природного битума / Старшов М.И., Каюмова Н.Р., Половняк В.К., Ахунов Р.М., Абдулхайров Р.М. № 2000115642/04; Заявл. 15.06.2000; Оpubл. 10.10.2001, Бюл. № 28.
- 8 Kupareva A., Mäki-Arvela P., Murzin D.Y. Technology for rerefining used lube oils applied in Europe: a review // Journal of Chemical Technology & Biotechnology. 2013. V. 88. № 10. P. 1780-1793. doi: 10.1002/jctb.4137
- 9 Pham D.V., Nguyen N.T., Kang K.H., Seo P.W. et al. Effect of slurry phase catalyst and H₂ pressure on hydrocracking of SDA (solvent de-asphalting) pitch // Korean Journal of Chemical Engineering. 2022. V. 39. № 5. P. 1215-1226. doi: 10.1007/s11814-021-1026-7
- 10 Дегтярёв П.А., Замковой Н.П., Шамаков Н.В. Модернизация установки деасфальтизации гудрона пропаном 36/2 м цеха 101 завода масел ОАО «АНХК» // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2013. № 2 (5). С. 66-71.
- 11 Пат. № 2326154, RU, C10G 21/14. Способ деасфальтизации гудрона / Зоткин В.А., Никитин А.А., Войдашевич В.В., Фролов А.И. и др. № 2006109606/04; Заявл. 28.03.2006; Оpubл. 10.10.2007, Бюл. № 28.
- 12 Пат. № 2552419, RU, C10G 21/14. Способ двухколонной пропановой деасфальтизации нефтяных остатков / Биктимиров Ф.С. № 2013130089/04; Заявл. 01.07.2013; Оpubл. 10.06.2015, Бюл. № 16.
- 13 Пат. № 2232792, RU, C10G 21/14. Способ деасфальтизации нефтяных остатков / Султанов Ф.М., Хайрудинов И.Р., Кузнецов В.Ю., Теляшев Э.Г. № 2002125778/04; Заявл. 27.09.2002; Оpubл. 20.07.2004, Бюл. № 20.
- 14 Пат. № 2522155, RU, C10G 21/28. Сверхкритический сепаратор / Курочкин А.В. № 2013130774/04; Заявл. 04.07.2013; Оpubл. 10.07.2014, Бюл. № 19.
- 15 Пат. № 2436836, RU, C10G 21/14, 21/28. Способ "сухой" пропановой деасфальтизации нефтяных остатков / Биктимиров Ф.С. № 2009146367/04; Заявл. 14.12.2009; Оpubл. 20.06.2011, Бюл. № 17.
- 16 Пат. № 2051951, RU, C10G 21/28. Способ регенерации пропана из деасфальтизатного раствора / Султанов Ф.М., Бикбулатов М.С., Сайфуллин Н.А., Хайрудинов И.Р. и др. №92 92003568; Заявл. 02.11.1992.
- 17 Заббаров Р.Р., Ахмитшин А.А., Валеева Н.Г. Моделирование процесса деасфальтизации природных битумов и тяжелых нефтяных остатков // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 18. С. 270-271.
- 18 Пат. № 2136720, RU, C10G 21/14, 21/28. Способ деасфальтизации нефтяных остатков / Хайрудинов И.Р., Султанов Ф.М., Сайфуллин Н.Р., Нигматуллин Р.Г. и др. № 98102991/04; Заявл. 19.02.1998; Оpubл. 10.09.1999.
- 19 Мясоєдов А.В., Попов С.В., Хабибрахманова О.В. Снижение затрат энергоресурсов при регенерации растворителя на установке деасфальтизации гудрона // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 2. С. 202-207.

20 Sadi M., Kananpanah S., Bayat M. Adaptive neuro fuzzy inference system to predict average asphaltene particle diameter case study: in thermal de-asphalting process // *Petroleum Science and Technology*. 2020. V. 38. №. 6. P. 542-549. doi: 10.1080/10916466.2020.1769653

References

- 1 Khalikova D.A., Petrov S.M., Bashkirtseva N.Yu. Review of promising technologies for processing heavy high-viscosity oils and natural bitumen. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2013. vol. 16. no. 3. pp. 217-221. (in Russian).
- 2 Goldberg D.O., Sobolev B.A. Deasphaltation with propane. M.: Chemistry, 1965. 104 p. (in Russian).
- 3 Glazov G.I., Fuchs I.G. Production of petroleum oils. M.: Chemistry, 1976. 192 p. (in Russian).
- 4 Zolotarev P.A., Olkov P.L., Gorelov Yu.S. Design of de-asphalting installations. Ufa, Ed. Ufa. oil. in-ta, 1982. 85 p. (in Russian).
- 5 Khairudinov I.R., Mingaraev S.S., Khamitov G.G. et al. Prospects for the development and improvement of the efficiency of the processes of de-asphalting of oil residues. Thematic review. Oil Refining series. Moscow, Tsniiteneftkhim, 1994. no. 5. 72 p (in Russian).
- 6 Nigmatullin R.G., Zolotarev P.A., Saifullin N.R. et al. De-asphalting of petroleum raw materials with propane. Moscow, Techninform, 2003. 200 p. (in Russian).
- 7 Starshov M.I., Kayumova N.R., Polovnyak V.K., Akhunov R.M., Abdulkhairov R.M. Method of de-asphalting of high-viscosity oil and natural bitumen. Patent RF, no. 2174532, 2001.
- 8 Kupareva A., Mäki-Arvela P., Murzin D.Y. Technology for rerefining used lube oils applied in Europe: a review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 2013. vol. 88. no. 10. pp. 1780-1793. doi: 10.1002/jctb.4137
- 9 Pham D.V., Nguyen N.T., Kang K.H., Seo P.W. et al. Effect of slurry phase catalyst and H₂ pressure on hydrocracking of SDA (solvent de-asphalting) pitch. *Korean Journal of Chemical Engineering*. 2022. vol. 39. no. 5. pp. 1215-1226. doi: 10.1007/s11814-021-1026-7
- 10 Degtyarev P.A., Zamkovoy N.P., Shmakov N.V. Modernization of the installation of de-asphalting of tar with propane 36/2 m of shop 101 of the oil plant of JSC "ANKHK". *Izvestiya vuzov. Applied chemistry and biotechnology*. 2013. no. 2 (5). pp. 66-71. (in Russian).
- 11 Zotkin V.A., Nikitin A.A., Voidashevich V.V., Frolov A.I. et al. Method of de-asphalting of tar. Patent RF, no. 2326154, 2007.
- 12 Biktimirov F.S. Method of two-column propane de-asphalting of oil residues. Patent RF, no. 2552419, 2015.
- 13 Sultanov F.M., Khairudinov I.R., Kuznetsov V.Yu., Telyashev E.G. Method of de-asphalting of oil residues. Patent RF, no. 2232792, 2004.
- 14 Kurochkin A.V. Supercritical separator. Patent RF, no. 2522155, 2014.
- 15 Biktimirov F.S. Method of "dry" propane de-asphalting of oil residues. Patent RF, no. 2436836, 2011.
- 16 Sultanov F.M., Bikbulatov M.S., Sayfullin N.A., Khairudinov I.R. et al. Method of propane regeneration from deasphaltic solution. Patent RF, no. 2051951, 1992.
- 17 Zabbarov R.R., Akhmetshin A.A., Valeeva N.G. Modeling of the process of de-asphalting of natural bitumen and heavy oil residues. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2013. vol. 16. no. 18. pp. 270-271. (in Russian).
- 18 Khairudinov I.R., Sultanov F.M., Sayfullin N.R., Nigmatullin R.G. et al. Method of de-asphalting of oil residues. Patent RF, no. 2136720, 1999.
- 19 Myasoedov A.V., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V. Reduction of energy costs during solvent regeneration at the tar de-asphalting plant. *Proceedings of VSUIT*. 2021. vol. 83. no. 2. pp. 202-207. (in Russian).
- 20 Sadi M., Kananpanah S., Bayat M. Adaptive neuro fuzzy inference system to predict average asphaltene particle diameter case study: in thermal de-asphalting process. *Petroleum Science and Technology*. 2020. vol. 38. no. 6. pp. 542-549. doi: 10.1080/10916466.2020.1769653

Сведения об авторах

Николай В. Котляр магистрант, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, chemicaluniversity@mail.ru
<https://orcid.org/>

Сергей В. Попов к.т.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, svpopov2018@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

Жанна В. Николаева к.х.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, chemicaluniversity@mail.ru
<https://orcid.org/>

Оксана В. Хабибрахманова к.х.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, chemicaluniversity@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1523-9861>

Information about authors

Nikolay V. Kotlayr master student, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru
<https://orcid.org/>

Sergey V. Popov Cand. Sci. (Engin.), associate professor., chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

Zhanna V. Nikolaeva Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru
<https://orcid.org/>

Oksana V. Khabibrakhmanova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1523-9861>

Вклад авторов

Николай В. Котляр обзор литературных источников по исследуемой проблеме, разработал модели и провел вычислительный эксперимент

Сергей В. Попов обзор литературных источников по исследуемой проблеме, разработал модели и провел вычислительный эксперимент

Жанна В. Николаева обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Оксана В. Хабибрахманова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

Nikolay V. Kotlayr review of the literature on an investigated problem, developed models and conducted a computational experiment

Sergey V. Popov review of the literature on an investigated problem, developed models and conducted a computational experiment

Zhanna V. Nikolaeva review of the literature on an investigated problem

Oksana V. Khabibrakhmanova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 16/01/2023	После редакции 07/02/2023	Принята в печать 02/03/2023
Received 16/01/2023	Accepted in revised 07/02/2023	Accepted 02/03/2023

Исследование возможных вариантов технологических схем установок газодифракционного разделения широкой фракции легких углеводородов

Марк В. Воронов

1

chemicaluniversity@mail.ru

Сергей В. Попов

1

svpopov2018@ya.ru



0000-0003-0533-9049

Оксана В. Хабибрахманова

1

chemicaluniversity@mail.ru



0000-0002-1523-9861

Андрей Д. Юлин

1

chemicaluniversity@mail.ru

1 Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Мironova, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия

Аннотация. Анализ компонентного состава этан-пропановой фракции, получаемой на действующих газодифракционных установках из широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ), показывает, что из-за недостаточно четкого разделения легких углеводородов C_1+C_3 в этан-пропановой фракции (ЭПФ) наблюдается высокое содержание пропана. ЭПФ используется на установке пиролиза, где целевым полупродуктом получают этилен, следовательно, в промышленных условиях необходимо обеспечить предельно возможное извлечение пропана из состава ЭПФ. В технологической схеме действующих установок ЭПФ получают с использованием дифракционирующего абсорбера или ректификационной колонны. В обоих вариантах ЭПФ отбирается верхом аппаратов, а кубовый продукт, содержащий углеводороды C_3+ , подается на дальнейшее расфракционирование. С целью анализа работы газодифракционных установок в программной среде Honeywell UniSim Design разработана модель установки. Проведенный вычислительный эксперимент с использованием различных промышленных значений содержания углеводородов в ШФЛУ показал, что для достижения предельно возможного извлечения пропана из ЭПФ необходимо в получаемую на дифракционирующем абсорбере (или ректификационной колонне) ЭПФ вовлекать весь пропан так, чтобы в кубовом продукте аппарата была только фракция углеводородов C_4+ , направляемая на дальнейшее разделение. Полученная таким образом ЭПФ направляется в дополнительную ректификационную колонну, в которой обеспечивается четкое разделение на этановую (дистиллят колонны) и пропановую (кубовый продукт колонны) фракции, при этом в полученных фракциях достигаются показатели по концентрированию, улучшающие соответствующие показатели норм по ТУ 0272-022-00151638-99. Приводятся рассчитанные режимные параметры и фракционные составы технологических потоков аппаратов, описывается измененная схема установки. Разработанные модели могут использоваться для оптимизации режимов работы промышленных аппаратов и проектирования новых установок, а также для обучения технологов приемам квалифицированного ведения процесса.

Ключевые слова: широкая фракция легких углеводородов, дифракционирование, абсорбционная колонна, ректификационная колонна, моделирование, Honeywell UniSim Design.

Study of possible options for technological schemes of gas fractionation plants for a wide fraction of light hydrocarbons

Mark V. Voronov

1

chemicaluniversity@mail.ru

Sergey V. Popov

1

svpopov2018@ya.ru



0000-0003-0533-9049

Oksana V. Khabibrakhmanova

1

chemicaluniversity@mail.ru



0000-0002-1523-9861

Andrey D. Yulin

1

chemicaluniversity@mail.ru

1 Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia

Abstract. Analysis of the component composition of the ethane-propane fraction obtained from the wide fraction of light hydrocarbons (NGL) at operating gas fractionation plants shows that due to the insufficiently clear separation of light hydrocarbons C_1+C_3 , a high propane content is observed in the ethane-propane fraction (EPF). SPE is used in the pyrolysis plant, where ethylene is obtained as the target intermediate, therefore, under industrial conditions, it is necessary to ensure the maximum possible extraction of propane from the SPE composition. In the technological scheme of operating plants, SME is obtained using a fractionating absorber or a distillation column. In both versions, the SME is taken from the top of the apparatus, and the bottom product containing C_3+ hydrocarbons is fed for further fractionation. In order to analyze the operation of gas fractionation plants in the Honeywell UniSim Design software environment, a plant model was developed. A computational experiment using various industrial values of the hydrocarbon content in NGL showed that in order to achieve the maximum possible extraction of propane from the PSP, it is necessary to involve all the propane in the PSP obtained on the fractionating absorber (or distillation column) so that only the C_4+ hydrocarbon fraction is in the bottom product of the apparatus for further separation. The ESP obtained in this way is sent to an additional distillation column, which provides a clear separation into ethane (distillate of the column) and propane (bottom product of the column) fractions, while in the obtained fractions concentration indicators are achieved that improve the corresponding indicators of standards according to TU 0272-022-00151638-99. The calculated regime parameters and fractional compositions of technological flows of apparatuses are given, the modified scheme of the installation is described. The developed models can be used to optimize the operating modes of industrial devices and design new installations, as well as to train technologists in the methods of qualified process management.

Keywords: broad fraction of light hydrocarbons, fractionation, absorption column, distillation column, modeling, Honeywell UniSim Design

Для цитирования

Воронов М.В., Попов С.В., Хабибрахманова О.В., Юлин А.Д. Исследование возможных вариантов технологических схем установок газодифракционного разделения широкой фракции легких углеводородов // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 194–203. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-194-203

For citation

Voronov M.V., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V., Yulin A.D. Study of possible options for technological schemes of gas fractionation plants for a wide fraction of light hydrocarbons. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 194–203. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-194-203

Введение

Ресурсосбережение на всей технологической цепочке от подготовки и конвертирования сырья до получения товарной продукции – постоянная и значимая задача для любого современного нефтегазового предприятия. В результате переработки попутного нефтяного газа получают широкую фракцию легких углеводородов (ШФЛУ), состоящую в основном из предельных углеводородов $C_1 \div C_6$ и выше. На следующем технологическом этапе ШФЛУ подвергается разделению на отдельные фракции углеводородов. От четкости разделения углеводородов зависит их дальнейшее возможное использование в качестве товарной продукции или в других нефтехимических синтезах. Практический интерес предельного и качественного расфракционирования ШФЛУ объясняется многотоннажностью установок, где даже небольшая оптимизация процесса приводит к существенному улучшению общих технико-экономических показателей газодифракционирования, а получаемый экономический эффект обеспечивает достаточно быструю окупаемость дополнительного технологического оборудования, которое может потребоваться для совершенствования процесса.

В промышленных условиях достигается недостаточно четкое разделение легких углеводородов $C_1 \div C_3$ и, соответственно, при концентрировании имеет место их взаимное присутствие в соответствующих фракциях, превышающее нормы технических условий [1–3]. На практике это может быть связано с отклонениями от оптимального технологического режима работы установки, неустойчивой работой контактных устройств, отклонениями от целесообразного температурного профиля по высоте колонны. В работе [4] рассматривается ряд исследований [5–8], направленных на улучшение четкости разделения компонентов ШФЛУ. В частности, изменение тарелок ввода-вывода орошений абсорбционной колонны приводит к уменьшению расчетного количества пропана в этан-пропановой фракции (ЭПФ). В патентах [9–11] предлагаются варианты аппаратного оформления узлов деэтаннизации и депропаннизации.

Цель работы – для действующей газодифракционирующей установки поиск технологических вариантов для предельно возможного уменьшения содержания пропана в ЭПФ.

Методы

На рисунке 1 в координатах «давление-температура» показаны кривые кипения и конденсации для фракции углеводородов $C_1 \div C_3$.

Раздельное расположение кривых показывает на возможность достаточно четкого разделения компонентов смеси, например, в диапазоне давлений в массообменном аппарате 1000÷2000 кПа.

На рисунке 2 показана схема действующей газодифракционирующей установки [12, 13]. В качестве сырья поступает ШФЛУ газо- и нефтеперерабатывающих заводов с возможным вовлечением бензина газового стабильного.

В аппарате I (фракционирующий абсорбер по технологии [12] или ректификационная колонна по технологии [13]) происходит выделение из ШФЛУ этан-пропановой фракции, которая используется в качестве сырья пиролиза для заводов органического синтеза, а также как топливо для печей нефтехимических производств.

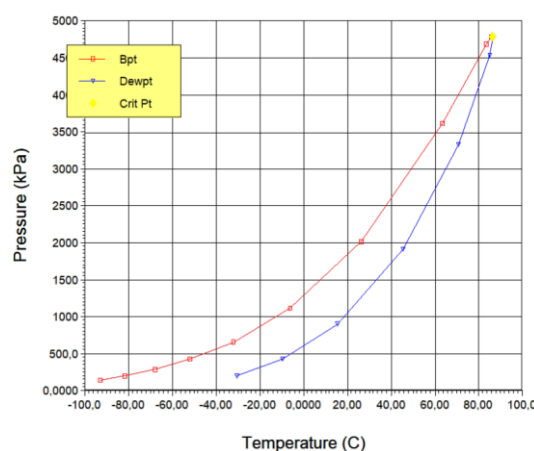


Рисунок 1. Кривые кипения и конденсации фракции углеводородов $C_1 \div C_3$ (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Figure 1. Evaporation and condensation curves of the hydrocarbon fraction $C_1 \div C_3$ (printout in Honeywell UniSim Design)

На колонне II производится дальнейшее разделение кубового продукта колонны I на легкую (пропан-бутановую) и тяжелую (пентан-гексановую) фракции. Из легкой фракции в аппарате III и разрезной колонне V выделяют пропан, изобутан и н-бутан. В аппарате IV и разрезной колонне VI выделяют гексановую фракцию, изопентан и н-пентан. Гексановая фракция используется в качестве абсорбента на колонне I [12].

Для действующих установок [12, 13] исследования по поиску технологических вариантов для предельно возможного уменьшения содержания пропана в ЭПФ проводили с использованием программной среды Honeywell UniSim Design [14]. Свойства компонентов технологических потоков рассчитывались по методу Peng-Robinson. В компонентный состав технологических потоков включены метан, этан, пропан, i-бутан, n-бутан, i-пентан, n-пентан, n-гексан, n-гептан, n-октан, n-нонан.

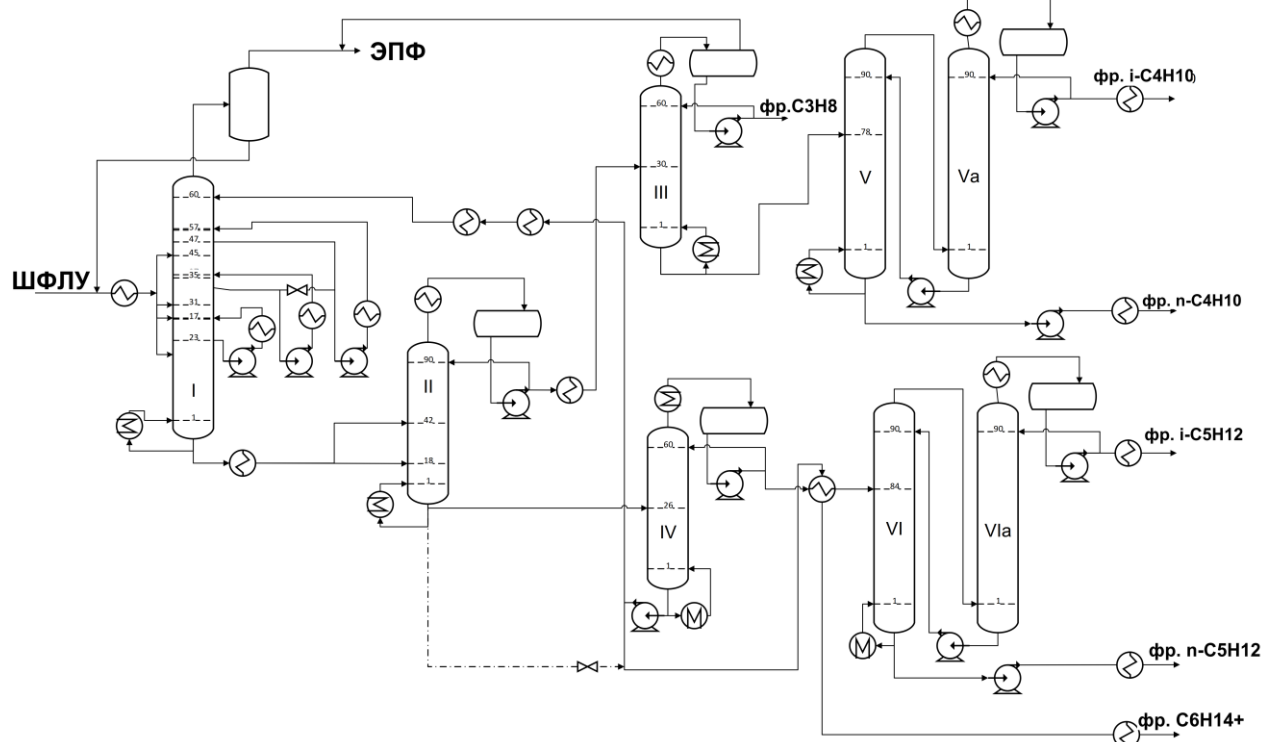


Рисунок 2. Схема газодифракционной установки
Figure 2. Scheme of gas fractionation plant

Результаты и обсуждение

В приведенной схеме газодифракционной установки (рисунок 2) после выделения ЭПФ верхом аппарата I её кубовый продукт (фракция C_3^+) подается на дальнейшее расфракционирование. Расчеты показали, что, если колонна I будет функционировать как деэтанizador (содержание этана в кубовом продукте порядка 0,001% мас.), то для достижения практического отсутствия пропана в дистилляте (содержание 0,01% мас.) необходимы следующие технологические режимы и конструкционные параметры аппарата: актуальное число тарелок $N_t = 88$, минимальное флегмовое число $R_{min} = 3,54$; температуры в конденсаторе и ребойлере $-95,6$ и $98,7$ °C соответственно, давление $P = 2000$ кПа.

При формировании ЭПФ в промышленных условиях для разделения смеси легких углеводородов не используют такие низкие температуры в веру аппарата и технологические режимы выбирают так, чтобы содержание этана в кубе колонны $C_{этан}^{куб} \rightarrow \min$ и содержание пропана в дистилляте $C_{пропан}^{верх} \rightarrow \min$. При этом с учётом термодинамических характеристик углеводородов в ЭПФ увлекается заметное количество пропана, причем его присутствие в этой фракции нежелательно, если фракция поступает на установку пиролиза, а в целом для установки это «потеря» пропана.

Если колонна I будет функционировать как депропанizador (содержание пропана в кубовом продукте порядка 0,03% мас.), то при содержании i-бутана в дистилляте 0,07% мас. можно использовать колонну с 30 тарелками, флегмовое число $R = 18$; температуры в конденсаторе и ребойлере $11,1$ и 109 °C соответственно, давление $P = 1550$ кПа. При этом, как видно из рисунка 1), поток верха колонны I может быть четко разделен на этановую и пропановую фракции.

Анализ приведенных оценок возможной работы колонны I показывает, что для промышленных установок [12, 13] целесообразным вариантом технологии разделения легких углеводородов ШФЛУ, отличным от схемы на рисунке 2, возможен способ разделения, когда в получаемую ЭПФ вовлекаются практически все углеводороды $C_1 \div C_3$ с их последующим разделением на этановую (ЭФ) и пропановую (ПФ) фракции.

На рисунке 3 показан фрагмент газодифракционной установки, в которой реализован такой технологический вариант, когда выбором технологических режимов в колонне выделения ЭПФ в кубовом продукте практически отсутствует пропан (соответственно метан и этан), разделение компонентов полученной ЭПФ на ЭФ и ПФ выполняется в дополнительной колонне, а кубовый продукт (фракция C_4^+) поступает на дальнейшее расфракционирование.

В технологической схеме с использованием для выделения ЭПФ ректификационной колонны (рисунок 3а) [13] сырьё (поток **шфлу 2**) подаётся на 19 тарелку колонны КР-1 (число тарелок 30, эффективность 0.8). Кубовый продукт (поток **фр. С4+**), имеющий в своём составе углеводороды C_4+ , подаётся на дальнейшее разделение, а дистиллят (поток **фр. С2-С3**) поступает на разделение в колонну КР-1/доп, верхом которой отбирается ЭФ (поток **фр_С2Н6**), а кубовый продукт – ПФ (поток **фр_С3Н8**).

Расчёты показали, что для четкого разделения ЭФ и ПФ (содержание этана в кубе 0,01% мас., содержание пропана в дистилляте 0,01% мас.) в ректификационной колонне КР-1/доп при давлении порядка 2450 кПа потребуется 21 теоретическая тарелка (актуальное число тарелок 60, тарелка питания 24), принятое флегмовое число 2,5.

Рассчитанные оценки режимных параметров и компонентный состав технологических

потоков колонн КР-1 и КР-1/доп приведены в таблице 1 и таблице 2. Видно, что в колонне КР-1 при температурах верха $T_v = 11^\circ\text{C}$ и низа $T_n = 109^\circ\text{C}$ (таблица 1а) в кубовом остатке (столбец фр. С4+ таблица 1б) присутствуют только углеводороды C_4+ и практически отсутствует пропан (содержание в потоке порядка 0,03% мас.). В колонне КР-1/доп при температурах в конденсаторе $T_{\text{конд}} = -1,9^\circ\text{C}$ и ребойлере $T_{\text{реб}} = 67,9^\circ\text{C}$ (таблица 2а) достигается четкое разделение этановой (столбец фр_С2Н6 таблица 2б) и пропановой фракций (столбец фр_С3Н8 таблица 2б). В ЭФ содержание пропана составляет 0,07% мас., в ПФ содержится порядка 0,07% мас. этана. Профиль изменения температуры по высоте колонн показан на рисунке 4.

В технологической схеме, показанной на рисунке 3б, для выделения ЭПФ используется фракционирующий абсорбер ФА-1 [12].

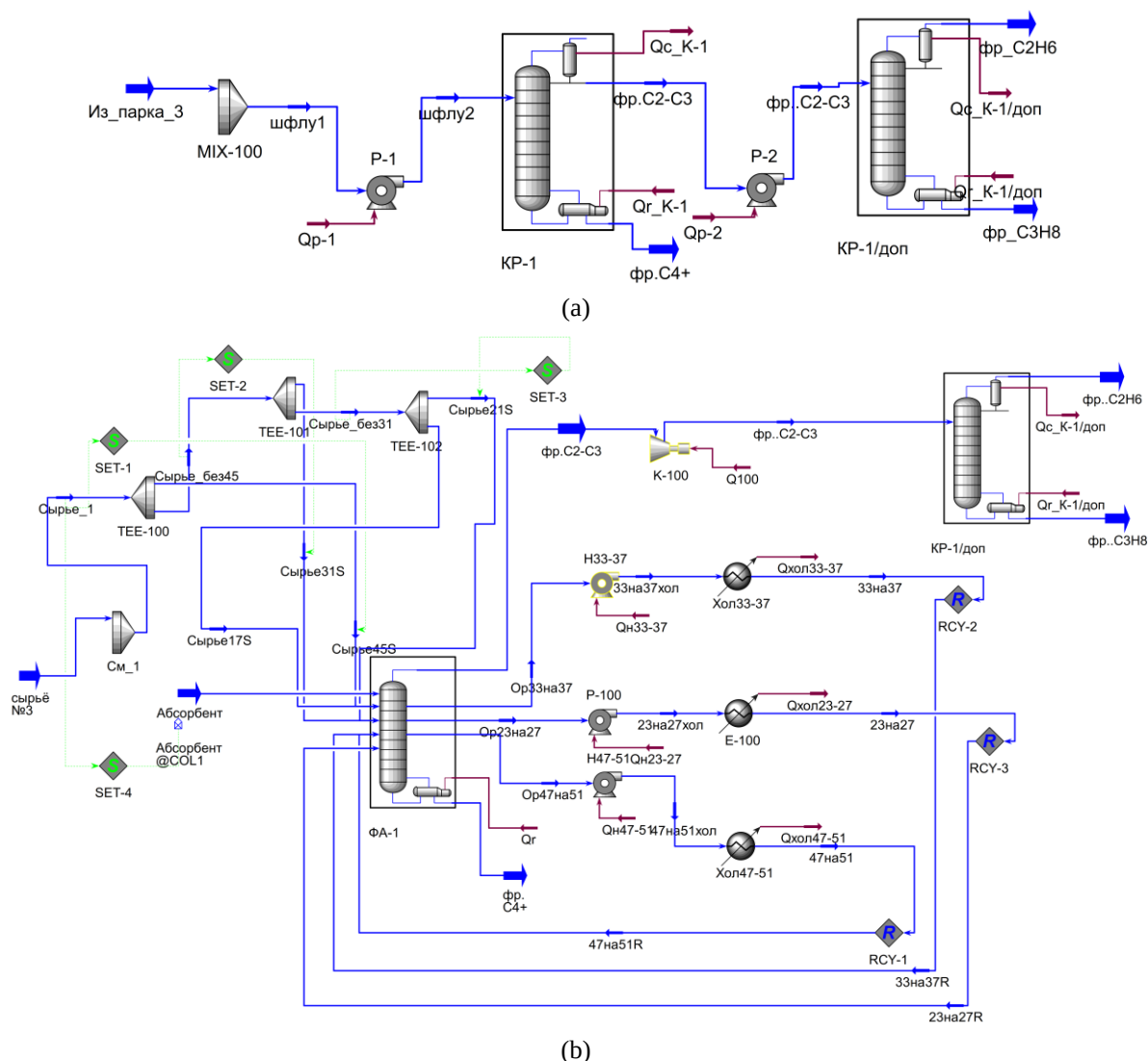


Рисунок 3. Фрагменты схемы выделения этан-пропановой фракции на газофракционирующей установке: (а) – ректификационное выделение; (б) – абсорбционное выделение (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Figure 3. Fragments of the scheme for separating the ethane-propane fraction at the gas fractionation unit: (a) distillation separation; (b) Absorptive release (Honeywell UniSim Design printout)

Фракция ШФЛУ (поток **сырьё № 3**) подаётся на 17, 21, 31 и 45 тарелки (число тарелок 60, эффективность контактных устройств 0.7). Абсорбентом является гексановая фракция установки. Кубовый продукт абсорбера (поток **фр. C4+**) по аналогии с технологической схемой на рисунке 3а

подаётся на дальнейшее разделение, а дистиллят (поток **фр. C2-C3**) после компримирования поступает на 24 тарелку колонны КР-1/доп для разделения на ЭФ (поток **фр.. C2Н6**) и ПФ (поток **фр.. C3Н8**).

Таблица 1.

Значения технологических режимов (а) и компонентный состав потоков (б) колонны КР-1, показанной на рисунке 3а, (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Table 1.

The values of technological regimes (a) and the component composition of flows (b) of the КР-1 column, shown in Figure 3а, (printout from Honeywell UniSim Design)

Name	шфлу2	фр.С4+	фр.С2-С3
Vapour	0,5606	0,0000	0,0000
Temperature [C]	77,86	109,0	11,09
Pressure [kPa]	2100	1590	1533
Molar Flow [kgmole/h]	1184	482,0	702,4
Mass Flow [kg/h]	5,785e+004	3,012e+004	2,773e+004
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	111,0	50,75	60,22
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,170e+005	-1,436e+005	-1,135e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	139,6	111,6	104,2
Heat Flow [kJ/h]	-1,386e+008	-6,922e+007	-7,971e+007

(a)

	шфлу2	фр.С4+	фр.С2-С3
Methane	0,010047	0,000000	0,016941
Ethane	0,175431	0,000000	0,295807
Propane	0,407285	0,000283	0,686559
i-Butane	0,091598	0,224099	0,000679
n-Butane	0,210339	0,516855	0,000015
i-Pentane	0,043665	0,107300	0,000000
n-Pentane	0,040212	0,098816	0,000000
n-Hexane	0,021424	0,052647	0,000000

(b)

Таблица 2.

Значения технологических режимов (а) и компонентный состав потоков (б) колонны КР-1/доп, показанной на рисунке 3а, (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Table 2.

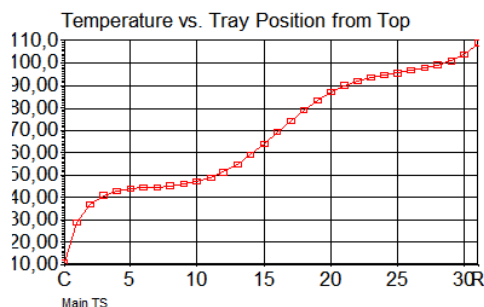
Values of technological regimes (a) and component composition of flows (b) column КР-1/доп, shown in Figure 3а, (printout from Honeywell UniSim Design)

Name	фр..С2-С3	фр_С3Н8	фр_С2Н6
Vapour	0,0000	0,0000	1,0000
Temperature [C]	12,35	67,91	-1,918
Pressure [kPa]	2600	2500	2450
Molar Flow [kgmole/h]	702,4	482,9	219,5
Mass Flow [kg/h]	2,773e+004	2,130e+004	6434
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	60,22	42,04	18,19
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,134e+005	-1,139e+005	-8,765e+004
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	104,3	109,3	159,9
Heat Flow [kJ/h]	-7,963e+007	-5,501e+007	-1,924e+007

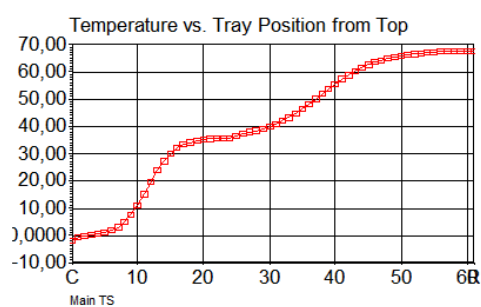
(a)

	фр..С2-С3	фр_С3Н8	фр_С2Н6
Methane	0,016941	0,000000	0,054221
Ethane	0,295807	0,000734	0,945123
Propane	0,686559	0,998257	0,000656
i-Butane	0,000679	0,000988	0,000000
n-Butane	0,000015	0,000021	0,000000
i-Pentane	0,000000	0,000000	0,000000
n-Pentane	0,000000	0,000000	0,000000
n-Hexane	0,000000	0,000000	0,000000

(b)



(a)



(b)

Рисунок 4. Температурный профиль по высоте колонн КР-1 (а) и КР-1/доп (б) для схемы, показанной на рисунке 3а, (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Figure 4. Temperature profile along the height of columns KP-1 (a) and KP-1/доп (b) for the scheme shown in Figure 3a, (printout in Honeywell UniSim Design)

В результате проведенного вычислительного эксперимента получили значения технологических режимов и компонентный состав потоков для фракционирующего абсорбера ФА-1 и ректификационной колонны КР-1/доп, показанные в таблице 3 и таблице 4.

Для аппарата ФА-1 рассчитанные температуры верха и в ребойлере составляют $T_{\text{верх}} = 42,38^\circ\text{C}$ и $T_{\text{реб}} = 116,4^\circ\text{C}$ соответственно (таблица 3а). В кубовом продукте (столбец фр. C4+ таблица 3б) присутствуют в основном углеводороды C₄+, а содержание пропана в потоке

составляет 0,14% мас. Для колонны КР-1/доп получены следующие параметры: температуры в конденсаторе $T_{\text{конд}} = 2,38^\circ\text{C}$ и ребойлере $T_{\text{реб}} = 72,1^\circ\text{C}$ (таблица 4а), флегмовое число $R = 8,73$. Достигнуто четкое разделение этановой (столбец фр. C2H6 таблица 4б) и пропановой (столбец фр. C3H8 таблица 4б) фракций. Содержание пропана в ЭФ составляет 0,007% мас., в ПФ содержится 0,07% мас. этана. Профиль изменения температуры по высоте колонн показан на рисунке 5.

Name	фр. C4+	фр. C2-C3
Vapour	0,0000	0,9751
Temperature [C]	116,4	42,38
Pressure [kPa]	1841	1840
Molar Flow [kgmole/h]	952,5	718,7
Mass Flow [kg/h]	5,909e+004	2,900e+004
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	99,84	61,96
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,415e+005	-9,999e+004
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	114,3	150,5
Heat Flow [kJ/h]	-1,348e+008	-7,187e+007

(a)

	фр. C4+	фр. C2-C3
Methane	0,000000	0,008519
Ethane	0,000000	0,256895
Propane	0,001407	0,731224
i-Butane	0,221895	0,001114
n-Butane	0,511362	0,000494
i-Pentane	0,131991	0,000008
n-Pentane	0,118088	0,000061
n-Hexane	0,015257	0,001686

(b)

Рисунок 5. Значения технологических режимов (а) и компонентный состав потоков (б) фракционирующего абсорбера ФА-1, показанного на рисунке 3б, (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Figure 5. The values of technological regimes (a) and the component composition of flows (b) of the fractionating absorber ФА-1, shown in Figure 3b, (printout from Honeywell UniSim Design)

Таблица 3.

Значения технологических режимов (а) и компонентный состав потоков (б) колонны КР-1/доп, показанной на рисунке 3б, (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Table 3.

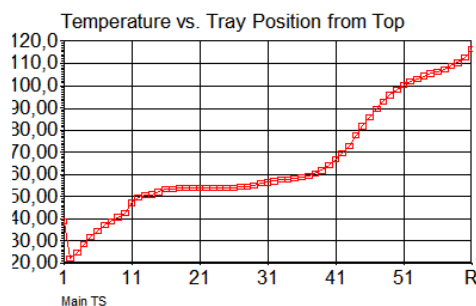
The values of technological regimes (a) and the component composition of the flows (b) of the column КР-1/доп, shown in Figure 3b, (printout from Honeywell UniSim Design)

Name	фр. C2-C3	фр. C3H8	фр. C2H6
Vapour	1,0000	0,0000	1,0000
Temperature [C]	62,97	72,08	2,383
Pressure [kPa]	2700	2700	2650
Molar Flow [kgmole/h]	718,7	528,4	190,4
Mass Flow [kg/h]	2,900e+004	2,336e+004	5639
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	61,96	46,05	15,91
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-9,904e+004	-1,134e+005	-8,788e+004
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	151,2	111,5	159,1
Heat Flow [kJ/h]	-7,119e+007	-5,993e+007	-1,673e+007

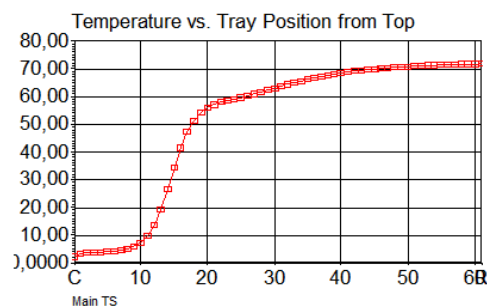
(a)

	фр..C2-C3	фр..C3H8	фр..C2H6
Methane	0,008519	0,000000	0,032159
Ethane	0,256895	0,000735	0,967772
Propane	0,731224	0,994691	0,000070
i-Butane	0,001114	0,001515	0,000000
n-Butane	0,000494	0,000672	0,000000
i-Pentane	0,000008	0,000011	0,000000
n-Pentane	0,000061	0,000083	0,000000
n-Hexane	0,001686	0,002294	0,000000

(b)



(a)



(b)

Рисунок 6. Температурный профиль по высоте фракционирующего абсорбера ФА-1 (а) и колонны КР-1/доп (b), показанных на рисунке 3b, (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Figure 6. Temperature profile along the height of the fractionating absorber ФА-1 (a) and column КР-1/доп (b) shown in Figure 3b, (printout in Honeywell UniSim Design)

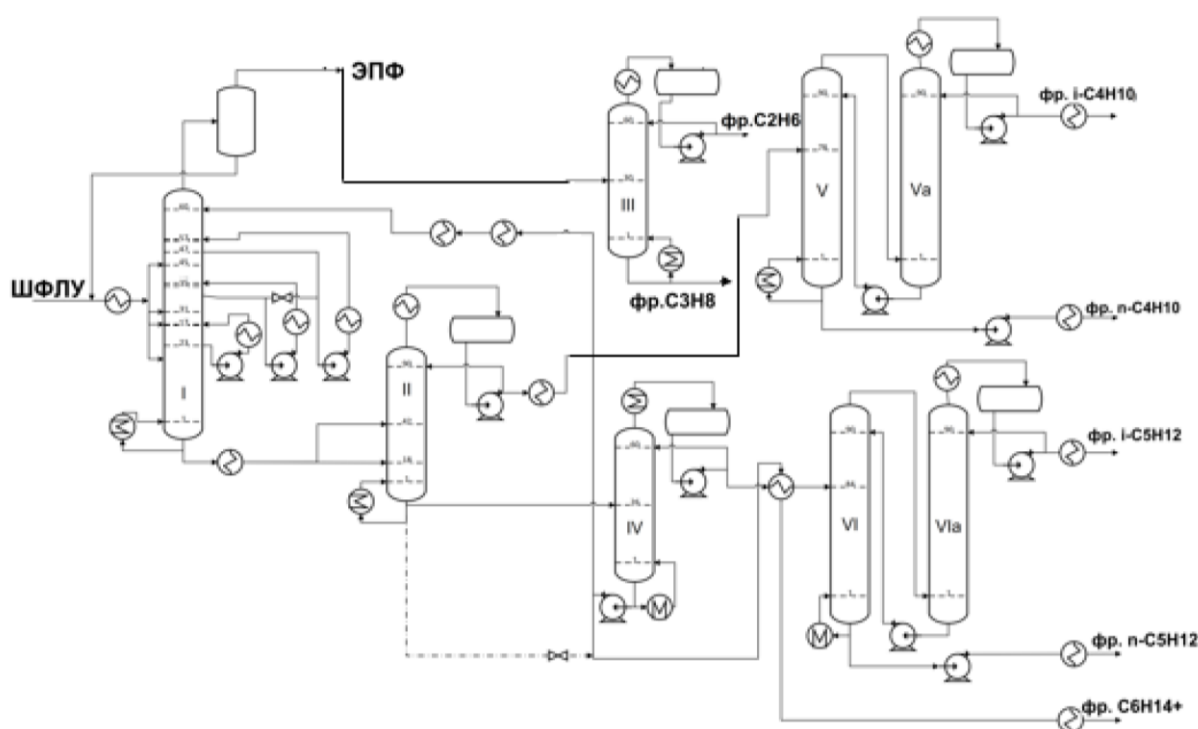


Рисунок 7. Изменённая схема газодифракционной установки

Figure 7. Modified scheme of the gas fractionation plant

Проведенные расчеты показывают целесообразность изменения технологической схемы действующей установки с соответствующей переобвязкой оборудования. При этом в качестве колонны КР-1/доп может быть использована «высвобожденная» колонна III (см. рисунок 2).

Вариант измененной схемы показан на рисунке 6, где поток ЭПФ подается на ректификационную колонну III, а кубовый продукт колонны I, содержащий углеводороды C_4+ , поступает на питание колонны II для разделения бутанов от более тяжелых фракций. Дистиллят этой

колонны подаётся на колонны V и Va для получения изобутановой (фр.і-С4Н10) и бутановой (фр.п-С4Н10) фракций. Назначение остальных аппаратов и потоков схемы не изменяется.

Заключение

Анализ компонентного состава этан-пропановой фракции, получаемой на действующих газодифракционирующих установках из ШФЛУ, показывает, что из-за недостаточно чёткого разделение легких углеводородов C₁÷C₃ в ЭПФ наблюдается высокое содержание пропана. ЭПФ используется на установке пиролиза, где целевым полупродуктом получают этилен, следовательно, в промышленных условиях необходимо обеспечить предельно возможное извлечение пропана из состава ЭПФ.

В технологической схеме установок [12,13] ЭПФ получают с использованием дифракционирующего абсорбера или ректификационной колонны. В обоих вариантах ЭПФ отбирается верхом аппаратов, а кубовый продукт, содержащий углеводороды C₃+, подаётся на дальнейшее расфракционирование.

С целью анализа работы газодифракционирующих установок в программной среде Honeywell

UniSim Design разработана модель установки. Проведенный вычислительный эксперимент с использованием различных промышленных значений содержания углеводородов в ШФЛУ показал, что для достижения предельно возможного извлечения пропана из ЭПФ необходимо в получаемую на дифракционирующем абсорбере (или ректификационной колонне) ЭПФ вовлечь весь пропан так, чтобы в кубовом продукте аппарата была только фракция углеводородов C₄+, направляемая на дальнейшее разделение. Полученная таким образом ЭПФ направляется в дополнительную ректификационную колонну, в которой обеспечивается четкое разделение на этановую (дистиллят колонны) и пропановую (кубовый продукт колонны) фракции, при этом в полученных фракциях достигаются показатели по концентрированию, улучшающие соответствующие показатели норм по ТУ 0272–022–00151638–99.

Разработанные модели могут использоваться для оптимизации режимов работы промышленных аппаратов и проектирования новых установок, а также для обучения технологов приемам квалифицированного ведения процесса.

Литература

- 1 Технические условия ТУ 38.101524–2015. Фракция широкая легких углеводородов.
- 2 Технические условия ТУ 0272–022–00151638–99. Фракция этановая.
- 3 Технические условия ТУ 0272–022–00151638–99. Фракция пропановая.
- 4 Хабибрахманова О.В., Попов С.В., Крымкин Н.Ю., Файзрахманов И.И. Исследование вариантов совершенствования работы абсорбера установки газодифракционирования широкой фракции легких углеводородов // Химическая промышленность сегодня. 2021. № 1. С. 46–49.
- 5 Ткачева Т.А., Ханин В.П. Оптимизация технологического процесса установки низкотемпературной ректификации природного газа // Научный альманах. 2016. № 4–3 (18). С. 430–433.
- 6 Магарил Р.З., Рогалев М.С., Клевцов А.Е. Анализ зависимости эффективности работы колонны деэтанзации от давления в системе ректификации // Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 55-летию Тюменского государственного нефтегазового университета. Тюмень, 2011. С. 193–196.
- 7 Ластовецкий Е.Н. Оптимизация работы узла деэтанзации установки низкотемпературной абсорбции с целью повышения степени извлечения целевых компонентов // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Международной научно-практической конференции. 2016. С. 189–191.
- 8 Авторское свидетельство № 1509394, SU, C10G 7/02. Способ деэтанзации углеводородного сырья / Сиротин А.М., Бекиров Т.М.О., Буракевич П.Ф. № 4249680; Заявл. 25.05.1987; Опубл. 23.09.1989.
- 9 May E.F., Guo J.Y., Oakley J.H., Hughes T.J. et al. Reference quality vapor–liquid equilibrium data for the binary systems methane+ ethane, + propane, + butane, and + 2-methylpropane, at temperatures from (203 to 273) K and pressures to 9 MPa // Journal of Chemical & Engineering Data. 2015. V. 60. №. 12. P. 3606–3620. doi: 10.1021/acs.jced.5b00610
- 10 Пат. № 2275223, RU, B01D 3/14, F25J 3/00. Установка получения пропана / Шеин О.Г., Калачева Л.И. № 2004122665/15; Заявл. 23.07.2004; Опубл. 27.04.2006, Бюл. № 12.
- 11 Пат. № 2443669, RU, C07C 9/08, 7/04, B01D 3/14, B01D 3/42. Способ получения пропана из этан-пропановой фракции или углеводородных фракций и переработки углеводородного сырья (углеводородных фракций) / Зиаев Р.Р., Зиаев Э.Р. № 2010132622/04; Заявл. 03.08.2010; Опубл. 27.02.2012, Бюл. № 6.
- 12 Yang G., Hu H., Ding G., Chen J. et al. Influence of component proportion on heat transfer characteristics of ethane/propane mixture flow condensation in shell side of helically baffled shell-and-tube heat exchanger // Experimental Thermal and Fluid Science. 2018. V. 97. P. 381–391. doi: 10.1016/j.expthermflusci.2018.05.006
- 13 Nilsson E.J.K., van Sprang A., Larfeldt J., Konnov A.A. The comparative and combined effects of hydrogen addition on the laminar burning velocities of methane and its blends with ethane and propane // Fuel. 2017. V. 189. P. 369–376. doi: 10.1016/j.fuel.2016.10.103
- 14 Li S., Cai W., Chen J., Zhang H. et al. Numerical study on condensation heat transfer and pressure drop characteristics of ethane/propane mixture upward flow in a spiral pipe // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2018. V. 121. P. 170–186. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.12.140

- 15 Kamada T., Nakamura H., Tezuka T., Hasegawa S. et al. Study on combustion and ignition characteristics of natural gas components in a micro flow reactor with a controlled temperature profile // *Combustion and Flame*. 2014. V. 161. №. 1. P. 37-48. doi: 10.1016/j.combustflame.2013.08.013
- 16 Helmig D., Rossabi S., Hueber J., Tans P. et al. Reversal of global atmospheric ethane and propane trends largely due to US oil and natural gas production // *Nature Geoscience*. 2016. V. 9. №. 7. P. 490-495. doi: 10.1038/ngeo2721
- 17 Yang G., Ding G., Chen J., Yang W. et al. Shell side condensation heat transfer characteristics of ethane/propane mixtures // *Applied Thermal Engineering*. 2021. V. 194. P. 117017. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117017
- 18 Kondo W., Ohtsuka K., Ohmura R., Takeya S. et al. Clathrate-hydrate formation from a hydrocarbon gas mixture: Compositional evolution of formed hydrate during an isobaric semi-batch hydrate-forming operation // *Applied Energy*. 2014. V. 113. P. 864-871. doi: 10.1016/j.apenergy.2013.08.033
- 19 Yoonho L. LNG-FSRU cold energy recovery regasification using a zeotropic mixture of ethane and propane // *Energy*. 2019. V. 173. P. 857-869. doi: 10.1016/j.energy.2019.02.111
- 20 Glein C.R., Shock E.L. A geochemical model of non-ideal solutions in the methane-ethane-propane-nitrogen-acetylene system on Titan // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2013. V. 115. P. 217-240. doi: 10.1016/j.gca.2013.03.030

References

- 1 Technical specifications of TU 38.101524–2015. The fraction is wide of light hydrocarbons. (in Russian).
- 2 Technical specifications of TU 0272-022-00151638-99. The ethane fraction. (in Russian).
- 3 Technical specifications of TU 0272-022-00151638-99. The propane fraction. (in Russian).
- 4 Khabibrakhmanova O.V., Popov S.V., Krymkin N.Yu., Fayzrakhmanov I.I. Investigation of options for improving the operation of the absorber of a gas fractionation unit for a wide fraction of light hydrocarbons. *Chemical Industry today*. 2021. no. 1. pp. 46-49. (in Russian).
- 5 Tkacheva T.A., Khanin V.P. Optimization of technological process of installation of low-temperature rectification of natural gas. *Scientific Almanac*. 2016. no. 4-3 (18). pp. 430-433. (in Russian).
- 6 Magaril R.Z., Rogalev M.S., Klevtsov A.E. Analysis of the dependence of the efficiency of the deethanization column on pressure in the rectification system. Materials of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 55th anniversary of the Tyumen State Oil and Gas University. Tyumen, 2011. pp. 193-196. (in Russian).
- 7 Lastovetskiy E.N. Optimization of the operation of the deethanization unit of the low-temperature absorption unit in order to increase the degree of extraction of target components. New technologies - oil and gas region: materials of the International Scientific and Practical Conference. 2016. pp. 189-191. (in Russian).
- 8 Sirotin A.M., Bekirov T.M.O., Burakevich P.F. Method of deethanization of hydrocarbon raw materials. Patent SU, no. 1509394, 1989.
- 9 May E.F., Guo J.Y., Oakley J.H., Hughes T.J. et al. Reference quality vapor-liquid equilibrium data for the binary systems methane+ ethane, + propane, + butane, and + 2-methylpropane, at temperatures from (203 to 273) K and pressures to 9 MPa. *Journal of Chemical & Engineering Data*. 2015. vol. 60. no. 12. pp. 3606-3620. doi: 10.1021/acs.jced.5b00610
- 10 Shein O.G., Kalacheva L.I. Propane production plant. Patent RF, no. 2275223, 2006.
- 11 Ziaev R.R., Ziaev E.R. Method of obtaining propane from ethane-propane fraction or hydrocarbon fractions and processing of hydrocarbon raw materials (hydrocarbon fractions). Patent RF, no. 2443669, 2012.
- 12 Yang G., Hu H., Ding G., Chen J. et al. Influence of component proportion on heat transfer characteristics of ethane/propane mixture flow condensation in shell side of helically baffled shell-and-tube heat exchanger. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2018. vol. 97. p. 381-391. doi: 10.1016/j.expthermflusci.2018.05.006
- 13 Nilsson E.J.K., van Sprang A., Larfeldt J., Konnov A.A. The comparative and combined effects of hydrogen addition on the laminar burning velocities of methane and its blends with ethane and propane. *Fuel*. 2017. vol. 189. pp. 369-376. doi: 10.1016/j.fuel.2016.10.103
- 14 Li S., Cai W., Chen J., Zhang H. et al. Numerical study on condensation heat transfer and pressure drop characteristics of ethane/propane mixture upward flow in a spiral pipe. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2018. vol. 121. pp. 170-186. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.12.140
- 15 Kamada T., Nakamura H., Tezuka T., Hasegawa S. et al. Study on combustion and ignition characteristics of natural gas components in a micro flow reactor with a controlled temperature profile. *Combustion and Flame*. 2014. vol. 161. no. 1. pp. 37-48. doi: 10.1016/j.combustflame.2013.08.013
- 16 Helmig D., Rossabi S., Hueber J., Tans P. et al. Reversal of global atmospheric ethane and propane trends largely due to US oil and natural gas production. *Nature Geoscience*. 2016. vol. 9. no. 7. pp. 490-495. doi: 10.1038/ngeo2721
- 17 Yang G., Ding G., Chen J., Yang W. et al. Shell side condensation heat transfer characteristics of ethane/propane mixtures. *Applied Thermal Engineering*. 2021. vol. 194. pp. 117017. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117017
- 18 Kondo W., Ohtsuka K., Ohmura R., Takeya S. et al. Clathrate-hydrate formation from a hydrocarbon gas mixture: Compositional evolution of formed hydrate during an isobaric semi-batch hydrate-forming operation. *Applied Energy*. 2014. vol. 113. pp. 864-871. doi: 10.1016/j.apenergy.2013.08.033
- 19 Yoonho L. LNG-FSRU cold energy recovery regasification using a zeotropic mixture of ethane and propane. *Energy*. 2019. vol. 173. pp. 857-869. doi: 10.1016/j.energy.2019.02.111
- 20 Glein C.R., Shock E.L. A geochemical model of non-ideal solutions in the methane-ethane-propane-nitrogen-acetylene system on Titan. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2013. vol. 115. pp. 217-240. doi: 10.1016/j.gca.2013.03.030

Сведения об авторах

Марк В. Воронов магистрант, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, chemicaluniversity@mail.ru

Сергей В. Попов к.т.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, svpopov2018@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

Оксана В. Хабибрахманова к.х.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, chemicaluniversity@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1523-9861>

Андрей Д. Юлин магистрант, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, chemicaluniversity@mail.ru

Вклад авторов

Марк В. Воронов обзор литературных источников по исследуемой проблеме, разработал модели и провел вычислительный эксперимент

Сергей В. Попов написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Оксана В. Хабибрахманова, Андрей Д. Юлин обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Mark V. Voronov master student, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru

Sergey V. Popov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

Oksana V. Khabibrakhmanova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1523-9861>

Andrey D. Yulin master student, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru

Contribution

Mark V. Voronov review of the literature on an investigated problem, developed models and conducted a computational experiment

Sergey V. Popov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Oksana V. Khabibrakhmanova, Andrey D. Yulin review of the literature on an investigated problem

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/12/2022	После редакции 23/01/2023	Принята в печать 15/02/2023
Received 20/12/2022	Accepted in revised 23/01/2023	Accepted 15/02/2023

Оптимизация технологических режимов колонны деизопентанизатора подготовки сырьевого потока установки низкотемпературной изомеризации ПГИ-ДИГ/280-НК

Евгения Е. Беденко	¹	chemicaluniversity@mail.ru	.
Артемию А. Береговский	²	chemicaluniversity@mail.ru	.
Сергей В. Попов	¹	svpopov2018@ya.ru	 0000-0003-0533-9049
Оксана В. Хабибрахманова	¹	chemicaluniversity@mail.ru	 0000-0002-1523-9861

¹ Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия

² Уфимский государственный нефтяной технический университет, ул. Космонавтов, 1, Уфа, Респ. Башкортостан, 450062, Россия

Аннотация. Сырьевые фракции, используемые на установках изомеризации, содержат изопентан, являющийся целевым продуктом, а его присутствие в сырье, как «балласта», занимает полезный объем реактора. Для оптимизации состава перерабатываемого сырья на ряде предприятий в технологическую схему включена колонна деизопентанизатора. В работе оценивается возможность оптимизации технологических режимов и конструктивных параметров деизопентанизатора для установки низкотемпературной изомеризации, не имеющей в технологической схеме колонны для извлечения изопентана из состава сырья. Исследования проводили с использованием моделирующей системы Honeywell UniSim Design. Свойства компонентов фракций рассчитывались по методу Peng-Robinson. Расчеты выполнены для двух видов сырья, имеющих в своем составе 8,7÷19,7% мас. изопентана. Выполненными расчетами установлено, что для достижения практически полного извлечения изопентана, находящегося в сырьевом потоке из секции гидроочистки, ректификационная колонна должна содержать 63 теоретических тарелки, а минимальное флегмовое число должно быть $R_{\min}=12,3$. При этом в дистилляте колонны присутствие нормального пентана составит величину не более 0,07% мас., а в кубовом продукте содержание изопентана – также не более 0,07% мас. Моделируется работа ректификационной колонны, содержащей 80 тарелок (эффективность контактного устройства 0,8), тарелка питания – 33. Расход сырья 62550 кг/ч, температура 40°C и давление 294,2 кПа. Сходимость итерационных процессов средой Honeywell UniSim Design получена с использованием активных спецификаций: содержание изопентана в кубе 0,0007 мас.доля и пентана в дистилляте 0,0007 мас.доля. Полученные технологические режимы обеспечивают практически полное извлечение изопентана из состава сырья, а именно на 99,37÷99,7%, при этом для промышленных условий существенным является реализация рассчитанного профиля температур по высоте колонны. Показана возможность использования колонны с одинаковым диаметром в её исчерпывающей и укрепляющей частях.

Ключевые слова: изомеризация, октановое число, колонна деизопентанизатора, моделирование, Honeywell UniSim Design

Optimization of technological regimes of the deisopentanizer column for the preparation of the feed stream of the low-temperature isomerization unit PGI-DIG/280-NK

Evgenia E. Bedenko	¹	chemicaluniversity@mail.ru	.
Artemiy A. Beregovsky	²	chemicaluniversity@mail.ru	.
Sergey V. Popov	¹	svpopov2018@ya.ru	 0000-0003-0533-9049
Oksana V. Khabibrakhmanova	¹	chemicaluniversity@mail.ru	 0000-0002-1523-9861

¹ State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia

² Ufa State Oil Technical University, st. Kosmonavtov, 1, Ufa, Republic of Bashkortostan, 446200, Russia

Abstract. Raw fractions used in isomerization plants contain isopentane, which is the target product, and its presence in the feed as “ballast” occupies the useful volume of the reactor. To optimize the composition of processed raw materials, a number of enterprises have included a deisopentanizer column in the technological scheme. The paper evaluates the possibility of optimizing the technological regimes and design parameters of a deisopentanizer for a low-temperature isomerization unit that does not have a column in the technological scheme for extracting isopentane from the composition of the feedstock. The studies were carried out using the Honeywell UniSim Design modeling system. The properties of the fraction components were calculated using the Peng-Robinson method. Calculations were made for two types of raw materials containing 8.7÷19.7% wt. isopentane. The performed calculations established that in order to achieve almost complete recovery of isopentane in the feed stream from the hydrotreating section, the distillation column should contain 63 theoretical plates, and the minimum reflux ratio should be $R_{\min}=12.3$. At the same time, the presence of normal pentane in the distillate of the column will not exceed 0.07% wt., and in the bottom product, the content of isopentane will also not exceed 0.07% wt. The operation of a distillation column is simulated, containing 80 plates (the efficiency of the contact device is 0.8), a feed plate is 33. The feedstock consumption is 62550 kg/h, the temperature is 40°C and the pressure is 294.2 kPa. The convergence of iterative processes by the Honeywell UniSim Design environment was obtained using active specifications: the content of isopentane in the cube is 0.0007 wt. share and pentane in the distillate 0.0007 wt. share. The obtained technological modes provide almost complete extraction of isopentane from the composition of the raw material, namely by 99.37÷99.7%, while for industrial conditions it is essential to implement the calculated temperature profile along the height of the column. The possibility of using a column with the same diameter in its exhaustive and strengthening parts is shown.

Keywords: isomerization, octane, deisopentanizer column, modeling, Honeywell UniSim Design

Для цитирования

Беденко Е.Е., Береговский А.А., Попов С.В., Хабибрахманова О.В. Оптимизация технологических режимов колонны деизопентанизатора подготовки сырьевого потока установки низкотемпературной изомеризации ПГИ-ДИГ/280-НК // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 204–211. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-204-211

For citation

Bedenko E.E., Beregovsky A.A., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V. Optimization of technological regimes of the deisopentanizer column for the preparation of the feed stream of the low-temperature isomerization unit PGI-DIG/280-NK. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 204–211. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-204-211

Введение

При производстве товарных бензинов особое значение имеет процесс изомеризации бензиновых фракций – превращение линейных углеводородов в соединения с разветвленной цепью, которые имеют более высокое октановое число. Его использование позволяет сократить долю ароматических углеводородов, в том числе бензола, снизить содержание серы и олефинов, что удовлетворяет современные требования к качеству автомобильных бензинов [1]. К тому же изомеризация бензиновой фракции позволяет снизить расхождение значений октановых чисел, измеряемых по моторному и исследовательскому методам.

В связи с ужесточением экологических норм и повышением требований к качеству получаемых топлив вопрос совершенствования технологии изомеризации бензиновой фракции на сегодняшний день остаётся актуальным и исследования по совершенствованию процесса и его аппаратного оформления проводятся в различных направлениях. Так, например, исследование кинетики процесса и оптимизация реакционных аппаратов проводится в работе [2]. С целью увеличения производительности реактора в изобретении [3] предлагаются конструктивные изменения аппарата. В исследовании [4] рассматривается способ изомеризации легких бензиновых фракций, затрагивающий контактирование сырья процесса с катализатором, содержащим гидрирующий компонент, оксиды металлов 3В, 4А, 7А, 8А групп периодической системы элементов и кислородсодержащий ион серы.

В большом количестве работ рассматриваются вопросы совершенствования технологии подготовки сырья и разделения компонентов изомеризата. В частности, в патенте [5] предложен адсорбционный способ выделения нормальных парафинов из продукта реакции, что позволяет достичь октанового числа изомеризата 89 пунктов. В работе [6] оценивается возможность снижения энергозатрат в секции разделения установки изомеризации.

Сырьевые фракции, используемые на установках изомеризации содержат изопентан, являющийся целевым продуктом, а его присутствие в сырье, как «баласта», занимает полезный объем реактора. Поэтому вопросы оптимизации состава перерабатываемого сырья рассматриваются во многих исследованиях. В литературных и патентных источниках описаны способы включения в технологическую схему колонн деизопентанизаторов для выделения изопентана из сырьевого потока [7–12]. В [7] результаты исследований получены с использованием комплексной математической модели «HYSYS IZOMER ACTIV».

В патенте RU2 478 601 [9] расчеты выполнены с использованием программы PRO-II. В качестве сырья рассматривается фракция 75–85 °С прямогонного бензина, содержащая 20 и 40% мас. изопентана и пентана соответственно, и не содержащая балластных для реактора бутан. Предлагается использовать деизопентанизатор для выделения из сырьевого потока изопентана. Технологические параметры колонны: давление в колонне от 2 до 4,15 кг/см², температура верха от 48,5 до 73,8 °С; температура низа от 71,9 до 116,8 °С, оценки флегмового числа не приводятся.

Существенным недостатком предложенных технологических режимов колонны является нечеткое разделение компонентов смеси – присутствие пентана в дистилляте в количестве 0.5% мас. и изопентана в кубовом продукте порядка 0.5% мас. даже при использовании в колонне 68 теоретических тарелок.

Также нечеткое разделение компонентов сырьевой смеси достигается в деизопентанизаторе подготовки сырья [10] при использовании в колонне 65 теоретических тарелок и давлении верха и низа 3 и 4 кг/см² соответственно – содержание пентана в дистилляте составляет величину порядка 4,4% мас.

При использовании в качестве деизопентанизатора подготовки сырья сложной ректификационной колонны для достижения требуемой четкости разделения компонентов сырьевого потока потребуется существенный расход потока флегмы [11,12].

Цель работы – оптимизация технологических режимов и оценка конструктивных параметров деизопентанизатора для установки низкотемпературной изомеризации, не имеющей в технологической схеме колонны деизопентанизатора для извлечения изопентана из состава сырья.

Методы

Сырьем типовой установки низкотемпературной изомеризации ПГИ-ДИГ/280-НК является фракция НК-80 °С с установки АВТ или смесь фракции НК-80 °С с фракцией 60–90 °С. На рисунке 1 представлен фрагмент технологической схемы блока изомеризации такой установки, на вход которого поступает продукт от секции гидроочистки [13].

В соответствии с технологической схемой обезвоженное сырье от аппаратов DR-201A/B после предварительного нагрева поступает в реактор гидрогенизации (на схеме не показан) и затем направляется в реакторы изомеризации. В таблице 1 показаны возможные промышленные составы сырья.

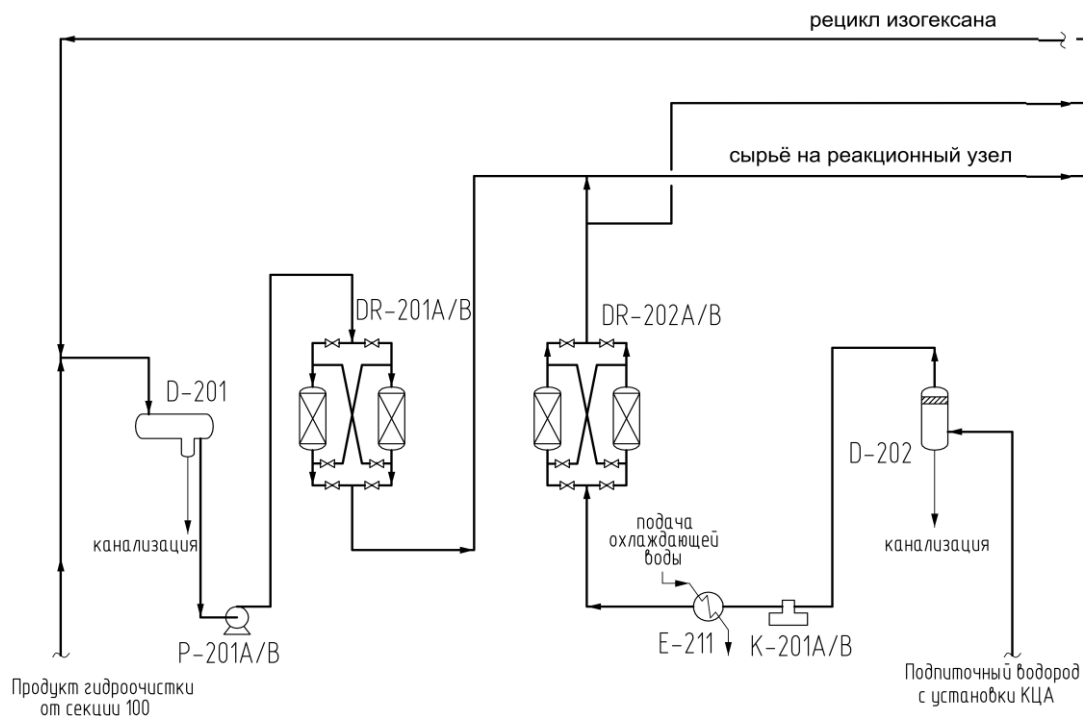


Рисунок 1. Фрагмент технологической схемы блока низкотемпературной изомеризации установки ПГИ-ДИГ/280-НК

Figure 1. Fragment of the technological scheme of the low-temperature isomerization block of the installation ПГИ-ДИГ/280-НК

Таблица 1.

Состав потока, поступающего в реактор
изомеризации первой ступени

Table 1.

The composition of the stream entering the first stage isomerization reactor

Компоненты Components	Состав сырья № 1, %мас. Content, %	Состав сырья № 2, %мас. Content, %
<i>и-С₄</i>	0.0048	0.5000
<i>н-С₄</i>	0.3533	6.4000
<i>и-С₅</i>	8.7181	19.7000
<i>н-С₅</i>	12.9660	26.9000
2,2-МБ	1.4213	0.2000
2,3-МБ	4.3822	1.9000
2-МП	20.8848	12.8000
3-МП	14.3410	8.3000
<i>н-С₆</i>	15.7783	13.7000
ЦП	1.9857	4.3000
МЦП	6.2384	3.4000
БЕНЗОЛ	5.7108	0.9000
ЦГ	3.1320	0.6000
<i>н-С₇</i>	3.4438	0.2000
МЦГ	0.3965	0.1000
1,1-МЦГ	0.2430	0.1000
ВСЕГО	100.0000	100.0000

Из таблицы 1 видно, что в составе потока сырья содержится $8,7 \div 19,7\%$ мас. изопентана, который является целевым продуктом установки. Его присутствие приводит к уменьшению полезного реакционного объема реакторов изомеризации. В связи с этим для предприятий, не имеющих в технологической схеме установки изомеризации

колонны выделения изопентана, практический интерес представляет оценка оптимальных технологических режимов и конструкционных параметров колонны для извлечения изопентана из состава сырья. Исследования проводили с использованием моделирующей программной среды Honeywell UniSim Design [14–20]. В качестве математического пакета для расчета термодинамических свойств компонентов технологических потоков использовали метод Peng-Robinson.

Результаты и обсуждение

На рисунке 2 показан вариант технологической схемы с включением в ее состав дополнительной ректификационной колонны **Кдоп**. Колонна **Кдоп** расположена после осушителей сырья DR-201A/B до точки смешения сырья блока с водородом. Схема колонны показана на рисунке 3.

На питание колонны **Кдоп** поступает поток **сырьё колонны**, выходящий из аппаратов DR-201A/B. Компонентный состав и значения технологических параметров данного потока представлены в таблице 2.

Верхом колонны отбирается поток изопентана (поток **фр-ис5**), который является целевым продуктом установки, а кубовый остаток (поток **сырье-наР**) направляют в реактор гидрогенизации бензола.

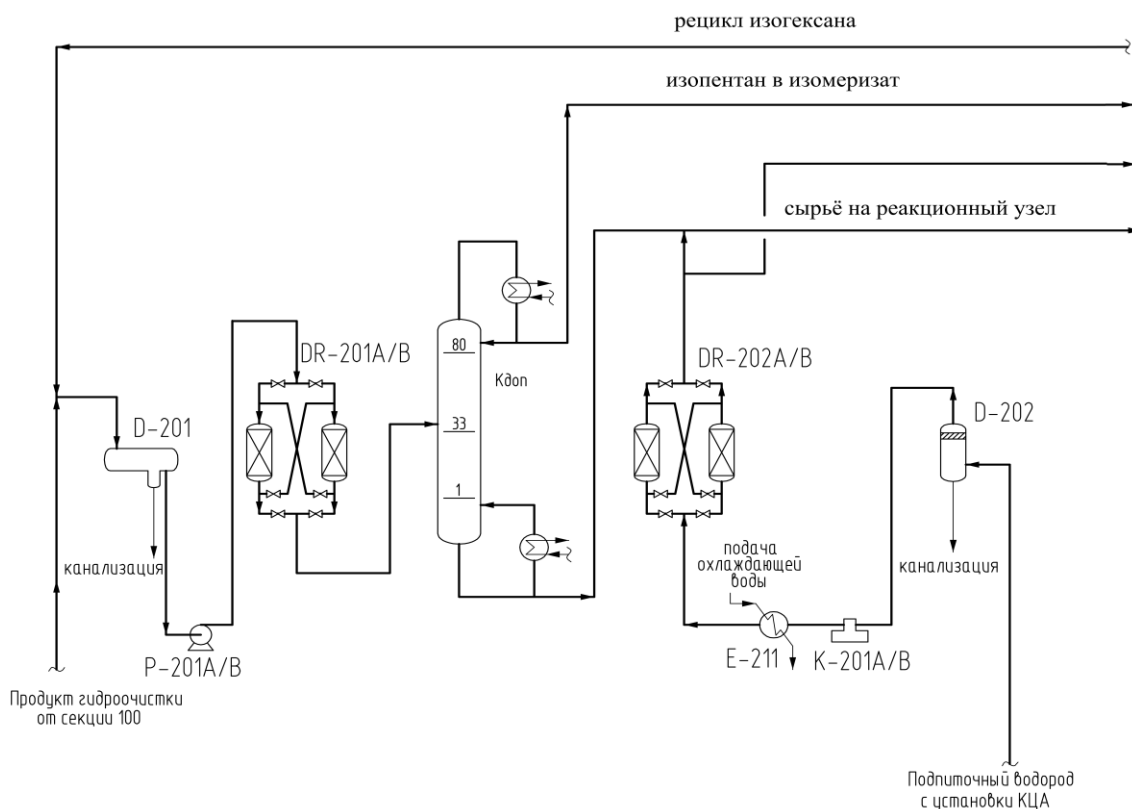


Рисунок 2. Фрагмент измененной технологической схемы блока изомеризации установки ПГИ-ДИГ/280-НК с включением дополнительной колонны извлечения изопентана Кдон

Figure 2. A fragment of the modified process flow diagram of the isomerization block of the PGI-DIG/280-NK unit with the inclusion of an additional isopentane recovery column Кдон

Таблица 2.
Значения технологических параметров (а) и компонентный состав (б) сырья колонны Кдон
(распечатка в Honeywell UniSim Design)

Table 2.
Values of technological parameters (a) and component composition (b) of the feedstock of the Kdon column
(printout in Honeywell UniSim Design)

Stream Name	сырьё+Кдон
Vapour / Phase Fraction	0,0000
Temperature [C]	40,00
Pressure [kPa]	294,2
Molar Flow [kgmole/h]	762,6
Mass Flow [kg/h]	6,255e+004
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	92,77
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,708e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	9,505
Heat Flow [kJ/h]	-1,302e+008
Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	92,23

(a)

	MassFraction
i-Butane	0,000048
n-Butane	0,003533
i-Pentane	0,087181
n-Pentane	0,129660
22-Mbutane	0,014213
23-Mbutane	0,043822
2-Mpentane	0,208848
3-Mpentane	0,143410
n-Hexane	0,157783
Cyclopentane	0,019857
Mcyclopentan	0,062384
Benzene	0,057108
Cyclohexane	0,031320
n-Heptane	0,034438
Mcyclohexane	0,003965
11-Mcychexan	0,002430

(b)

Выполненными расчетами установлено, что для достижения практически полного извлечения изопентана, находящегося в сырьевом потоке из секции гидроочистки, ректификационная колонна должна содержать 63 теоретические тарелки, а минимальное флегмовое число должно

быть $R_{\min} = 12,3$. При этом в дистилляте колонны присутствие нормального пентана составит величину не более 0,07% мас., а в кубовом продукте содержание изопентана – также не более 0,07% мас.

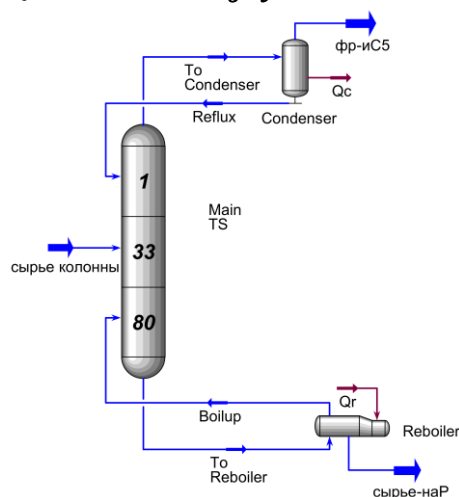


Рисунок 3. Схема ректификационной колонны Кдоп (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Figure 3. Scheme of the distillation column Кдоп (printout in Honeywell UniSim Design)

Для моделирования работы колонны и оценки достигаемых технологических показателей использовали следующие конструкционные параметры: число тарелок $N_T = 80$, тарелка питания $N_{пит} = 33$, эффективность контактного устройства 0,8. Расход сырья из секции гидроочистки составил 62550 кг/час. Расчеты показали, что для рассмотренных интервалов содержания компонентов в сырьевом потоке (таблица 1) оптимальные значения флегмового числа $R = 12,3 \div 20,1$; температура в конденсаторе и ребойлере $T_{конд} = 21,5 \div 26,9$ °C и $T_{реб} = 57,1 \div 66,2$ °C

соответственно при поддержании давления верха $P_{верх} = 101,3$ кПа и давления в кубе колонны $P_{низ} = 130$ кПа. Следует отметить, что полученные технологические режимы являются более «мягкими» по сравнению с соответствующими режимами, описанными в литературе и используемыми на промышленных установках.

Значения рассчитанных технологических параметров и компонентный состав потоков колонны приведены в таблице 3. Графики изменения температурного профиля и величин потоков фаз по высоте колонны показаны на рисунке 4.

Из анализа полученных показателей для колонны Кдоп следует, что предложенные технологические режимы обеспечивают практически полное извлечение изопентана из состава сырья, а именно на $99,37 \div 99,7\%$, при этом для промышленных условий существенным является реализация рассчитанного профиля температур по высоте колонны (рисунок 4а).

Расчеты показали, что уменьшение числа тарелок в колонне извлечения изопентана Кдоп ниже 80 приведет к существенному увеличению флегмового числа, что в свою очередь повлияет на конструкционные параметры аппарата.

Оценка конструкционных параметров колонны Кдоп приведена в таблице 4. Видно, что возможно использование колонны с одинаковым диаметром в её исчерпывающей и укрепляющей частях, при этом изменение состава сырья не вызывает отклонение от устойчивой работы контактных устройств тарелок.

Таблица 3.

Значения технологических параметров (а) и компонентный состав (б) потоков колонны деизопентанизатора Кдоп (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Table 3.

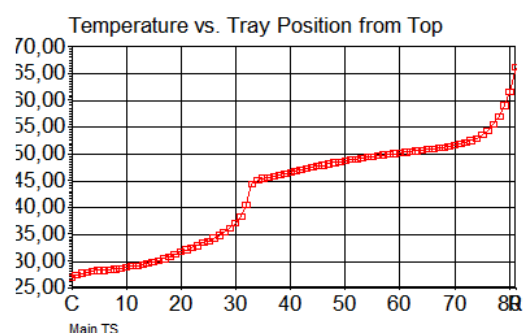
Values of technological parameters (a) and component composition (b) of the flows of the Кдоп deisopentimizer column (printout in Honeywell UniSim Design)

Name	сырье+Кдоп	сырье-наР	фр-иС5
Vapour	0,0000	0,0000	1,0000
Temperature [C]	40,00	66,24	26,92
Pressure [kPa]	294,2	130,0	101,3
Molar Flow [kgmole/h]	762,6	683,6	79,02
Mass Flow [kg/h]	6,255e+004	5,690e+004	5647
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	92,77	83,69	9,083
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,708e+005	-1,654e+005	-1,532e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	9,505	17,00	122,1
Heat Flow [kJ/h]	-1,302e+008	-1,130e+008	-1,211e+007

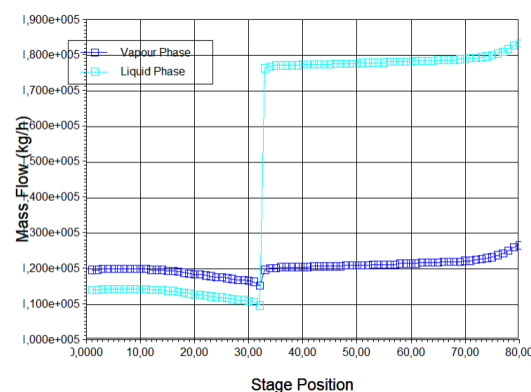
(a)

	сырье+Кдоп	сырье-наР	фр-иС5
i-Butane	0,000068	0,000000	0,000654
n-Butane	0,004985	0,000000	0,048118
i-Pentane	0,099105	0,000691	0,950542
n-Pentane	0,147394	0,164352	0,000686
22-Mbutane	0,013527	0,015091	0,000000
23-Mbutane	0,041707	0,046528	0,000000
2-Mpentane	0,198770	0,221745	0,000000
3-Mpentane	0,136490	0,152266	0,000000
n-Hexane	0,150169	0,167527	0,000000
Cyclopentane	0,023222	0,025906	0,000000
Mcyclopentan	0,060796	0,067823	0,000000
Benzene	0,059966	0,066898	0,000000
Cyclohexane	0,030523	0,034051	0,000000
n-Heptane	0,028188	0,031446	0,000000
Mcyclohexane	0,003312	0,003695	0,000000
11-Mcychexan	0,001776	0,001982	0,000000

(b)



(a)



(b)

Рисунок 4. Графики изменения технологических параметров по высоте колонны: (a) – температурный профиль в °C; (b) – потоки паровой и жидкой фаз в кг/ч (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Figure 4. Graphs of changes in technological parameters along the height of the column: (a) – temperature profile in °C; (b) – vapor and liquid phase flows in kg/h (printout in Honeywell UniSim Design)

Таблица 4.
Конструкционные параметры колонны Кдоп
(распечатка в Honeywell UniSim Design)

Table 4.
Structural parameters of the Кдоп column (printout in Honeywell UniSim Design)

Tray Results		
Section	Section_1	Section_2
Internals	Valve	Valve
Section Diameter [m]	3,505	3,505
Max Flooding [%]	83,98	78,46
X-Sectional Area [m2]	9,650	9,650
Section Height [m]	16,00	21,60
Section DeltaP [kPa]	25,46	33,31
Number of Flow Paths	2	3
Flow Length [mm]	1321	977,9
Flow Width [mm]	3006	2949
Max DC Backup [%]	47,40	46,03
Max Weir Load [m3/h-m]	34,04	35,16
Max DP/Tray [kPa]	0,829	0,711
Tray Spacing [mm]	500,0	450,0
Total Weir Length [mm]	5481	8298
Weir Height [mm]	50,80	50,80
Active Area [m2]	7,942	8,651
DC Clearance [mm]	38,10	38,10
DC Area [m2]	0,8541	0,4995
Side Weir Length [m]	1,975	1,638
Hole Area [m2]	1,215	1,324

Заключение

Анализ состава технологических потоков промышленной установки низкотемпературной изомеризации, не имеющей в технологической схеме колонны выделения изопентана из состава

сырья, показал, что в технологическом потоке, поступающем в реактор изомеризации первой ступени содержится от 8,72 до 19,7% мас. изопентана, присутствие которого в реакторе приводит к соответствующему уменьшению его полезного реакционного объема. Изменение технологической схемы процесса с включением в ее состав дополнительной колонны извлечения изопентана из потока сырья **Кдоп** позволит на функционирующих реакторах изомеризации повысить их производительность. В программной среде Honeywell UniSim Design было выполнено моделирование работы ректификационной колонны **Кдоп** и найдены оценки её оптимальных технологических режимов и конструкционных параметров, которые в соответствии с результатами вычислительного эксперимента обеспечивают извлечение изопентана из состава сырья на 99,37÷99,7%, что соответствует «высвобождению» используемого реакционного объема примерно на 9÷20%. Рассчитанные технологические режимы существенно отличаются от соответствующих режимов, описанных в литературных и патентных источниках или используемых на промышленных установках, и являются более «мягкими» по значениям температурных интервалов и диапазона давлений в колонне, что в промышленных условиях обеспечит снижение затрат на энергоресурсы.

Литература

- 1 ИТС 30–2017. М.: Бюро НДТ, 2017. 635 с.
- 2 Long N. V. D., Lee M. A novel NGL (natural gas liquid) recovery process based on self-heat recuperation // Energy. 2013. V. 57. P. 663-670. doi: 10.1016/j.energy.2013.04.078
- 3 Пат. № 2034643, RU, B01J 8/02. Реактор / Панкратов А.В., Стариков Н.Ф. № 4939902/26; Заяв. 29.05.1991; Оpubл. 10.05.1995.
- 4 Пат. № 2321575, RU, C07C 5/27, B01J 23/40, 21/04, 21/06, 23/84, 27/053. Способ изомеризации легких бензиновых фракций / Шакунов А.Н., Федорова М.Л. № 2006128932/04; Заяв. 19.06.2006; Оpubл. 10.04.2008.

- 5 Пат. № 182214, RU, C07C 5/27, 7/12, C10G 25/000, C07C 9/16. Установка для изомеризации легких бензиновых фракций / Гурко Н.С., Кузичкин Н.В., Сладковский Д.А., Семикин К.В., Сладковская Е.В., Смирнова Д.А., Осипенко У.Ю. № 2017145033; Заяв. 21.12.2017; Опубл. 07.08.2018.
- 6 Фаизов А.Р. и др. Совершенствование технологии разделения продуктов изомеризации // Нефтегазовое дело. 2014. Т. 12. № 4. С. 76–82.
- 7 Чеканцев Н.В. и др. Оптимизация состава перерабатываемого сырья на установках каталитического риформинга бензинов и изомеризации пентан-гексановой фракции с использованием комплексной математической модели «HYSYS IZOMER ACTIV» // Фундаментальные исследования. 2013. № 8. С. 766–772.
- 8 Оганесян С.А., Нападковский В.В., Ежов В.В. и др. Установка изомеризации в ОАО «НК Роснефть-Комсомольский нефтеперерабатывающий завод» // Химия и технология топлив и масел. 2002. № 5. С. 6–7.
- 9 Пат. № 2478601, RU, C07C 7/04, 5/27, 9/18, 9/10, 9/16. Способ разделения изопентан-пентан-гексановой фракции / Мнушкин И.А., Ханнанов В.Р., Гасанова О.И. № 2012102213/04; Заявл. 23.01.2012; Опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10.
- 10 Пат. № 2680377, RU, C07C 5/22, 9/12, 9/16. Способ разделения бензиновых фракций в процессе изомеризации / Мнушкин И.А. № 2018132218; Заявл. 10.09.2018; Опубл. 20.02.2019, Бюл. № 5.
- 11 Береговский А.А., Попов С.В., Хабибрахманова О.В. Об использовании на установке изомеризации фракции нк-62 блока выделения бензолсодержащей фракции установки каталитического риформинга // Нефтепереработка и нефтехимия. 2020. № 11. С. 3–4.
- 12 Береговский А.А., Попов С.В., Хабибрахманова О.В. Повышение эффективности работы установки изомеризации вовлечением фракции нк-62 блока выделения бензолсодержащей фракции установки каталитического риформинга // Нефтепереработка и нефтехимия. 2021. № 3. С. 20–22.
- 13 Kalita R., Kanda A., Gentry J.C. Network of dividing wall columns in complex process units // Chemical engineering. 2018. V. 69.
- 14 Chuzlov V.A., Ivanchina E.D., Dolganov I.M., Sejtanova G.Z. et al. The Branched C5-C6 Hydrocarbons Synthesis on Pt-Catalyst // Current Organic Synthesis. 2017. V. 14. №. 3. P. 332-341.
- 15 Long N.V.D., Lee M., Lee M., Long N.V.D. Promising Retrofit Technologies for Single Column // Advances in Distillation Retrofit. 2017. P. 43-70.
- 16 Reddy C.C.S., Fang Y., Rangaiah G.P. Improving energy efficiency of distillation using heat pump assisted columns // Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering. 2014. V. 9. №. 6. P. 905-928. doi: 10.1002/apj.1842
- 17 Capron B.D.O., Odloak D. A combined Lqr-MPC robust strategy with input saturation for the control of a deisobutanizer distillation column // Proceedings. 2013.
- 18 Long N.V.D., Lee M.Y. Design and optimization of heat integrated dividing wall columns for improved debutanizing and deisobutanizing fractionation of NGL // Korean Journal of Chemical Engineering. 2013. V. 30. P. 286-294. doi: 10.1007/s11814-012-0149-2
- 19 Azizah Z., Sutikno J.P., Handogo R., Hikmadiyah R.A. Inverted decoupling MIMO internal model control using Mp tuning // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. V. 736. №. 2. P. 022101. doi: 10.1088/1757-899X/736/2/022101
- 20 Zhou S., Shekhah O., Jia J., Czaban-Jóźwiak J. et al. Electrochemical synthesis of continuous metal-organic framework membranes for separation of hydrocarbons // Nature Energy. 2021. V. 6. №. 9. P. 882-891. doi: 10.1038/s41560-021-00881-y

References

- 1 ITS 30-2017. Moscow, Bureau of NDT, 2017. 635 p. (in Russian).
- 2 Long N. V. D., Lee M. A novel NGL (natural gas liquid) recovery process based on self-heat recuperation. Energy. 2013. vol. 57. pp. 663-670. doi: 10.1016/j.energy.2013.04.078
- 3 Pankratov A.V., Starikov N.F. Reactor. Patent RF, no. 2034643, 1995.
- 4 Shakun A.N., Fedorova M.L. Method of isomerization of light gasoline fractions. Patent RF, no. 2321575, 2008.
- 5 Gurko N.S., Kuzichkin N.V., Sladkovsky D.A., Semikin K.V. et al. Installation for isomerization of light gasoline fractions. Patent RF, no. 182214, 2018.
- 6 Fayzov A.R. et al. Improving the technology of separation of isomerization products. Oil and gas business. 2014. vol. 12. no. 4. pp. 76-82. (in Russian).
- 7 Chekantsev N.V. et al. Optimization of the composition of processed raw materials at installations of catalytic reforming of gasoline and isomerization of the pentane-hexane fraction using a complex mathematical model "HYSYS IZOMER ACTIV". Fundamental Research. 2013. no. 8. pp. 766-772. (in Russian).
- 8 Oganessian S.A., Atakovsky V.V., Yezhov V.V. et al. Isomerization unit in JSC "NK Rosneft-Komsomolsk Oil Refinery". Chemistry and technology of fuels and oils. 2002. no. 5. pp. 6-7. (in Russian).
- 9 Mnushkin I.A., Khannanov V.R., Gasanova O.I. Method of separation of isopentane-pentane-hexane fraction. Patent RF, no. 2478601, 2013.
- 10 Mnushkin I.A. Method of separation of gasoline fractions in the process of isomerization. Patent RF, no. 2680377, 2019.
- 11 Beregovsky A.A., Popov S.V., Habibrakhmanova O.V. On the use of fraction isomerization at the installation nk 62 of the benzene-containing fraction separation unit of the catalytic reforming unit. Oil refining and petrochemistry. 2020. no. 11. pp. 3-4. (in Russian).
- 12 Beregovsky A.A., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V. Improving the efficiency of the isomerization unit by involving the nk 62 fraction of the benzene-containing fraction separation unit of the catalytic reforming unit. Oil refining and petrochemistry. 2021. no. 3. pp. 20-22. (in Russian).
- 13 Kalita R., Kanda A., Gentry J.C. Network of dividing wall columns in complex process units. Chemical engineering. 2018. vol. 69.

- 14 Chuzlov V.A., Ivanchina E.D., Dolganov I.M., Sejtanova G.Z. et al. The Branched C5-C6 Hydrocarbons Synthesis on Pt-Catalyst. *Current Organic Synthesis*. 2017. vol. 14. no. 3. pp. 332-341.
- 15 Long N.V.D., Lee M., Lee M., Long N.V.D. Promising Retrofit Technologies for Single Column. *Advances in Distillation Retrofit*. 2017. pp. 43-70.
- 16 Reddy C.C.S., Fang Y., Rangaiah G.P. Improving energy efficiency of distillation using heat pump assisted columns. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*. 2014. vol. 9. no. 6. pp. 905-928. doi: 10.1002/apj.1842
- 17 Capron B.D.O., Odloak D. A combined Lqr-MPC robust strategy with input saturation for the control of a deisobutanizer distillation column. *Proceedings*. 2013.
- 18 Long N.V.D., Lee M.Y. Design and optimization of heat integrated dividing wall columns for improved debutanizing and deisobutanizing fractionation of NGL. *Korean Journal of Chemical Engineering*. 2013. vol. 30. pp. 286-294. doi: 10.1007/s11814-012-0149-2
- 19 Azizah Z., Sutikno J.P., Handogo R., Hikmadiyah R.A. Inverted decoupling MIMO internal model control using Mp tuning. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2020. vol. 736. no. 2. pp. 022101. doi: 10.1088/1757-899X/736/2/022101
- 20 Zhou S., Shekhah O., Jia J., Czaban-Jóźwiak J. et al. Electrochemical synthesis of continuous metal-organic framework membranes for separation of hydrocarbons. *Nature Energy*. 2021. vol. 6. no. 9. pp. 882-891. doi: 10.1038/s41560-021-00881-y

Сведения об авторах

Евгения Е. Беденко магистрант, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, chemicaluniversity@mail.ru

Артемию А. Береговский аспирант, кафедра технологии нефти и газа, Уфимский государственный нефтяной технический университет, ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Респ. Башкортостан, 450062, Россия, chemicaluniversity@mail.ru

Сергей В. Попов к.т.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, svpopov2018@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

Оксана В. Хабибрахманова к.х.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, chemicaluniversity@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-1523-9861>

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

Evgenia E. Bedenko master student, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru

Artemiy A. Beregovsky graduate student, technology of oil and gas department, Ufa State Oil Technical University, st. Kosmonavtov, 1, Ufa, Republic of Bashkortostan, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru

Sergey V. Popov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

Oksana V. Khabibrakhmanova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-1523-9861>

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 09/01/2023	После редакции 03/02/2023	Принята в печать 01/03/2023
Received 09/01/2023	Accepted in revised 03/02/2023	Accepted 01/03/2023

Исследование влияния вспомогательных веществ на технологические параметры сырья и стабильность действующего вещества в процессе изготовления твердой лекарственной формы

Марианна В. Кравцова	¹	m.v.kravtsova@yandex.ru	 0000-0002-6913-0802
Екатерина В. Бежеская	²	bezheskaya@gmail.com	 0000-0002-7944-4290
Ольга А. Гукина	¹	mastwork3@ozon-pharm.ru	 0000-0002-1541-5722
Анна В. Мешайкина	¹	anna.meshaykina@mail.ru	 0000-0002-2594-4046

¹ Тольяттинский государственный университет, ул. Белорусская, 16Б, г. Тольятти, 445020, Россия

² ООО «ОЗОН», ул. Гидростроителей, 6, г. Жигулевск, 445351, Россия

Аннотация. Проведено теоретическое исследование подходов к решению проблем, связанных с однородностью смеси для таблетирования и стабильностью действующего вещества. Проведено исследование данных по влиянию вспомогательных веществ на свойства смеси для гранулирования. В результате обращения к литературным источникам найдены работы, рассматривающие взаимосвязь состава, текучести смеси и времени перемешивания. Кроме того, рассмотрены работы в области стабильности субстанций, которая связана с используемыми вспомогательными веществами. В результате проведенного обзора показаны различные варианты влияния на технологические характеристики смеси такие, как растворение, сыпучесть, сегрегация. Наблюдение за взаимосвязями между технологическими параметрами помогает понять зависимость параметров контроля качества от них. Так, например, однородность дозирования сильно зависит от сегрегации и, соответственно, от текучести смеси. Вспомогательные вещества оказывают так же влияние и на стабильность действующего вещества. Они должны быть инертны к нему, но с помощью вспомогательных веществ возможно регулировать необходимый уровень pH, процент влажности. В некоторых случаях вспомогательные вещества обратимо связываются с действующим веществом для снижения деградации. В заключении сделан вывод о том, что в ходе разработки технологического состава твердой лекарственной формы необходимо учитывать влияние вспомогательных веществ. При разработке состава возможен подбор оптимальной комбинации вспомогательных веществ, которая улучшит технологические параметры смеси, качество и срок годности лекарственного препарата. Для производства препаратов дженериков данный вопрос наиболее актуален, поскольку при разработке состава препарата требуется повтор характеристик оригинального препарата. При этом возможно использовать альтернативный состав плацебо, что позволяет увеличить экономическую эффективность производства.

Ключевые слова: технология, вспомогательные вещества, таблетки, стабильность, субстанция, сырье, производство, дженерик.

Study of the influence of excipients on the technological parameters of raw materials and the stability of the active substance in the process of manufacturing a solid dosage form

Marianna V. Kravtsova	¹	m.v.kravtsova@yandex.ru	 0000-0002-6913-0802
Ekaterina V. Bezheskaia	²	bezheskaya@gmail.com	 0000-0002-7944-4290
Olga A. Gukina	¹	mastwork3@ozon-pharm.ru	 0000-0002-1541-5722
Anna V. Meshaikina	¹	anna.meshaykina@mail.ru	 0000-0002-2594-4046

¹ Togliatty State University, Belorusskaya St., 16B Togliatty, 445020, Russia

² OZON LLC, Hidrostroyteley St., 6, Zhigulevsk, 445351, Russia

Abstract. A theoretical study of approaches to solving problems related to the uniformity of the mixture for tableting and the stability of the active substance was carried out. A study of data on the influence of excipients on the properties of the mixture for granulation was carried out. As a result of reference to literary sources, works were found that consider the relationship between the composition, fluidity of the mixture, and mixing time. In addition, work in the field of stability of substances, which is associated with the excipients used, is considered. As a result of the review, various options for influencing the technological characteristics of the mixture, such as dissolution, flowability, segregation, are shown. Observing the relationship between process parameters helps to understand the dependence of quality control parameters on them. Thus, for example, the homogeneity of dosing is highly dependent on segregation and, accordingly, on the fluidity of the mixture. Excipients also have an effect on the stability of the active substance. They should be inert to it, but with the help of excipients it is possible to regulate the required pH level, the percentage of moisture. In some cases, excipients reversibly bind to the active substance to reduce degradation. In conclusion, it was concluded that in the course of developing the technological composition of a solid dosage form, it is necessary to take into account the influence of excipients. When developing the composition, it is possible to select the optimal combination of excipients, which will improve the technological parameters of the mixture, the quality and shelf life of the medicinal product. For the production of generic drugs, this issue is most relevant, since the development of the composition of the drug requires the repetition of the characteristics of the original drug. In this case, it is possible to use an alternative placebo composition, which allows to increase the economic efficiency of production.

Keywords: technology, excipients, tablets, stability, substance, raw material, manufacture, generic.

Для цитирования

Кравцова М.В., Бежеская Е.В., Гукина О.А., Мешайкина А.В. Исследование влияния вспомогательных веществ на технологические параметры сырья и стабильность действующего вещества в процессе изготовления твердой лекарственной формы // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 212–220. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-212-220

For citation

Kravtsova M.V., Bezheskaia E.V., Gukina O.A., Meshaikina A.V. Study of the influence of excipients on the technological parameters of raw materials and the stability of the active substance in the process of manufacturing a solid dosage form. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 212–220. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-212-220

Введение

Для процесса таблетирования учитывают параметры всех компонентов прессуемой смеси. Вещества должны быть достаточно однородными по размеру частиц и иметь приемлемую остаточную влажность. Комбинация веществ должна обладать достаточной текучестью для обеспечения однородности продукта. Различие в размере частиц сказывается на ходе процесса производства ввиду подверженности разделению из-за разности в плотности. Данный фактор сказывается на показателе «Однородность дозирования» для твердых готовых форм по содержанию активной фармацевтической субстанции (АФС) [1–4].

Некоторые АФС могут быть таблетированы в виде чистых веществ, но это бывает достаточно редко; большинство составов включают эксципиенты. Обычно добавляют фармакологически неактивный ингредиент (наполнитель), называемый связующим, чтобы помочь скрепить таблетку и придать ей прочность. Часто также необходим ингредиент, который действует как дезинтегрант или разрыхлитель, чтобы способствовать диспергированию таблетки после проглатывания, высвобождая АФС. Связующие вещества так же могут выступать в роли разрыхлителей, к таким вспомогательным веществам относятся крахмал и целлюлоза [5].

При разработке оптимального состава для лекарственного средства возникает необходимость учитывать свойства вспомогательных веществ одновременно с разных позиций. Таким образом учитывают их взаимодействие с действующим веществом с физической точки зрения, их свойства для таблетирования и свойства для выполнения функции таблеток [8, 13]. Кроме того, вспомогательные вещества и технологические параметры процесса могут влиять на стабильность АФС, что должно контролироваться в соответствии с регламентами технологического процесса.

Материалы и методы

Объекты исследования: научные статьи, содержащие исследования и обзоры по теме влияния вспомогательных веществ на технологические параметры смеси для таблетирования и на стабильность действующего вещества.

В ходе проведения теоретического исследования использовались: анализ научной литературы, систематизация данных, описание систематизированной информации.

Сбор научной литературы осуществлен через поисковые системы: Google Scholar, Researchgate, Google Patents.

Предметом исследования выбрано влияние на технологический процесс производства твердой лекарственной формы вспомогательных веществ.

Результаты

Проведен анализ научной литературы, описывающей влияние вспомогательных веществ на процесс производства таблеток.

В ходе систематизации полученной информации выявлены два основных направления возможного влияния плацебо:

влияние плацебо на технологические параметры смеси для таблетирования (растворение, текучесть, сегрегация);

стабильность активной фармацевтической субстанции в ходе процесса производства и при хранении готового препарата.

Влияние на физические технологические параметры

Основной задачей является подбор комбинации вспомогательных веществ для получения оптимальных физических свойств таблетки. От вспомогательных веществ зависят технологические параметры продукта и дальнейшее его соответствие по показателям качества, таким как: растворение, однородность дозирования, примеси и количественное определение. Таким образом, например в работе Щиковского, Крутских и Датхаева рассмотрено влияние вспомогательных веществ на критические показатели качества препарата «Боризол». По результатам исследования сделан вывод о влиянии содержания кальция гидрофосфата безводного и микрокристаллической целлюлозы на кинетику растворения *in vitro* таблеток. При увеличении количества кальция гидрофосфата безводного наблюдалось уменьшение растворения труднорастворимой субстанции и, соответственно, при увеличении количества микрокристаллической целлюлозы растворение увеличивалось [6].

На примере таблеток S-Амлодипина никотината авторы статьи привели зависимость однородности дозирования от состава и времени перемешивания [7]. По проведенному обзору авторы выяснили, что порошок S-амлодипина никотината имеет низкую сыпучесть и частицы разного размера и формы. Препарат имеет низкую дозировку, в результате возникает проблема с однородностью дозирования. В работе представлены результаты по исследованию влияния состава смеси на сыпучесть и времени перемешивания на однородность с использованием 12 модельных смесей с лактозой и без нее [7]. По полученным в ходе эксперимента данным авторы сделали вывод о том, что АФС не влияет на изменение сыпучести смеси в то время, как лактоза оказывает большее влияние на данный показатель, чем микрокристаллическая целлюлоза. Измерения для эксперимента проводили в четырех временных точках и по полученным данным видно, что для составов 1–6 без лактозы время перемешивания с оптимальной однородностью дозирования

составляет 15 минут, а в присутствии лактозы (составы 7–12) в это же время обладают меньшей однородностью, что приводит к необходимости увеличивать время перемешивания [7].

В результате можно сделать вывод о прямой зависимости однородности дозирования от высокой сыпучести смеси и времени перемешивания, что дает фактор, который необходимо учитывать в составе препарата и выбранной технологии [7].

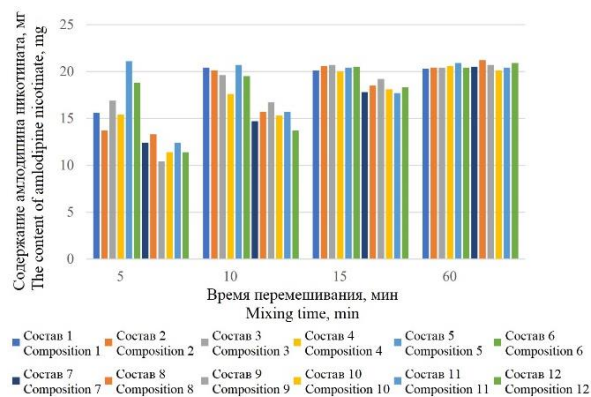


Рисунок 1. Однородность дозирования массы для таблетирования [14]

Figure 1. Uniformity of mass dosing for tableting [14]

На однородность смеси оказывает большое влияние разность размеров частиц. В случае эффективно перемешанных смесей имеет место явление сегрегации. Данное расслоение может происходить в соответствии с механизмами просеивания, псевдооживления, а также влияние оказывает используемое оборудование. В обзоре Jakubowska и Ciepluch подробно описаны механизмы данного явления. По результату проведенного обзора авторами сделан вывод о непредсказуемости корреляции факторов на способность смесей к расслоению [8].

Данное явление зависит от множества факторов, кроме размера частиц: процентного содержания АФС в смеси, соотношения плотности частиц, когезивности смеси, условий смешивания, времени прибывания смеси в определенных этапах технологического процесса. Процесс расслоения не должен рассматриваться на одном конкретном этапе, поскольку возможно противодействие на другом этапе, вследствие чего наиболее корректно рассматривать процесс в целом.

Кроме рабочих параметров процесса необходимо уделить внимание рецептуре препарата и процессам получения лекарственной формы. Наиболее приемлемым способом улучшить однородность смеси является использование грануляции, поскольку при прямом прессовании смеси добиться хорошей однородности сложнее. Во втором случае следует прибегнуть к предварительным исследованиям свойств смеси с оптимизацией пропорций для соответствия нормам однородности [8].

Во время влажной грануляции может наблюдаться неравномерное распределение частиц. Пример такого случая по работе Koide и коллег представлен в обзоре Jakubowska и Ciepluch. Процесс обеспечивал оптимальное перемешивание для однородности распределения компонентов в смеси, но в данном случае с помощью ИК в ближней области наблюдалась агломерация лактозы из-за чрезмерной грануляции при этом гидрофобные АФС отделялись. В результате сделан вывод об отсутствии влияния сегрегации внутри гранул на распределение частиц АФС. Соответственно, в процессе влажной грануляции необходимо уделять внимание распределению вспомогательных веществ в полученном грануляте [8].

На расслоение смеси оказывает влияние содержание АФС. Так в работе Ока и коллег приведено, что при более высокой скорости импеллера и при загрузке ацетаминофена 7 % (по сравнению с 3 %) потенциал расслоения был ниже. В работе исследовано неоднородное распределение компонентов между фракциями, в которых крупные гранулы были субактивными, когда более мелкие гранулы содержали избыток ацетаминофена. [9].

Выдвинуто три гипотезы:

1. Причиной неравномерности состава является преимущественное смачивание одного компонента рецептуры связующим на стадии смачивания и зародышеобразования из-за различных свойств поверхности (смачиваемости) частиц.

2. Причиной неравномерности состава является сегрегация частиц на стадии сухого смешивания, что приводит к обогащению поверхности порошкового слоя одним из компонентов и, следовательно, его предпочтительному контакту со связующим.

3. Причина неравномерности содержания – различная кинетика элементарных скоростных процессов (агломерация, расслоение, истирание, ломкость), которые зависят от состава таким образом, что приводят к систематическому обогащению определенных классов крупности одним из рецептурных составных частей.

Первая гипотеза проверена экспериментально по проникновению капель, в ходе которых анализировался состав зародыша, образованного из одиночной капли, осажденной на хорошо перемешанный слой порошка, и сравнивался с номинальным составом слоя. Вторая гипотеза была проверена путем изменения продолжительности фазы сухого смешивания в эксперименте по грануляции и оценки взаимосвязи между временем сухого смешивания и неоднородностью содержания в конечных гранулах. Третья гипотеза была проверена путем изменения продолжительности фазы влажного гранулирования и начала фазы влажного гранулирования как

в хорошо перемешанных, так и в максимально разделенных начальных условиях. По результату работы сделан вывод, что избирательное смачивание не являлось основной причиной неоднородности состава, а большие агломераты образовывались на ранних стадиях добавления связующего. Кроме того, при растворении АФС в связующем наблюдали отсутствие влияния его на однородность и в результате этого выдвинуто предположение о влиянии процесса сушки в этом случае [4].

Влияние на стабильность АФС

Вспомогательные вещества должны подбираться исходя из инертности по отношению к действующему веществу и физических характеристик. Однако стоит учитывать их влияние на стабильность субстанции, поскольку в течение технологического процесса возможна деградация АФС, что приведет к возрастанию примесей и дефектам продукции. Подбор вспомогательных веществ основывается на необходимых свойствах для дальнейшего процесса. Так, например, в патенте на препарат, содержащий бетагистин, при разработке введена лимонная кислота в качестве стабилизирующего вещества [12–14].

Стабильность субстанции может зависеть от количества влаги, особенно если используется гигроскопичная субстанция. В этом случае используемые вспомогательные вещества подбираются таким образом, чтобы они обладали: хорошей прессуемостью, низкой сорбцией влаги из воздуха, устойчивостью при хранении [15].

Аналогичным образом производят анализ сродства действующих веществ в комбинированных препаратах для снижения вероятности деградации или взаимодействия на отдельных этапах производства [16].

Таким образом провели исследование стабильности при разработке препарата с комбинированным составом рамиприл + лерканидипин. Для проведения эксперимента на стабильность были заложены 28 бинарных модельных смесей, как в сухом, так и в увлажненном виде. Анализ смесей показал, что совмещение данных субстанций возможно, но при условии отсутствия увлажнения рамиприла, а в особенности в присутствии лерканидипина, поскольку в таком случае образуется большее количество примесей. Кроме того, проведено исследование совместимости АФС в таблетке, покрытой пленочной оболочкой. В этом случае изучали все полупродукты. По результату стабильности такого варианта таблеток сделан вывод о необходимости варианта двухслойных таблеток, по причине отсутствия стабильности рамиприла. Уменьшения количества

примесей добились путем формирования двухслойных таблеток и при добавлении основного агента к рамиприлу, однако процесс таблетирования оказывает влияние на рост примесей [17].

Вспомогательные вещества могут иметь большое влияние на защиту от влаги действующего вещества. Снижение нестабильности лекарственного средства по причине взаимодействия с влагой охарактеризована несколькими механизмами:

- действие в качестве физического барьера;
- снижение подвижности влаги;
- снижение доступности влаги.

Подробный обзор влияния вспомогательных веществ на защиту от влаги написан Natalia Veronica, Paul Wan Sia Heng и Celine Valeria Liew. В работе описаны ключевые моменты при выборе вспомогательных веществ для препаратов, чувствительных к влаге. Примеры вспомогательных веществ с предлагаемыми влагозащитными механизмами представлены в таблице 1 [18–20].

В ходе обзора авторами выделено несколько вспомогательных веществ, которые улучшают стабильность лекарственных средств, в числе которых: крахмал и поливинилпирролидон. Кроме того, рассмотрено влияние аморфных и низкокристаллических вспомогательных веществ по отношению к деградации активной фармацевтической субстанции [19].

Вспомогательные вещества, оказавшиеся способными снижать реакционную способность влаги, обладают такими свойствами, как: низкая активность воды, хорошее сродство к влаге, способность связывать влагу и снижать подвижность влаги. Напротив, эксципиенты с высокой степенью кристалличности играют ограниченную роль в уменьшении деградации лекарственного средства, вызванной влагой.

Этот обзор также включал краткое изложение аналитических методов для оценки активности воды, сорбции влаги, молекулярной подвижности молекул воды и энергии связывания влаги, чтобы обеспечить понимание взаимодействия влаги и вспомогательных веществ. Кроме того, были рассмотрены различные состояния влаги (связанные или несвязанные) и их отношение к стабильности лекарственного средства. В совокупности этот обзор показал, что несвязанная влага или влага с более высокой подвижностью увеличивает деградацию лекарственного средства. Соответственно, аналитические инструменты для оценки подвижности влаги могут быть полезны при определении гидролитической стабильности лекарственных средств в составах [19].

Таблица 1.

Table 1.

Примеры вспомогательных веществ с предлагаемыми влагозащитными механизмами [19].

Examples of excipients with proposed moisture barrier mechanisms [19].

Возможный механизм	Влагочувствительный препарат	Вспомогательные вещества исследованы	Лекарственная форма или состояние	Наблюдения
1	2	3	4	5
Действует как физический барьер	Ацетилсалициловая кислота	Твердый жир (жировой солидус тип 36) Глицерилбегенат Глицерил дистеарат Октадеканол Стеариновая кислота	Пеллеты	Низкий уровень деградации ацетилсалициловой кислоты в липидной матрице, содержащей твердый жир и бегенат глицерина
	Моногидрохлорид [S]-1-[2-(5-циано-2-пиридиниламино)этиламино]ацетил-2-пиролидинкарбонитрила (запатентованный ингибитор дипептидилпептидазы IV)	Гидрогенизированное касторовое масло лактоза Стеариновая кислота	Таблетки	Грануляция из расплава с липофильными материалами (гидрогенизированное касторовое масло или стеариновая кислота) повышает стабильность ингибитора дипептидилпептидазы IV в присутствии влаги по сравнению с сухой грануляцией с лактозой.
Снижение подвижности влаги	Цефалотин	Кукурузный крахмал Микрокристаллическая целлюлоза	Лиофилизированный порошок	Препараты цефалотина, содержащие кукурузный крахмал, имели меньшую деградацию, чем микрокристаллическая целлюлоза.
	Нифедипин	Кукурузный крахмал Метилцеллюлоза Микрокристаллическая целлюлоза Поливинилловый спирт Поливинилпирролидон	Порошок	Скорость кристаллизации нифедипина варьировалась в зависимости от наполнителя. При одинаковом количестве влаги (0,04 г/г влажности) скорость кристаллизации нифедипина в препаратах, содержащих кукурузный крахмал, была ниже, чем в микрокристаллической целлюлозе.
	Оланзапин	Полиэтиленгликоль Поливинилпирролидон Гидроксипропилцеллюлоза	Порошок, суспензия, таблетки	Снижение превращения безводного оланзапина в его гидратные формы в препаратах, содержащих поливинилпирролидон. Эффект был более заметным в физических смесях и суспензиях, чем в таблетках.
	ТАК-457 (запатентованный препарат)	Инозитол Маннитол	Лиофилизированный порошок	При содержании влаги 2% составы, содержащие инозитол, имели лучшую стабильность, чем составы, содержащие маннит. Однако при содержании влаги 8% составы, изготовленные с маннитом, имели лучшую или аналогичную стабильность, чем инозит.
	Теofilлин	Маннитол Микрокристаллическая целлюлоза Поливинилпирролидон	Порошок	Поливинилпирролидон снижает превращение ангидрида теofilлина в его гидратные формы.
	γ-гобулин	Натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы Декстран Метилцеллюлоза Поливинилпирролидон Гидроксипропилметилцеллюлоза α,β-поли(N-гидроксиэтил)-лазпартамид	Лиофилизированный порошок	Хотя составы, содержащие поливинилпирролидон, имели большее количество подвижной влаги, влага имела более низкую подвижность, чем составы, содержащие декстран или метилцеллюлозу, что приводило к меньшему снижению стеклования составов на основе поливинилпирролидона.

Продолжение таблицы 1 | Continuation of table 1

1	2	3	4	5
Снижение доступности влаги	Ацетилсалициловая кислота	Целлюлозы различной степени кристалличности	Порошок	Препараты с целлюлозой меньшей степени кристалличности обладали лучшей устойчивостью к ацетилсалициловой кислоте.
		Дигидрат дикальцийфосфата лактоза Микрокристаллическая целлюлоза Прежелатинизированный крахмал	Таблетка	Ацетилсалициловая кислота обладала лучшей стабильностью в препаратах, содержащих прежелатинизированный крахмал, чем в лактозе, микрокристаллической целлюлозе или дигидрате дикальцийфосфата.
		Дигидрат дикальцийфосфата Кукурузный крахмал Микрокристаллическая целлюлоза	Таблетка	Таблетки, приготовленные из кукурузного крахмала, имели более низкую деградацию ацетилсалициловой кислоты, чем таблетки, содержащие микрокристаллическую целлюлозу или дигидрат дикальцийфосфата.
	Цилазаприл	Гидроксипропилметилцеллюлоза лактоза Кукурузный крахмал Тальк	Таблетка	Деградация цилазаприла была наименьшей в таблетках, изготовленных из кукурузного крахмала.
	Лимапрост-альфадекс	Декстран40 Декстрин Гидроксипропилметилцеллюлоза Гидроксипропилцеллюлоза Пуллулан	Лиофилизированный порошок	Лимапрост-альфадекс обладал большей стабильностью, если в его состав входили декстран40, декстрин или пуллулан.
	Нитрофуранторин	Лактоза Гидроксипропилцеллюлоза Частично прежелатинизированный Крахмал Силикатизированная микрокристаллическая целлюлоза	Порошок	Частично прежелатинизированный крахмал и гидроксипропилцеллюлоза лучше замедляли превращение безводного нитрофуранторина в моногидрат нитрофурантоина, чем силикатизированная микрокристаллическая целлюлоза и моногидрат лактозы.

Во время технологического процесса стабилизация субстанции может обеспечиваться наличием вспомогательных веществ, которые способны обратимо связываться с действующим веществом. Использование лимонной кислоты для субстанций обосновано образованием обратимых соединений для снижения доли процесса деградации как во время процесса производства лекарственного средства, так и в течение заявленного срока годности. В этом случае молекула действующего вещества связывается и предотвращаются в основном процессы окисления.

Использование в качестве кислотного стабилизатора лимонной кислоты отдельно или в смеси с аскорбиновой кислотой предусмотрено, например, в составе препарата на основе бетагистина дигидрохлорида. Патент RU 2 308 941 C1 содержит описание механизма стабилизации бетагистина кислотой, который заключается в связывании неподеленной электронной пары азота, входящего в состав молекулы бетагистина, что приводит к снижению его реакционной способности, и как следствие, придает большую устойчивость к воздействию компонентов воздуха в присутствии влаги [13].

Вспомогательные вещества могут сильно повлиять на фотостабильность активной фармацевтической субстанции. В исследовании по данному вопросу Thoma и Kübler сделали несколько основных заключений. Авторы обнаружили, что используемый растворитель для растворов лекарственных средств способен вызвать различия в кинетике деградации и в продуктах деградации действующего вещества. Вспомогательные вещества, которые обладают способностью поглощать УФ-излучение, выступают в роли фотостабилизаторов. Другие вспомогательные вещества могут значительно ускорять процесс фотодegradации. В результате сделан вывод о необходимости проведения испытаний на фотостабильность как чистой субстанции, так и модельных смесей, содержащих вспомогательные вещества [21].

Аналогичным образом авторам Sherif I. Farag Badawy, Reed C. Williams и Donna L. Gilbert с помощью кислотного агента удалось добиться стабильности разрабатываемого лекарственного средства в твердом виде в присутствии вспомогательных веществ. Цель исследования заключалась в определении возможности нормализации стабильности в условиях при 40°C и 75 % относительной влажности с содержанием безводной лактозы. Действующее вещество DMP 754 является новым препаратом, потенциально может быть пероральным антитромбоцитарным средством, которое может снизить вероятность

и тяжесть образования тромбов в артериях, которые могут привести к сердечным приступам, или инсультам. Данное действующее вещество является стабильным в условиях ускоренного старения, однако при добавлении лактозы безводной происходит ускорение гидролиза как сложноэфирной, так и амидиновой групп. В данном случае на стабильность влияет pH раствора. Насыщенный раствор лактозы имеет pH около 6, а раствор действующего вещества с максимальной стабильностью обладает pH около 4. В соответствии с данным фактом авторы включили в смесь кислотный агент для увеличения кислотности среды с целью повысить стабильность. В результате добавление кислот снижало скорость гидролиза амидиновой группы, и этот эффект был более выражен в случае более сильных кислот. Однако более кислые ингредиенты приводили к более быстрому гидролизу сложноэфирной группы. Исследование проводили в присутствии различных кислотных агентов: лимонной кислоты, фумаровой кислоты, динатрия цитрата, натрия дигидрофосфата, натрия цитрата. По итогу сделан вывод о возможности стабилизировать DMP 754 в твердом состоянии за счет использования соответствующей кислоты, которая регулирует pH микросреды примерно до 4. Кроме того, экспериментально лучшие результаты получили при использовании лимонной кислоты [18, 22].

Заключение

В ходе обзора рассмотрено влияние вспомогательных веществ на технологические параметры смеси, в результате чего можно сделать вывод о прямой зависимости технологического процесса от выбранного состава вспомогательных веществ. Влияние вспомогательных веществ на каждую конкретную субстанцию индивидуально. От физических свойств смеси зависит качество получаемого продукта, а в особенности соответствие показателям качества данного лекарственного средства. Кроме того, с помощью подбора подходящей комбинации вспомогательных веществ удастся добиться большей стабильности действующего вещества как в течение технологического процесса производства каждой лекарственной формы, так и во время всего периода заявленного срока годности. В этом случае большое влияние оказывает способность вспомогательных веществ уменьшить долю взаимодействия субстанции с влагой, а также стабилизировать pH среды и минимизировать влияние УФ-излучения для снижения деградации действующего вещества.

Литература

- 1 Зырянов С.К., Чистяков В.В. Фармакокинетика, безопасность и переносимость первого отечественного дженерика анагрелида в сравнении с референтным препаратом // Клиническая онкогематология. 2020. V. 13. № 3. Р. 346–353.
- 2 Монинец И. Производство твердых лекарственных форм // GMPProject. 2005.
- 3 Соколов А.В., Липатова И.С. Оригинальные препараты и дженерики: проблема выбора // Медицинские технологии. 2010. V. 2. Р. 44–48.
- 4 Стрилец О.П. Исследование влияния вспомогательных веществ // Человек и его здоровье. 2014. V. 7. № 2. Р. 107–115.
- 5 Емшанова С.В. Методологические подходы к выбору вспомогательных веществ для получения таблетированных препаратов методом прямого прессования // Химико-фармацевтический журнал. 2008. V. 42. № 2. Р. 38–43.
- 6 Щиковский А.Э., Крутских Т.В., Датхаев У.М. Изучение влияния вспомогательных веществ и параметров технологического процесса на критические показатели качества таблеток лекарственного препарата “Боризол” // Фармация Казахстана. 2018. V. 12. № 209. Р. 25–31.
- 7 Пчелинцев С.О., Краснюк И.И., Козлова Ж.М. Обоснование метода прямого прессования для таблеток S-амлодипина никотината // Медико-фармацевтический журнал «Пульс». 2020. Т. 22. № 1. С. 75–79.
- 8 Jakubowska E., Ciepluch N. Blend segregation in tablets manufacturing and its effect on drug content uniformity – a review // Pharmaceutics. 2021. V. 13. № 11.
- 9 Oka S., Smrčka D., Kataria A., Emady H. et al. Analysis of the origins of content non-uniformity in high-shear wet granulation // International Journal of Pharmaceutics. 2017. V. 528. № 1-2. P. 578–585. doi: 10.1016/j.ijpharm.2017.06.034
- 10 Garcia T.P., Prescott J.K. Blending and blend uniformity // Pharmaceutical Dosage Forms: Tablets. 2008. V. 1. P. 111–174.
- 11 Zhong L., Gao L., Li L., Zang H. Trends-process analytical technology in solid oral dosage manufacturing // European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics. 2020. V. 153. P. 187–199. doi: 10.1016/j.ejpb.2020.06.008
- 12 Yonghuang L. Betahistine mesilate orally disintegrating tablet and preparation method thereof. 2010. P. 1–13.
- 13 Кучугурин В.А. Твердая лекарственная форма, обладающая гистаминоподобным действием, и способ ее получения. 2006. № 19. Р. 1–7.
- 14 Gavi E., Reynolds G.K. System model of a tablet manufacturing process // Computers & chemical engineering. 2014. V. 71. P. 130–140. doi: 10.1016/j.compchemeng.2014.07.026
- 15 Badawy S.I.F. Wet Granulation and Chemical Stability of Drug Products // Handbook of Pharmaceutical Wet Granulation. Academic Press, 2019. P. 149–172. doi: 10.1016/B978-0-12-810460-6.00013-0
- 16 Łaszcz M., Trzcińska K., Filip K., Szyprowska A. et al. Stability studies of capecitabine // Journal of thermal analysis and calorimetry. 2011. V. 105. № 3. P. 1015–1021. doi: 10.1007/s10973-011-1351-x
- 17 Шадрин А.А. Исследование химической совместимости двух субстанций в дной комбинированной лекарственной форме // Прикладная Биохимия И Микробиология. 2005. Т. 41. № 5. С. 662–668.
- 18 Farag Badawy S.I., Williams R.C., Gilbert D.L. Effect of different acids on solid-state stability of an ester prodrug of a IIb/IIIa glycoprotein receptor antagonist // Pharm. Dev. Technol. 1999. V. 4. № 3. P. 325–331.
- 19 Veronica N., Heng P.W.S., Liew C.V. Ensuring Product Stability–Choosing the Right Excipients // Journal of Pharmaceutical Sciences. 2022. V. 111. № 8. P. 2158–2171. doi: 10.1016/j.xphs.2022.05.001
- 20 Ahlneck C., Zografi G. The molecular basis of moisture effects on the physical and chemical stability of drugs in the solid state // Int. J. Pharm. 1990. V. 62. № 2–3. P. 87–95.
- 21 Thoma K., Kübler N. Influence of excipients on the photodegradation of drug substances // Pharmazie. 1997. V. 52. P. 122–129.
- 22 Lambros M., Tran T. Citric Acid: A Multifunctional Pharmaceutical Excipient // Pharmaceutics. 2022. V. 14. № 5.

References

- 1 Zyryanov S.K., Chistyakov V.V. Pharmacokinetics, safety and tolerability of the first domestic generic anagrelide in comparison with a reference drug. Clinical oncohematology. 2020. vol. 13. no. 3. pp. 346–353. (in Russian).
- 2 Moninets I. Production of solid dosage forms. GMPProject. 2005. (in Russian).
- 3 Sokolov A.V., Lipatova I.S. Original drugs and generics: the problem of choice. Medical technologies. 2010. vol. 2. pp. 44–48. (in Russian).
- 4 Strilets O.P. Investigation of the effect of excipients. Man and his health. 2014. vol. 7. no. 2. pp. 107–115. (in Russian).
- 5 Emshanova S.V. Methodological approaches to the selection of excipients for the preparation of tablet preparations by direct pressing method. Chemico-pharmaceutical journal. 2008. vol. 42. no. 2. pp. 38–43. (in Russian).
- 6 Shchikovskiy A.E., Krutskikh T.V., Datkhaev U.M. Studying the influence of excipients and technological process parameters on critical quality indicators of tablets of the drug “Borizol”. Pharmacy of Kazakhstan. 2018. vol. 12. no. 209. pp. 25–31. (in Russian).
- 7 Pchelintsev S.O., Krasnyuk I.I., Kozlova Zh.M. Justification of the direct pressing method for S-amlodipine nicotinate tablets. Medical and pharmaceutical journal “Pulse”. 2020. vol. 22. no. 1. pp. 75–79. (in Russian).
- 8 Jakubowska E., Ciepluch N. Blend segregation in tablets manufacturing and its effect on drug content uniformity – a review. Pharmaceutics. 2021. vol. 13. no. 11.
- 9 Oka S., Smrčka D., Kataria A., Emady H. et al. Analysis of the origins of content non-uniformity in high-shear wet granulation. International Journal of Pharmaceutics. 2017. vol. 528. no. 1-2. pp. 578–585. doi: 10.1016/j.ijpharm.2017.06.034
- 10 Garcia T.P., Prescott J.K. Blending and blend uniformity. Pharmaceutical Dosage Forms: Tablets. 2008. vol. 1. pp. 111–174.
- 11 Zhong L., Gao L., Li L., Zang H. Trends-process analytical technology in solid oral dosage manufacturing. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics. 2020. vol. 153. pp. 187–199. doi: 10.1016/j.ejpb.2020.06.008

- 12 Yonghuang L. Betahistine mesilate orally disintegrating tablet and preparation method thereof. 2010. pp. 1–13.
- 13 Kuchugurin V.A. Solid dosage form with histamine-like effect and method of its preparation. 2006. no. 19. pp. 1–7. (in Russian).
- 14 Gavi E., Reynolds G.K. System model of a tablet manufacturing process. *Computers & chemical engineering*. 2014. vol. 71. pp. 130–140. doi: 10.1016/j.compchemeng.2014.07.026
- 15 Badawy S.I.F. Wet Granulation and Chemical Stability of Drug Products. *Handbook of Pharmaceutical Wet Granulation*. Academic Press, 2019. pp. 149–172. doi: 10.1016/B978-0-12-810460-6.00013-0
- 16 Łaszcz M., Trzcińska K., Filip K., Szyrowska A. et al. Stability studies of capecitabine. *Journal of thermal analysis and calorimetry*. 2011. vol. 105. no. 3. pp. 1015–1021. doi: 10.1007/s10973-011-1351-x
- 17 Shadrin A.A. Investigation of chemical compatibility of two substances in one combined dosage form. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2005. vol. 41. no. 5. pp. 662–668. (in Russian).
- 18 Farag Badawy S.I., Williams R.C., Gilbert D.L. Effect of different acids on solid-state stability of an ester prodrug of a IIb/IIIa glycoprotein receptor antagonist. *Pharm. Dev. Technol.* 1999. vol. 4. no. 3. pp. 325–331.
- 19 Veronica N., Heng P.W.S., Liew C.V. Ensuring Product Stability—Choosing the Right Excipients. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2022. vol. 111. no. 8. pp. 2158–2171. doi: 10.1016/j.xphs.2022.05.001
- 20 Ahlneck C., Zografi G. The molecular basis of moisture effects on the physical and chemical stability of drugs in the solid state. *Int. J. Pharm.* 1990. vol. 62. no. 2–3. pp. 87–95.
- 21 Thoma K., Kübler N. Influence of excipients on the photodegradation of drug substances. *Pharmazie*. 1997. vol. 52. pp. 122–129.
- 22 Lambros M., Tran T. Citric Acid: A Multifunctional Pharmaceutical Excipient. *Pharmaceutics*. 2022. vol. 14. no. 5.

Сведения об авторах

Марианна В. Кравцова к.п.н., доцент, заведующий кафедрой, кафедра химической технологии и ресурсосбережения, Тольяттинский государственный университет, ул. Белорусская, 16Б, г. Тольятти, 445020, Россия, m.v.kravtsova@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6913-0802>

Екатерина В. Бежеская старший инженер-химик, Аналитическая лаборатория научно-исследовательского центра, ООО «ОЗОН», ул. Гидростроителей, 6, г. Жигулевск, 445351, Россия, bezheskaya@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7944-4290>

Ольга А. Гукина магистрант, кафедра химической технологии и ресурсосбережения, Тольяттинский государственный университет, ул. Белорусская, 16Б, г. Тольятти, 445020, Россия, mastwork3@ozon-pharm.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1541-5722>

Анна В. Мешайкина магистрант, кафедра химической технологии и ресурсосбережения, Тольяттинский государственный университет, ул. Белорусская, 16Б, г. Тольятти, 445020, Россия, anna.meshaykina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2594-4046>

Вклад авторов

Марианна В. Кравцова консультация в ходе исследования

Екатерина В. Бежеская написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Ольга А. Гукина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, написал рукопись

Анна В. Мешайкина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, написал рукопись

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Marianna V. Kravtsova Cand. Sci. (Pedagogic), assistant professor, Head of Department, Chemical technology and resource conservation department, Togliatti State University, Belorusskaya St., 16B Togliatti, 445020, Russia, m.v.kravtsova@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6913-0802>

Ekaterina V. Bezheskaia senior chemical engineer, Analytical laboratory of the research center, OZON LLC, Hidrostroyteley St., 6, Zhigulevsk, 445351, Russia, bezheskaya@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7944-4290>

Olga A. Gukina master's student, Chemical technology and resource conservation department, Togliatti State University, Belorusskaya St., 16B Togliatti, 445020, Russia, mastwork3@ozon-pharm.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1541-5722>

Anna V. Meshaikina master's student, Chemical technology and resource conservation department, Togliatti State University, Belorusskaya St., 16B Togliatti, 445020, Russia, anna.meshaykina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2594-4046>

Contribution

Marianna V. Kravtsova consultation during the study

Ekaterina V. Bezheskaia wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Olga A. Gukina review of the literature on an investigated problem

Anna V. Meshaikina review of the literature on an investigated problem

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/12/2022	После редакции 15/01/2023	Принята в печать 12/02/2023
Received 20/12/2022	Accepted in revised 15/01/2023	Accepted 12/02/2023

Сорбция аммония волокнистым сорбентом ВИОН КН-1

Сабухи И. Нифталиев ¹	sabukhi@gmail.com	 0000-0001-7887-3061
Елена М. Горбунова ¹	lobanova8686@gmail.com	 0000-0002-3550-0115
Анна В. Тимкова ¹	timkova.anna@mail.ru	 0000-0003-0630-2993
Ксения Б. Ким ¹	kmkseniya@ya.ru	 0000-0001-5564-8267
Владимир Н. Данилов ¹	v_dan62@mail.ru	 0000-0001-7106-6638

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

Аннотация. Представлены результаты исследований сорбционного извлечения ионов аммония из водных сред волокнистым сорбентом ВИОН КН-1. Слабокислотное ионообменное волокно ВИОН КН-1 обладает развитой поверхностью, хорошей способностью к набуханию, высокой скоростью сорбции и большой устойчивостью к истиранию движущимся потоком. Установлено, что лимитирующей стадией процесса сорбции ионов аммония является внутренняя диффузия. Рассчитаны кинетические параметры процесса сорбции, с увеличением концентрации уменьшается время полусорбции и увеличивается коэффициент внутренней диффузии. Проведено сравнительное исследование применимости моделей Ленгмюра и Фрейндлиха для описания экспериментальных изотерм сорбции ионов аммония волокном. Определены константы и параметры этих уравнений. Путем сопоставления коэффициентов регрессии R^2 показано, что модель Ленгмюра лучше описывает экспериментальные данные по сорбции ионов аммония волокнистым сорбентом. Проведено исследование сорбции в динамических условиях. По кривым зависимости степени извлечения от концентрации и от объема пропущенного раствора установлено, что с уменьшением концентрации в динамическом режиме сорбционные характеристики волокон не уменьшаются, что делает их использование целесообразным при очистке разбавленных растворов, содержащих ионы аммония. При низких концентрациях ионов аммония в исходном растворе степень извлечения составляет более 93 %. Для прогнозирования степени извлечения ионов аммония из сточных вод применили автоматизированную нейронную сеть пакета прикладных программ STATISTICA. Входными параметрами для обучения нейронной сети были выбраны: концентрация ионов аммония, объем пропущенного раствора через слой сорбента и масса навески волокна. Выходной параметр – степень извлечения ионов аммония. Обученная нейронная сеть MPL-3-5-1 имеет высокие коэффициенты детерминации для обучающей, тестовой и контрольной выборок, что определяет высокую производительность обученной сети и может использоваться для прогноза степени извлечения ионов аммония волокнистым сорбентом ВИОН КН-1.

Ключевые слова: очистка, сточные воды, хемосорбция, ионы аммония, ионообменное волокно, нейронные сети, многослойный перцептрон, ионы аммония.

Sorption of ammonium by fibrous sorbent VION KN-1

Sabukhi I. Niftaliev ¹	sabukhi@gmail.com	 0000-0001-7887-3061
Elena M. Gorbunova ¹	lobanova8686@gmail.com	 0000-0002-3550-0115
Anna V. Timkova ¹	timkova.anna@mail.ru	 0000-0003-0630-2993
Kseniya B. Kim ¹	kmkseniya@ya.ru	 0000-0001-5564-8267
Vladimir N. Danilov ¹	v_dan62@mail.ru	 0000-0001-7106-6638

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

Abstract. The results of studies of the sorption extraction of ammonium ions from aqueous media by the fibrous sorbent VION KN-1 are presented. Weak acid ion exchange fiber. It has been established that the limiting step in the process of ammonium ion sorption is internal diffusion. The kinetic parameters of the sorption process are calculated, with the identification of a decrease in the half-sorption time and an increase in the internal diffusion coefficient. The applicability of the Langmuir and Freundlich models for describing the experimental isotherms of ammonium ion sorption by fiber has been studied. Certain constants and parameters. Through the appearance of regression coefficients, R^2 showed that the Langmuir model better explores experimental data on the sorption of ammonium ions by a fibrous sorbent. A study of sorption in media was carried out. According to the curves of the dependence of the degree of extraction on the concentration and on the depth of the missed solution, it was found that with a decrease in concentration in the dynamic sorption mechanism, the reduction characteristics do not decrease, which makes their use reduced in the purification of dilute solutions containing ammonium ions. At a low concentration of ammonium ions in the initial solution, the degree of extraction is more than 93%. To predict the extraction of ammonium ions from wastewater, an increased concentration of neural packages of STATISTICA application programs was used. The input parameters for studying the neural network were chosen: the concentration of ammonium ions, the volume of the solution passed through the sorbent layer, and the weight of the sample of fibers. The output parameter is the degree of extraction of ammonium ions. The trained MPL-3-5-1 neural network has high coefficients of determination for the training, test and control samples, which gives a high estimate of the network performance and can predict the degree of extraction of ammonium ions by the fibrous sorbent VION KN-1.

Keywords: purification, waste water, chemisorption, ammonium ions, ion exchange fiber, neural networks, multilayer perceptron, ammonium ions.

Для цитирования

Нифталиев С.И., Горбунова Е.М., Тимкова А.В., Ким К.Б., Данилов В.Н. Сорбция аммония волокнистым сорбентом ВИОН КН-1 // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 221–232. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-221-232

For citation

Niftaliev S.I., Gorbunova E.M., Timkova A.V., Kim K.B., Danilov V.N. Sorption of ammonium by fibrous sorbent VION KN-1. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 221–232. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-221-232

Введение

В связи с возрастающими потребностями человечества в продуктах питания и острой необходимости повышения плодородия почвы, мировое производство минеральных удобрений развивается относительно высокими темпами, значительно превышающими средние темпы производства остальной промышленной продукции. Значение азотных удобрений резко возрастает при современной интенсивной системе земледелия, особенно при выращивании высокоурожайных и наиболее требовательных к условиям питания технических культур [1, 2].

При производстве азотсодержащих минеральных удобрений в большом количестве образуются сточные воды, которые нуждаются в дополнительной обработке перед сбросом в открытые водоемы [3].

Перспективным способом выделения катионов аммония является ионообменная сорбция [4–7]. Сорбционная очистка может применяться самостоятельно и совместно с биологической, как метод предварительной и глубокой очистки. Такой метод используется, когда существуют высокие требования к составу воды. Преимуществами этого метода являются возможность поглощения веществ из многокомпонентных смесей и высокая степень очистки, особенно слабо концентрированных сточных вод.

Одним из видов ионообменного материала является ионообменное волокно. Волокнистые сорбенты обладают превосходными кинетическими характеристиками, обусловленными их физико-химическим строением. К их основным достоинствам можно отнести высокую удельную поверхность, способность к набуханию, механическую прочность и удобство использования. При применении волокон в качестве сорбентов реализуются не только электростатические взаимодействия, но и координационные, водородные связи, различные типы межмолекулярного притяжения [8].

Анионообменное волокно получают из полиакрилонитрильного (ПАН) волокна, химически сшитого гидразином. Нитрильные группы на поверхности полимера ПАН могут участвовать в различных химических реакциях [9]. Ионообменные волокна не ухудшают свои свойства при механических, термических воздействиях, а также показали устойчивость в растворах перекиси водорода, сильных кислотах и щелочах различной концентрации [9]. ПАН волокно успешно используется для удаления из сточных вод $As(V)$ [10]. В работе [11] предложено использовать ионообменное волокно для извлечения катионов меди (II) и никеля (II) на стадии доочистки сточных вод гальванического производства.

Ионообменные волокна на основе полиакрилонитрила используются для высокоэффективного извлечения $U(VI)$ из реальных урановых шахтных вод [12].

Учитывая свойства волокнистых сорбентов, они заслуживают особое внимание, при использовании в процессах очистки сточных вод. Высокая скорость сорбции обусловлена исключительно коротким диффузионным путем от поверхности к середине волокна, что компенсирует более медленную внутреннюю диффузию. Однако, как следует из литературных данных, систематических исследований по удалению ионов аммония с использованием волокнистых сорбентов не проведено (практически отсутствуют).

Цель работы – изучение кинетики сорбции катионов аммония из водных растворов на волокнистом карбоксильном сорбенте ВИОН КН-1, выявление лимитирующей стадии процесса, влияние высоты слоя волокна на степень извлечения ионов аммония, а также обучение искусственной нейронной сети для прогнозирования степени извлечения ионов аммония из сточных вод с использованием пакета прикладных программ Statistica Neural Networks версия 13.

Материалы и методы

Объектом исследования являлось ионообменное волокно ВИОН КН-1. Критериями выбора волокна ВИОН КН-1 являлись его характеристики, такие как, развитая поверхность, что облегчает доступ реагентов к обменным центрам волокна; лучшая способность к набуханию; высокая скорость сорбции и большая устойчивость к истиранию движущимся потоком. Для регенерации волокнистых ионообменников требуется меньше регенерирующего раствора по сравнению с зернистыми ионитами [13]. В связи с этим волокна широко используются в сорбции различных ионов [14–16].

Слабокислотное ионообменное волокно ВИОН КН-1 получено на основе полиакрилонитрильного волокна. Радиус хемосорбционного волокна ПАН = 11×10^{-6} м. Сорбция водяных паров волокном нитрон при относительной влажности воздуха 65 % равна 0.8–1.5 мас. %, а при 95 % – 1.5–3.5 мас. %. Набухание волокна в воде составляет 3–6 мас. %. Функциональными группами ионита являются карбоксилсодержащие группы – COO^- (H^+ или Na^+ формы)

Хемосорбционное волокно обладает следующими характеристиками: статическая обменная емкость (СОЕ) 3,5–5,0 мг-экв/г, линейная плотность 0,6–0,8 текс, разрывная нагрузка 3,5–10,0 сН/текс, разрывное удлинение 25–40 %, поверхностная плотность 250–800 г/м², $pK_a = 7,2$.

Стандартный раствор, содержащий 0,1 моль/дм³ ионов аммония, готовили из фиксаля. Рабочие растворы аммонийного азота готовили из исходных растворов путем последовательного разбавления. Исследовали равновесие и кинетику сорбции ионов аммония в статических условиях из водных растворов хлорида аммония при перемешивании и температуре 298 К.

Концентрацию ионов аммония в растворе определяли на иономере И-130 с ионоселективным электродом по градуировочному графику (зависимость напряжения от логарифма молярной концентрации).

Кинетику сорбции исследовали методом ограниченного объема раствора [18]. Для получения кинетических кривых сорбции в стакан залили 100 см³ раствора хлорида аммония с начальными концентрациями от 2 до 12 ммоль/дм³ и помещали туда навеску волокна 0,3 ± 0,0002 г. Изменение концентрации ионов аммония от времени определяли методом потенциометрии.

Для определения лимитирующей стадии процесса, полученные кинетические зависимости, представляли в координатах уравнений Бойда–Адамсона для случая внутренней и внешней диффузии. Для определения вклада внутренней диффузии проанализирована зависимость степени превращения F от времени сорбции τ (F–√τ) для внутренней диффузии, где F = CE_τ/CE_{max}, CE_τ – сорбционная емкость волокна за определенное время сорбции, CE_{max} – максимальная сорбционная емкость волокна. Линейность зависимостей в данных координатах свидетельствует о вкладе внутренней диффузии. Для оценки влияния внешней диффузии кинетические кривые сорбции были рассмотрены в координатах – ln(1-F) = f(τ). Линейность этой зависимости свидетельствует о вкладе внутренней диффузии.

Степень извлечения ионов аммония (R) из раствора рассчитывали по формуле:

$$R = \frac{(C_n - C_p)}{C_n} \cdot 100\% \quad (1)$$

где C_n – начальная концентрации ионов металла в растворе, ммоль/дм³; C_p – равновесная концентрация ионов металла в растворе после сорбции, ммоль/дм³.

Сорбционную емкость хемосорбционного волокна (CE) (ммоль/г) по аммонийному азоту находили по формуле:

$$CE = \frac{(C_n - C_p) \cdot V}{1000 \cdot m} \quad (2)$$

где V – объем раствора, см³; m – навеска волокна, г.

Значение коэффициента распределения K_d (см³/г) рассчитывали для количественной

оценки распределения аммония между волокном и раствором:

$$K_d = \frac{R}{100 - R} \cdot \frac{V}{m} \quad (3)$$

Одним из наиболее часто используемых и эффективных вариантов процесса сорбции является пропускание сточной воды через неподвижный слой ионита (колонку или фильтр). Для исследования сорбции в динамических условиях фильтр заполняли навесками ионообменного волокна от 0,31 до 0,93 г. Раствор, содержащий ионы аммония известной концентрации, пропускали через фильтр с определенной скоростью. Содержание аммонийного азота в порциях фильтрата (50 см³) на выходе из фильтра определяли потенциометрическим методом. Пропускание раствора прекращали, когда концентрация ионов аммония в фильтрате становилась равной исходной концентрации. По полученным данным строили выходные кривые в координатах C_p/C_n = f(V).

С целью прогнозирования степени извлечения ионов аммония из сточных вод экспериментальные данные были обработаны с использованием пакета прикладных программ Statistica Neural Networks. Учитывая результаты предварительных экспериментов, осуществлен отбор основных переменных параметров, оказывающих значимое влияние на сорбцию ионов. Входные параметры: концентрация загрязняющего вещества, ммоль/дм³; объем пропускаемого раствора, дм³; масса волокна, г. Функцией отклика (выходным параметром) являлась степень извлечения, %. По полученным данным строили нейросетевые модели [19].

В качестве стратегии построения моделей была выбрана автоматизированная нейронная сеть со следующими настройками, представленными в таблице 1.

Таблица 1.

Характеристика нейронной сети

Table 1.

Characteristics of the neural network

Тип сети Network type	Многослойный персептрон Multilayer Perceptron
min количество скрытых нейронов min number of hidden neurons	3
max количество скрытых нейронов max number of hidden neurons	10
Коэффициент детерминации выборок Coefficient of determination of samples:	
– обучающая / training	0,999420
– тестовая / test	0,998767
– контрольная / control	0,998572
Алгоритм обучения Training algorithm	BFGS (второго порядка точности) (second order accuracy)

Результаты

Полученные экспериментальные данные по сорбции ионов аммония волокнистым сорбентом ВИОН КН-1 из растворов с разным содержанием аммонийного азота приведены в таблице 2. Как видно из таблицы максимальное значение сорбционной емкости сорбентов ВИОН КН-1 при заданной концентрации по ионам аммония составляет 2,47 ммоль/г. При сорбции из разбавленных растворов значения коэффициентов распределения (K_d) находится на уровне $2,3 \times 10^3 \text{ см}^3/\text{г}$, что значительно превышает значения для зернистых ионитов.

Таблица 2.

Сорбционные свойства волокнистого сорбента ВИОН КН-1 при извлечении ионов аммония

Table 2.

Sorption properties of the fibrous sorbent VION KN-1 during the extraction of ammonium ions

Показатель Index	Значения Meanings			
C_n , ммоль/дм ³ mmol/dm ³	1,79	4,79	7,56	11,3
C_p , ммоль/дм ³ mmol/dm ³	0,23	0,85	1,77	3,9
CE , ммоль/г mmol/g	0,52	1,31	1,93	2,47
R , %	87,25	82,30	76,59	65,49
K_d , см ³ /г cm ³ /g	2281,07	1549,53	1090,40	632,48

Степень извлечения (R) ионов аммония с уменьшением концентрации увеличивается, что свидетельствует об эффективности волокна для доочистки разбавленных стоков до ПДК. Такие показатели степени извлечения (меньше 90 %) можно объяснить тем, что подобранное соотношение объема раствора и навески волокна ($330 \text{ см}^3/\text{г}$) не является оптимальным соотношением параметров: объем раствора – навеска ионита – концентрация загрязняющего вещества.

Методом переменных концентрации построены изотермы сорбции для оценки средства исследуемых волокнистых ионитов к ионам аммония. Для этого применяли равновесные концентрации, представляющие собой остаточную концентрацию ионов аммония в растворе после насыщения волокнистого сорбента.

Изотермы сорбции ионов аммония ионообменным волокном в координатах $CE = f(C_p)$ (рисунок 3) имеет вид выпуклой кривой. Начальный участок являются близким к линейному (участок Генри). Величина сорбции практически пропорциональна концентрации ионов аммония на этом участке. То есть при малых концентрациях ($C_p < 1 \text{ ммоль/дм}^3$) в растворе происходит практически количественная сорбция.

Модели Ленгмюра и Фрейндлиха были применены для количественного описания равновесного процесса сорбции ионов аммония.

Изотермы сорбции сорбентом ВИОН КН-1 линеаризуются в координатах уравнения Ленгмюра ($R^2 = 0,999$). Установлено, что сорбция имеет монослойный характер и максимум ее достигается при полном заполнении монослоя, а также на отсутствии взаимодействия между сорбированными ионами. Значения входящих в уравнения моделей Ленгмюра и Фрейндлиха параметров, а также коэффициенты корреляции представлены в таблице 3.

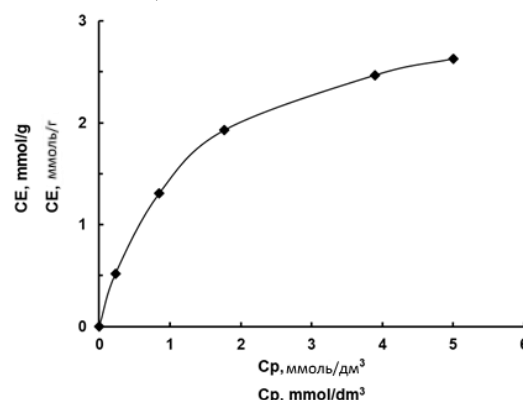


Рисунок 1. Изотермы сорбции ионов аммония волокнами ВИОН КН-1

Figure 1. Isotherms of sorption of ammonium ions by the fibers VION KN-1

Модели Ленгмюра и Фрейндлиха были применены для количественного описания равновесного процесса сорбции ионов аммония. Изотермы сорбции сорбентом ВИОН КН-1 линеаризуются в координатах уравнения Ленгмюра ($R^2 = 0,999$). Установлено, что сорбция имеет монослойный характер и максимум ее достигается при полном заполнении монослоя, а также на отсутствии взаимодействия между сорбированными ионами. Значения входящих в уравнения моделей Ленгмюра и Фрейндлиха параметров, а также коэффициенты корреляции представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Модели и константы изотерм сорбции

Table 3.

Models and constants of sorption isotherms

Модель Ленгмюра / Langmuir model		
CE_{00} , ммоль/г mmol/g	K_L , дм ³ /ммоль K_L , dm ³ /mmol	R^2
3,1898	0,8526	0,9999
Модель Фрейндлиха / Freundlich model		
K_F , ммоль/г K_F , mmol/g	$1/n$	R^2
1,2596	0,5214	0,9665

Построена зависимость сорбционной емкости ионитов от исходной концентрации ионов аммония в обратных координатах $1/CE = f(C_n)$ (рисунок 5). Эту зависимость можно использовать для получения аналитического уравнения, позволяющего прогнозировать сорбционную емкость волокнистых сорбентов.

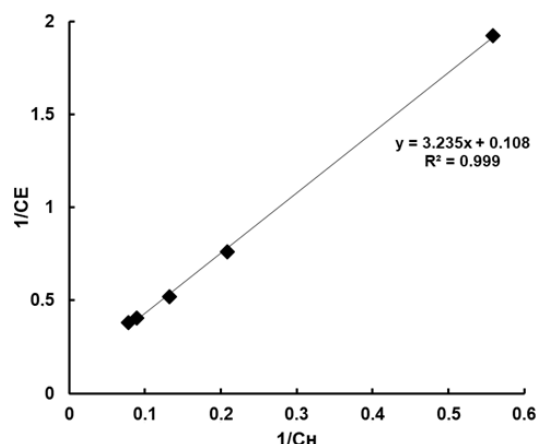


Рисунок 2. Зависимость сорбционной емкости волокнистых сорбентов от содержания аммонийного азота в растворе в обратных координатах

Figure 2. The dependence of the sorption capacity of fibrous sorbents on the content of ammonium nitrogen in the solution in the inverse coordinates

На основании полученных прямолинейных зависимостей с высокой достоверностью рассчитаны значения констант CE_{00} и K_L . При внесении констант в уравнение Ленгмюра получаем аналитические уравнения для прогноза сорбционной емкости ВИОН КН-1.

$$C_E = 10,32 \cdot \frac{0,02975 \cdot C_n}{1 + 0,02975 \cdot C_n} \quad (4)$$

Полученное уравнение позволяет определить сорбционную емкость исследуемого волокна по отношению к ионам аммония при любой исходной концентрации. Рассчитанное по приведенному уравнению значение сорбционной емкости при варьировании исходного содержания аммонийного азота хорошо коррелирует с экспериментально полученными данными (таблица 4).

Таблица 4.

Расчетные и экспериментальные данные сорбционных емкостей волокнистого сорбента ВИОН КН-1 по ионам аммония

Table 4.

The calculated and experimental data on the sorption capacities of the fibrous sorbent VION KN-1 for ammonium ions

C_n , ммоль/дм ³ C_n , mmol/dm ³	Значение CE , ммоль/г CE value, mmol/g	
	Расчетное Estimated	Экспериментальное Experimental
1,79	0,52	0,52
4,79	1,29	1,31
7,56	1,90	1,93
11,3	2,59	2,46

Для определения оптимального соотношения объема раствора к массе волокнистых сорбентов построена зависимость степени извлечения ионов аммония от гидромодуля (рисунок 4).

Как видно из зависимостей при уменьшении соотношения объем раствора к массе волокон (гидромодуля) увеличивается степень извлечения. При этом не достигается полное извлечения ионов аммония (меньше 90 %). Это обусловлена тем, что процесс сорбции проведен при более высокой начальной концентрации ионов аммония в растворе ($C_n = 10$ ммоль/дм³).

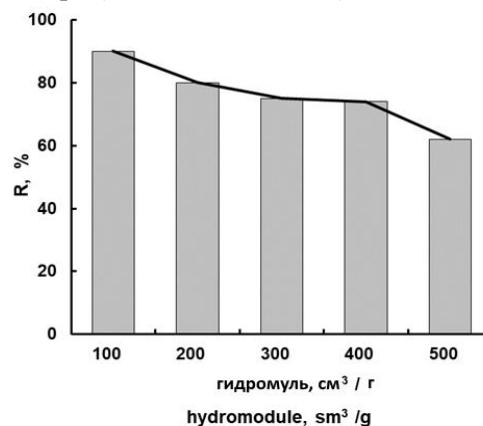


Рисунок 3. Влияние гидромодуля на степень извлечения ионов аммония

Figure 3. Effect of the hydromodule on the degree of recovery of ammonium ions

Таким образом, при очистки сточной воды с высоким содержанием ионов аммония (10 ммоль/дм³) необходим двухступенчатый процесс. При более низких концентрациях ионов аммония с помощью исследуемого волокна можно очистить воду до значения ПДК.

Также в работе была исследована кинетика сорбции ионов аммония волокном ВИОН КН-1. Время установления равновесия в системе ионит-раствор является важным кинетическим параметром. Оно характеризует скорость сорбционного процесса. Кинетические кривые сорбции ионов аммония сорбентом ВИОН КН-1 представлены на рисунке 5.

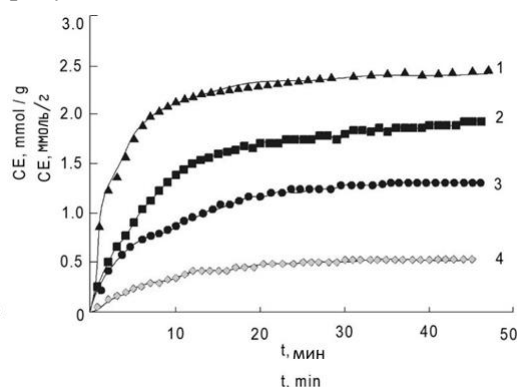


Рисунок 4. Кинетика сорбции ионов аммония волокном ВИОН КН-1. Концентрация внешнего раствора 1–11,3; 2 – 7,55; 3–4,72; 4–1,78 ммоль/дм³, соответственно

Figure 4. Kinetics of ammonium ion sorption by VION KN-1 fiber. The concentration of the external solution is 1–11,3; 2–7,55; 3–4,72; 4–1,78 mmol/dm³, respectively

Как видно из рисунка 5, скорость сорбции на волокнистом сорбенте ВИОН КН-1 максимальна в течение первых 10 минут соответственно. С увеличением концентрации внешнего раствора возрастает время достижения состояния равновесия и величина сорбционной емкости.

Для определения вклада внутренней диффузии были получены и проанализированы зависимости степени превращения F от $\sqrt{t}$ (рисунок 6). При малых степенях заполнения линейность графика в данных координатах свидетельствует о вкладе внутренней диффузии для обоих ионитов. Как отмечено в монографии [49] для ионообменного материала в форме цилиндра линейность должна соблюдаться с практической точностью при $F \sim 0.5$. Кривые, приведенные на рисунке 6, удовлетворяют данное требование.

Для оценки влияния внешней диффузии были получены и проанализированы кинетические кривые сорбции в координатах $-\ln(1-F) = f(t)$ при разных степенях заполнения волокнистых сорбентов (рисунок 7). Как видно из рисунка 7 линейность не соблюдается. Это свидетельствует об меньшем вкладе внешней диффузии на общую скорость процесса. Поэтому можно предположить, что существенный вклад на скорость процесса сорбции ионов аммония волокном ВИОН КН-1 при исследуемых концентрациях вносить именно внутренняя диффузия.

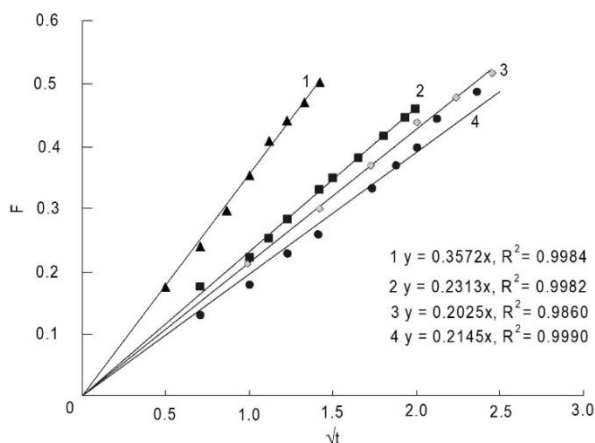


Рисунок 5. Кинетические кривые сорбции ионов аммония волокном ВИОН КН-1 в координатах уравнений Бойда–Адамсона для случая внутренней диффузии. Концентрация внешнего раствора 1–11,3; 2 – 7,55; 3–4,72; 4–1,78 ммоль/дм³, соответственно

Figure 5. Kinetic curves of ammonium ion sorption by VION KN-1 fiber in the coordinates of the Boyd-Adamson equations for the case of internal diffusion. The concentrations of external solutions: 1 – 11,3; 2 – 7,55; 3 – 4,72; 4 – 1,78 mmol / dm³, respectively

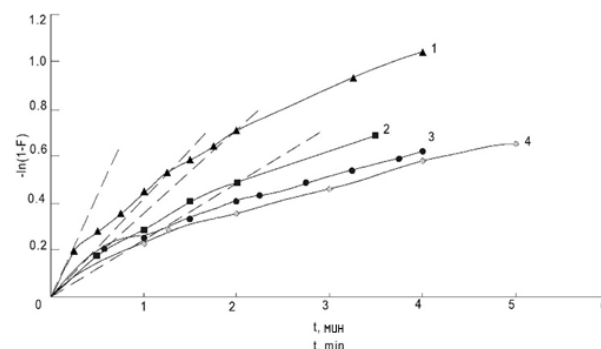


Рисунок 6. Кинетические кривые сорбции ионов аммония волокном ВИОН КН-1 в координатах уравнений Бойда–Адамсона для случая внешней диффузии. Концентрация внешнего раствора 1–11,3; 2 – 7,55; 3–4,72; 4–1,78 ммоль/дм³, соответственно

Figure 6. Kinetic curves of ammonium ion sorption by VION KN-1 fiber in the coordinates of the Boyd-Adamson equations for the case of external diffusion. The concentration of the external solution is 1–11,3; 2 – 7,55; 3 – 4,72; 4 – 1,78 mmol/dm³, respectively

Для того чтобы удостовериться в том, что сорбция волокном ВИОН КН-1 лимитируется внутридиффузионными ограничения применен метод с прерыванием контакта ионит-раствор, описанный Крессманом и Китченером [50]

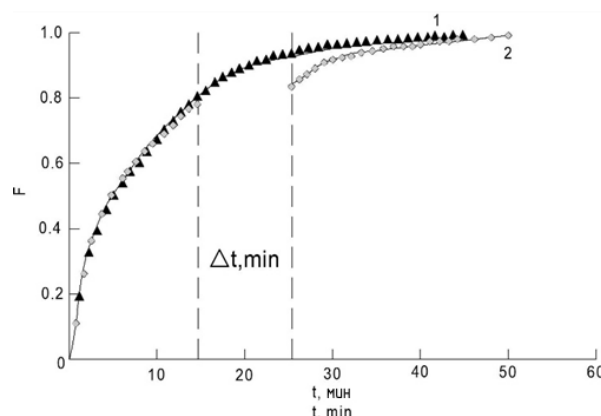


Рисунок 7. Кинетические зависимости сорбции ионов аммония с учетом времени прерывания контакта ионита с раствором (1); без прерыва (2)

Figure 7. Kinetic dependences of the ammonium ion sorption taking into account the time of interruption of the ionite-solution contact (1); without interruption (2)

Как видно из рисунка 8 по истечении некоторого времени («отдыха» ионита, 10 мин) и возобновления контактирования раствора с волокном скорость ионообменного процесса в начальный момент увеличивается. Это также свидетельствует о гелевой кинетике сорбции ионов аммония волокном ВИОН КН-1.

Для расчета коэффициента внутренней диффузии (D , $\text{м}^2/\text{с}$) для волокна ВИОН КН-1 применили уравнение:

$$D = \frac{B \cdot r^2}{\pi^2} \quad (5)$$

где r – радиус хемосорбционного волокна, м ($r_{\text{ПАН}} = 11 \cdot 10^{-6} \text{ м}$); B – тангенс угла наклона прямой зависимости $Bt = f(t)$, где $Bt = (F/1.08)^2$.

Время полусорбции $t_{1/2}$, опосредовано характеризующее скорость сорбции, вычисляли по уравнению:

$$1/2 = 3 \cdot r^2 D \cdot 6 \quad (6)$$

Кинетические параметры процесса сорбции ионов аммония сорбентом ВИОН КН-1 представлены в таблице 5. Как видно из таблицы с увеличением концентрации уменьшается время полусорбции и увеличивается коэффициент внутренней диффузии.

В работе проведено исследование сорбции в динамических условиях. Для нахождения оптимальной высоты волокна в динамическом режиме были получены выходные кривые сорбции ионов аммония (рисунок 9).

Таблица 5.

Кинетические параметры сорбции ионов аммония волокном ВИОН КН-1

Table 5.

Kinetic parameters of the process of ammonium ion sorption by VION KN-1 fiber

$C_{\text{NH}_4^+}$, ммоль/дм ³ mmol/dm ³	$B \times 10^4$	$D \times 10^{15}$, м ² /с m ² /s	$\tau_{1/2}$, мин min
11,3	19	23,31	2,59
7,56	16	12,27	4,59
4,72	8	9,81	6,17
1,78	7	8,59	7,30

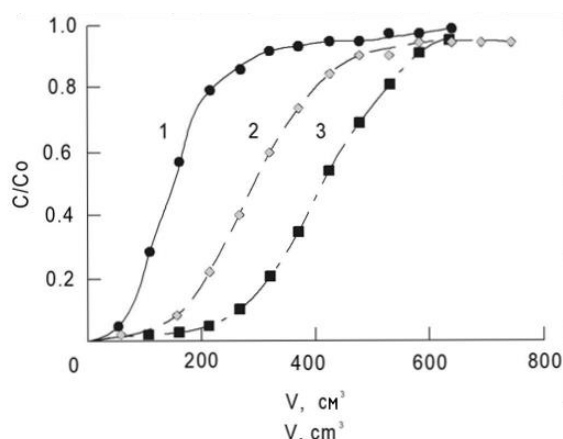


Рисунок 8. Выходные кривые сорбции ионов аммония волокном ВИОН КН-1. Концентрация раствора 11,3 ммоль/дм³, скорость пропускания раствора 3 см³/мин
Figure 8. Output curves of the ammonium ion sorption by VION KN-1 fiber. The solution concentration is 11.3 mmol/dm³; the solution flow rate is 3 cm³/min

Полная динамическая обменная емкость (ПДОЕ) по отношению к ионам аммония для волокна ВИОН КН-1 составляет $\approx 4,3$ ммоль/г. Для определения эффективности степени извлечения построены и проанализированы кривые зависимости степени извлечения от массы навески волокна и объема раствора (рисунок 10). Как видно, из рисунка 12 с увеличением массы навески увеличивается степень извлечения ионов аммония. Так при пропускании 200 см³ раствора с концентрацией 11,3 ммоль/дм³ через слой волокна ВИОН КН-1 массой 0,93 г. можно достичь степени извлечения больше 96 %.

Для оценки влияния концентрации исходного раствора на вид выходных кривых получены и проанализированы зависимости относительной концентрации C/C_0 от объема вытекающего раствора и от концентрации (рисунок 11).

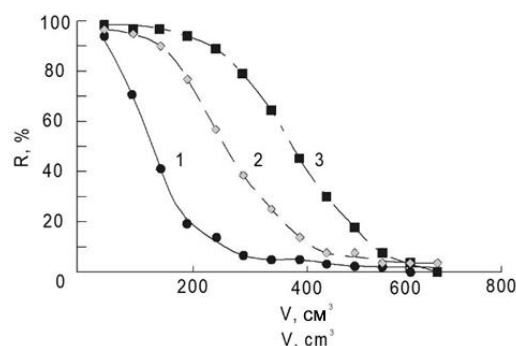


Рисунок 9. Кривые зависимости степени извлечения от концентрации и от объема пропущенного раствора (1 – $m = 0,31$ г., $h = 0,5$ см; 2 – $m = 0,62$ г., $h = 1,0$ см; 3 – $m = 0,93$ г., $h = 1,5$ см)

Figure 9. Curves of the dependence of the degree of recovery on the height of the layer (weight of the sample) and the volume of the passed solution (1 – $m = 0,31$ g, $h = 0,5$ cm; 2 – $m = 0,62$ g, $h = 1,0$ cm; 3 – $m = 0,93$ g, $h = 1,5$ cm)

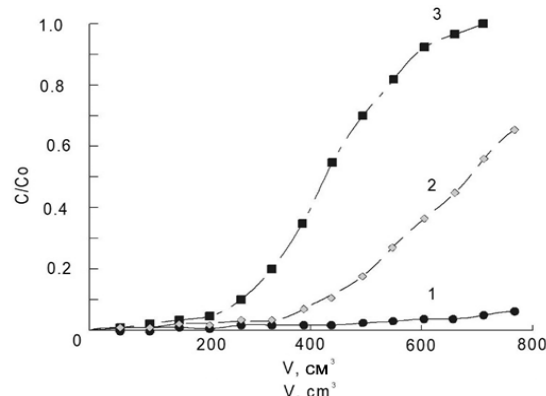


Рисунок 10. Выходные кривые сорбции ионов аммония волокном ВИОН КН-1 с разными концентрациями раствора. Скорость пропускания раствора 3 см³/мин (1 – 3,34 ммоль/дм³; 2 – 7,10 ммоль/дм³; 3 – 10,00 ммоль/дм³)

Figure 10. Output curves of ammonium ion sorption by the fiber VION KN-1 with different solution concentrations. The solution flow rate is 3 cm³/min (1 – 3,34 mmol/dm³; 2 – 7,10 mmol/dm³; 3 – 10,00 mmol/dm³)

Как видно из рисунка 12 при самой наименьшей концентрации ионов аммония в исходном растворе ($3,34 \text{ ммоль/дм}^3$) относительные концентрации для ВИОН КН-1 составляют меньше 0,065. Это свидетельствует о том, что с уменьшением концентрации в динамическом режиме сорбционные характеристики волокон не уменьшаются, что делает их использование целесообразным при очистки разбавленных растворов, содержащих ионы аммония.

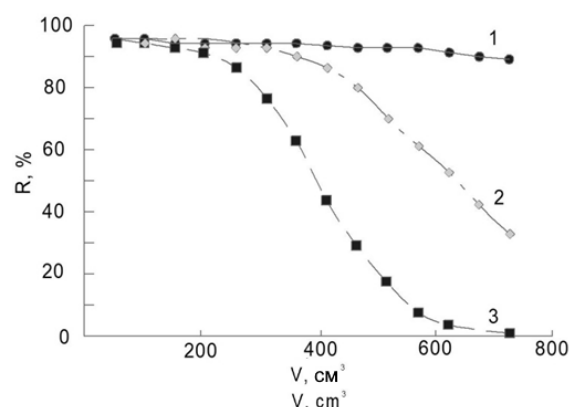


Рисунок 11. Кривые зависимости степени извлечения от концентрации и от объема пропущенного раствора (1 – $3,34 \text{ ммоль/дм}^3$; 2 – $7,10 \text{ ммоль/дм}^3$; 3 – $10,00 \text{ ммоль/дм}^3$)

Figure 11. The curves of the dependence of the degree of recovery on concentration and on the volume of the passed solution (1 – 3.34 mmol/dm^3 ; 2 – 7.10 mmol/dm^3 ; 3 – 10.00 mmol/dm^3)

Доказательство этих высказываний можно увидеть на рисунке 12. Как видно из рисунка 12 при пропускании раствора объемом 700 см^3 через слой ВИОН КН-1 ($m_{\text{волокна}} = 0,93 \text{ г.}$) при малых концентрациях ионов аммония в исходном растворе степень извлечения составляет больше 93.

Прогнозирование степени извлечения ионов аммония из сточных вод проводилось с применением автоматизированной нейронной сети STATISTICA. Значения уровней и интервалов варьирования факторов приведены в таблице 6.

Таблица 6.
Параметры процесса сорбции

Table 6.
Parameters of the sorption process

Фактор Factor	$C, \text{моль/дм}^3$ mol/dm^3	$V, \text{дм}^3$ dm^3	$m, \text{г}$ g
Уровни варьирования фактора Factor variation levels	0,002 0,007 0,012	0,05 0,35 0,65	0,31 0,65 0,93
Интервал варьирования Variation interval	0,005	0,300	0,310

Проводили серию экспериментов таким образом, чтобы каждый фактор перекликался с другими факторами. Значения входных факторов (концентрация ионов аммония, объем пропущенного раствора через слой сорбента и масса навески волокна) и соответствующий выходной параметр (степень извлечения ионов аммония) заносили в таблицу и использовали для обучения искусственной нейронной сети программы STATISTICA 12 с модулем STATISTICA Automated Neural Networks (SANN).

Для определения зависимости выходной переменной от значения входных переменных выбрали регрессионный анализ. Полученные высокие коэффициенты детерминации для обучающей, тестовой и контрольной выборок, характеризуют высокую производительность обученной сети. Ошибка обучения составила 0,279647 для ВИОН КН-1. Функция активации скрытых нейронов тождественная, а выходных нейронов была логистическая. Сохранили лучшую полученную сеть в формате PMML с целью дальнейшего использования для автоматического построения прогноза степени извлечения ионов волокнистым сорбентом ВИОН КН-1.

Адекватность обученной нейронной сети для волокнистого сорбента проверяли графическим методом, построили диаграмму рассеивания целевых и выходных значений нейронной сети. Из диаграммы видно, что все выходные значения для ВИОН КН-1 находятся на прямой линии под углом 45° , т. е. они совпадают с целевыми значениями (рисунок 13).

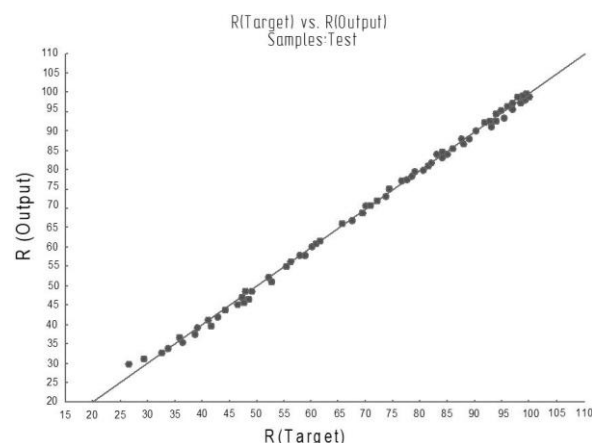


Рисунок 12. Зависимость целевых значений степени извлечения ионов аммония от выходных значений
Figure 12. The dependence of the target values of the degree of recovery of ammonium ions on the output values

Для определения области значений факторов (входных переменных), в которой степень извлечения ионов аммония волокнистым сорбентом имеет максимальное значение использовали графики поверхности отклика. График поверхности

отклика представляет собой изображения в трехмерном пространстве, представляющая отклик одной переменной (степень извлечения) в зависимости от двух входных переменных при постоянности остальных факторов. Исследовали зависимость степени извлечения от концентрации ионов аммония и от объема пропускаемого раствора (рисунок 14).

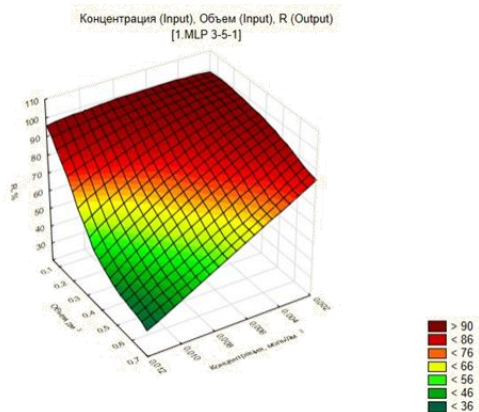


Рисунок 13. Поверхность отклика выходного параметра в зависимости от концентрации загрязнителя и объема протекающего раствора

Figure 13. The response surface of the output parameter depending on the pollutant concentration and the volume of the flowing solution

При увеличении концентрации ионов аммония и объема пропускаемого раствора для волокнистого сорбента уменьшается степень извлечения. В процессе, где применяется волокно ВИОН КН-1 степени извлечения больше 90 % можно достичь при пропускании 0,2 дм³ раствора с концентрациями от 0,002 до 0,012 моль/дм³. Также показателя больше 90 % можно достичь при концентрации 0,002 моль/дм³ с пропуском 0,6 дм³ раствора).

Аналогичные поверхности отклика получили для зависимости степени извлечения от концентрации ионов аммония и от массы навески волокна, а также от массы навески волокна и от объема пропускаемого раствора

Установлено, что с уменьшением концентрации и увеличением массы волокна увеличивается степень извлечения аммонийного азота и с увеличением объема пропускаемого раствора и уменьшением массы навески сорбента снижается степень извлечения ионов аммония.

Для прогноза степени извлечения ионов аммония волокнистым сорбентом, ранее сохраненную в формате PMML модель с идентификатором сети запустили на новые данные. Новые данные представляют собой результаты экспериментов, которые ранее не были включены в таблицу для обучения нейронных сетей. Массив данных ионообменного волокна включает 7 опытов (таблица 7).

Таблица 7.

Массив новых данных по извлечению ионов аммония волокном ВИОН КН-1

Table 7.

An array of new data on the extraction of ammonium ions with the VION KN-1 fiber

Концентрация, моль/дм ³ Concentration, mol/dm ³	Объем, дм ³ Volume, dm ³	Масса, г Mass, g	R, %
0,010000000	0,2	0,3136	57,20000
0,011595400	0,15	0,6272	91,37589
0,006067389	0,45	0,6272	77,66356
0,001995262	0,7	0,629	95,71635
0,007096173	0,65	0,9411	83,81542
0,001931901	0,35	0,3113	89,10855
0,007840674	0,5	0,4545	60,49453

После занесения новых данных в электронную таблицу программы и запуска модели с идентификатором сети вычислили абсолютные и квадратные остатки (среднеквадратичные ошибки) (таблица 8).

Таблица 8.

Предсказанные значения степени извлечения ионов аммония волокном ВИОН КН-1 нейронной сетью MLP 3–5–1

Table 8.

Predicted values of the degree of extraction of ammonium ions by the VION KN-1 fiber by the neural network MLP 3–5–1

Набл. Номер Obs. Number	R Целевая Target	R-Выход Exit	R-Абс. Ост. Abs. Rest	R-Квадраты Ост. Squares Abs.
1	57,20000	57,20866	0,008663	0,000075
2	91,37589	91,39071	0,014817	0,000220
3	77,66356	77,34208	0,321479	0,103348
4	95,71635	95,62773	0,088623	0,007854
5	83,81542	83,89240	0,076987	0,005927
6	89,10855	89,79660	0,688049	0,473411
7	60,49453	60,89747	0,402934	0,162356

В таблице 8 в колонке «R Целевая» представлены данные, полученные в ходе проведения процесса сорбции в лабораторных условиях, в колонке «R–Выход» – предсказанные значения выходного параметра. Эти значения выдала обученная нейронная сеть MLP 3–5–1. При сравнении первой и второй колонки рассчитаны значения абсолютного отклонения. Абсолютное отклонение по всей выборке не превышает 0,688049, колонка «R–Абс. Ост.». Среднеквадратическая ошибка тестовой выборки при извлечении ионов аммония ионообменным волокном ВИОН КН-1 составляет 0,596459226. Маленькое значение среднеквадратичной ошибки на введенных новых данных свидетельствует о хорошем качестве построенной модели для волокнистого сорбента. Нейронные сети могут быть использованы для прогноза степени извлечения ионов аммония волокнистым сорбентом ВИОН КН-1.

Заключение

Проведенная оценка кинетических характеристик сорбции ионов аммония волокном ВИОН КН-1 показала, что поглощение волокнистым сорбентом указанных катионов характеризуется высокой скоростью. Уменьшение концентрации внешнего раствора приводит сокращению времени достижения равновесного состояния и величины сорбционной емкости. Экспериментальные данные, полученные в результате

исследования кинетики сорбции ионов аммония карбоксильным волокнистым сорбентом в статических условиях, и проведенные расчеты, позволили установить факт аппроксимации уравнений кинетики, справедливых для случая внутренней диффузии. Экспериментальные данные по сорбции были проверены с помощью изотерм Фрейндлиха и Ленгмюра. Уравнение Ленгмюра лучше описывает процесс сорбции катионов аммония на волокнистом сорбенте ВИОН КН-1.

Литература

- 1 Дюжева Н.В., Тинькова А.А. Анализ конъюнктуры мирового рынка минеральных удобрений // Вестник Астраханского Государственного Технического Университета. Серия: Экономика. 2020. № 1. С. 91–100. doi: 10.24143/2073–5537–2020–1–91–100
- 2 Илькив Н. Российский рынок минеральных удобрений // Агрофорум. 2021. № 7. С. 44–48.
- 3 Глушанкова И., Бессонова Е., Рудакова Л., Власова О. и др. Очистка сточных вод производства минеральных фторсодержащих солей от ионов аммония // Экология и промышленность России. 2015. № 19. С. 16–19. doi: 10.18412/1816–0395–2015–7–16–19
- 4 Cruz H., Gabon M.Y., Salehin S., Seviour T. et. al. Magnetic poly(acrylic acid) – based hydrogels for rapid ammonium sorption and efficient sorbent separation from sewage // Environmental Science and Ecotechnology. 2021. V.6. P. 100097. doi: 10.1016/j.ese.2021.100097
- 5 Pinelli D., Foglia A., Fatone F., Papa E. et. al. Ammonium recovery from municipal wastewater by ion exchange: Development and application of a procedure for sorbent selection // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2022. V. 10. №. 6. P. 108829. doi: 10.1016/j.jece.2022.108829.
- 6 Shakoor M.B., Ye Zh., Chen Sh. Engineered biochars for recovering phosphate and ammonium from wastewater: A review // Science of The Total Environment. 2021. V. 779. P. 146240. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146240
- 7 Bhatt P., Joshi S., Bayram G.M.U., Khati P. Developments and application of chitosan-based adsorbents for wastewater treatments // Environmental Research. 2023. P. 115530. doi: 10.1016/j.envres.2023.115530
- 8 Перегудов и др. Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т. 21. № 3. С. 347–359. doi: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3468
- 9 Shunkevich A.A., Akulich Z.I., Mediak G.V., Soldatov V.S. Acid–base properties of ion exchangers. III. Anion exchangers on the basis of polyacrylonitrile fiber // Reactive and Functional Polymers. 2005. V. 63(1). P. 27–34. doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2005.02.002
- 10 Lee C.–G., Alvarez P.J.J., Nam A., Park S.–J. et. al. Arsenic(V) removal using an amine-doped acrylic ion exchange fiber: Kinetic, equilibrium, and regeneration studies // Journal of Hazardous Materials. 2017. V. 325. P. 223–229. doi:10.1016/j.jhazmat.2016.12.003
- 11 Перегудов Ю.С., Тимкова А.В., Горбунова Е.М., Плотникова С.Е. Применение ионообменного волокна на стадии доочистки сточных вод гальванического производства // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 330–336. doi: 10.20914/2310–1202–2018–4–330–336
- 12 Cheng Y., He P., Dong F., Nie X. et.al. Polyamine and amidoxime groups modified bifunctional polyacrylonitrile-based ion exchange fibers for highly efficient extraction of U(VI) from real uranium mine water // Chemical Engineering Journal. 2019. V. 367. P. 198–207. doi: 10.1016/j.cej.2019.02.149
- 13 Kopylova V.D., Zverev O.V., Astapov A.V., Peregudov Yu. S. Thermokinetics of sorption of Zn(II) by VION KN-1 carboxyl-containing fibre // Fibre Chemistry. 2006. V. 38. P. 151–154. doi: 10.1007/s10692 – 006–0061–9
- 14 Xu W., Zheng W., Wang F., Xiong, Q. et.al. Using iron ion-loaded aminated polyacrylonitrile fiber to efficiently remove wastewater phosphate // Chemical Engineering Journal. 2021. V. 403(1). P. 1–11. doi: 10.1016/j.cej.2020.126349
- 15 Грачек В.И., Шункевич А.А., Поликарпов А.П. Исакович О.И. Сорбционные свойства нового волокнистого хелатного ионита // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Chemical series. 2020. V. 56. № 2. P. 206–211. doi: 10.29235/1561–8331–2020–56–2–206–211
- 16 Wang F., Wang X., Jiang Yu., Ni Zh. et al. Study of adsorption performance and adsorption mechanism for U (VI) ion on modified polyacrylonitrile fibers // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2020. V. 323. № 7. P. 365–377. doi: 10.1007/s10967–019 – 06928–5
- 17 Perepelkin K.E. Structure and structural mechanics of polymer fibres: current concepts // Chemistry and technology of chemical fibres. 2009. V. 41. P. 9–21.
- 18 Селеменев В.Ф., Славинская Г.В., Хохлов В.Ю. и др. Практикум по ионному обмену. Воронеж: Издательство Воронежского университета, 2004. 160 с.
- 19 Бринк Х., Ричардс Д., Феверолф М. Машинное обучение. СПб.: Питер, 2017. 336 с.
- 20 Han H.–G., Chen Q., Qiao J.–F. An efficient self-organizing RBF neural network for water quality prediction // Neural Networks. 2011. V. 24(7). P. 717–725. doi: 10.1016/j.neunet.2011.04.006

21 Heddarn S., Bermad A., Dechemi N. Applications of Radial-Basis Function and Generalized Regression Neural Networks for Modeling of Coagulant Dosage in a Drinking Water-Treatment Plant: Comparative Study // Journal of Environmental Engineering. 2011. V. 137 (12). doi: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000435

22 Jayaweera C.D., Aziz N. Development of Extreme Learning Machine Radial Basis Function Neural Network Models to Predict Residual Aluminum for Water Treatment Plants // Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC). 2018. P. 835–848. doi: 10.1007/978-3-030-02686-8_62

References

1 Dyuzheva N.V., Tinkova A.A. Analysis of the conjuncture of the world market of mineral fertilizers. Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Economics. 2020. no. 1. pp. 91-100. doi: 10.24143/2073-5537-2020-1-91-100 (in Russian).

2 Ilkiv N. The Russian market of mineral fertilizers. Agroforum. 2021. no. 7. pp. 44-48. (in Russian).

3 Glushankova I., Bessonova E., Rudakova L., Vlasova O., etc. Wastewater treatment of the production of mineral fluorinated salts from ammonium ions. Ecology and industry of Russia. 2015. no. 19. pp. 16-19. doi: 10.18412/1816-0395-2015-7-16-19 (in Russian).

4 Cruz H., Gabon M.Y., Salehin S., Seviour T. et. al. Magnetic poly(acrylic acid) – based hydrogels for rapid ammonium sorption and efficient sorbent separation from sewage. Environmental Science and Ecotechnology. 2021. vol. 6. pp. 100097. doi: 10.1016/j.esec.2021.100097

5 Pinelli D., Foglia A., Fatone F., Papa E. et. al. Ammonium recovery from municipal wastewater by ion exchange: Development and application of a procedure for sorbent selection. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2022. vol. 10. no. 6. pp. 108829. doi: 10.1016/j.jece.2022.108829.

6 Shakoor M.B., Ye Zh., Chen Sh. Engineered biochars for recovering phosphate and ammonium from wastewater: A review. Science of The Total Environment. 2021. vol. 779. pp. 146240. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146240

7 Bhatt P., Joshi S., Bayram G.M.U., Khati P. Developments and application of chitosan-based adsorbents for wastewater treatments. Environmental Research. 2023. pp. 115530. doi: 10.1016/j.envres.2023.115530

8 Peregudov et al. Sorption and chromatographic processes. 2021. vol. 21. no. 3. pp. 347-359. doi: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3468 (in Russian).

9 Shunkevich A.A., Akulich Z.I., Mediak G.V., Soldatov V.S. Acid–base properties of ion exchangers. III. Anion exchangers on the basis of polyacrylonitrile fiber. Reactive and Functional Polymers. 2005. vol. 63(1). pp. 27–34. doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2005.02.002

10 Lee C.–G., Alvarez P.J.J., Nam A., Park S.–J. et. al. Arsenic(V) removal using an amine-doped acrylic ion exchange fiber: Kinetic, equilibrium, and regeneration studies. Journal of Hazardous Materials. 2017. vol. 325. pp. 223–229. doi: 10.1016/j.jhazmat.2016.12.003

11 Peregudov Yu.S., Timakova A.V., Gorbunova E.M., Plotnikova S.E. Application of ion-exchange fiber at the stage of post-treatment of wastewater of galvanic production. Bulletin of VSUIT. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 330-336. doi: 10.20914/2310-1202-2018-4-330-336 (in Russian).

12 Cheng Y., He P., Dong F., Nie X. et.al. Polyamine and amidoxime groups modified bifunctional polyacrylonitrile-based ion exchange fibers for highly efficient extraction of U(VI) from real uranium mine water. Chemical Engineering Journal. 2019. vol. 367. pp. 198–207. doi: 10.1016/j.cej.2019.02.149

13 Kopylova V.D., Zverev O.V., Astapov A.V., Peregudov Yu. S. Thermokinetics of sorption of Zn(II) by VION KN 1 carboxyl-containing fibre. Fibre Chemistry. 2006. vol. 38. pp. 151–154. doi: 10.1007/s10692 – 006-0061-9

14 Xu W., Zheng W., Wang F., Xiong, Q. et.al. Using iron ion-loaded aminated polyacrylonitrile fiber to efficiently remove wastewater phosphate. Chemical Engineering Journal. 2021. vol. 403(1). pp. 1–11. doi: 10.1016/j.cej.2020.126349

15 Grachek V.I., Shunkevich A.A., Polikarpov A.P. Isakov O.I. Sorption properties of a new fibrous chelated ionite. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Chemical series. 2020. vol. 56. no. 2. pp. 206-211. doi: 10.29235/1561-8331-2020-56-2-206-211 (in Russian).

16 Wang F., Wang X., Jiang Yu., Ni Zh. et al. Study of adsorption performance and adsorption mechanism for U (VI) ion on modified polyacrylonitrile fibers. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2020. vol. 323. no. 7. pp. 365–377. doi: 10.1007/s10967-019 – 06928-5

17 Perepelkin K.E. Structure and structural mechanics of polymer fibres: current concepts. Chemistry and technology of chemical fibres. 2009. vol. 41. pp. 9–21.

18 Selemenov V.F., Slavinskaya G.V., Khokhlov V.Yu., etc. Workshop on ion exchange. Voronezh, Voronezh University Press, 2004. 160 p. (in Russian).

19 Brink H., Richards D., Feverolf M. Machine learning. St. Petersburg, Peter, 2017. 336 p. (in Russian).

20 Han H.–G., Chen Q., Qiao J.–F. An efficient self-organizing RBF neural network for water quality prediction. Neural Networks. 2011. vol. 24(7). pp. 717–725. doi: 10.1016/j.neunet.2011.04.006

21 Heddarn S., Bermad A., Dechemi N. Applications of Radial-Basis Function and Generalized Regression Neural Networks for Modeling of Coagulant Dosage in a Drinking Water-Treatment Plant: Comparative Study. Journal of Environmental Engineering. 2011. vol. 137 (12). doi: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000435

22 Jayaweera C.D., Aziz N. Development of Extreme Learning Machine Radial Basis Function Neural Network Models to Predict Residual Aluminum for Water Treatment Plants. Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC). 2018. pp. 835–848. doi: 10.1007/978-3-030-02686-8_62

Сведения об авторах

Сабухи И. Нифталиев д.х.н., профессор, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, sabukhi@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-7887-3061>

Елена М. Горбунова к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lobanova8686@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3550-0115>

Анна В. Тимкова аспирант, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, timkova.anna@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0630-2993>

Ксения Б. Ким к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kmkseniya@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5564-8267>

Владимир Н. Данилов к.х.н., доцент, кафедра естественных дисциплин, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, v_dan62@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7106-6638>

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

Sabukhi I. Niftaliev Dr. Sci. (Chem.), professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, sabukhi@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-7887-3061>

Elena M. Gorbunova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, av. Revolution, 19, Voronezh, 394036, Russia, lobanova8686@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3550-0115>

Anna V. Timkova graduate student, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, av. Revolution, 19, Voronezh, 394036, Russia, timkova.anna@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0630-2993>

Kseniya B. Kim Cand. Sci. (Chem.), associate professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, av. Revolution, 19, Voronezh, 394036, Russia, kmkseniya@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5564-8267>

Vladimir N. Danilov Cand. Sci. (Chem.), associate professor, natural disciplines department, Voronezh State University of Engineering Technologies, av. Revolution, 19, Voronezh, 394036, Russia, v_dan62@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7106-6638>

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 27/12/2022	После редакции 30/01/2023	Принята в печать 28/02/2023
Received 27/12/2022	Accepted in revised 30/01/2023	Accepted 28/02/2023

Капиллярный эффект слоев резинотканевого композита

Станислав Ю. Ямилинец ¹	ymlnz@yandex.ru	 0000-0002-9598-1117
Иоланта В. Губанова ¹	iolanta23@gmail.com	 0009-0003-2827-2286
Мария Д. Козлова ¹	mdkozlova14-15@mail.ru	 0000-0001-6118-0808
Александр П. Кондратов ¹	apkrezerw@mail.ru	 0000-0001-6118-0808

¹ Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия

Аннотация. Резинотканевые композиты являются представителем класса анизотропных армированных композиционных слоистых материалов, предназначенных для эксплуатации в контакте с жидкой средой. Каждый слой композита выполняет определённую функцию при эксплуатации полиграфических машин. Слой резины расположен на поверхности материала и непроницаем для гидрофильных жидкостей, но может ограниченно набухать в органических растворителях. Слои тканей обеспечивают структурную целостность и натяжение слоистого композиционного материала и защищены от проникания жидкой среды слоями резины в плоскости перпендикулярной расположению слоёв. В плоскости параллельной расположению слоёв ткань проницаема для водных растворов, органических растворителей. Проницаемость основана на капиллярном эффекте впитывания. Для ликвидации анизотропии проницаемости армированных композиционных слоистых материалов, предложено на торцевую поверхность наносить дополнительные слои закрывающие доступ жидкости в капиллярное пространство сквозь поры, промежутки между нитями и волокнами слоёв ткани. Дополнительные слои наносят кистью или погружением в растворы суспензии и эмульсии плёнообразующих полимеров: поливинилового спирта, политетрафторэтилена и акрилового полиэфира. В статье описаны экспериментальная методика оценки пористости и расчет среднего радиуса капилляров с использованием физической модели пористой структуры композита. Капиллярное давление, приводящее к впитыванию, описывается законом Лапласа. Лабораторный стенд представляет собой модернизированный прибор Клемма–Винклера. Измерено проникновение жидкостей в пористую структуру композитного резинотканевого материала через торцевую поверхность. Рассчитаны размеры пор в структуре композита, их количество, объем, и скорость заполнения водой пор через торцевую поверхность в образцах анизотропных армированных композиционных слоистых материалов применяемых в полиграфии. Показано снижение проницаемости воды сквозь защитные слои на торцевой поверхности в зависимости от химического и фазового состава плёнообразующих полимеров. Сопоставлены диаграммы проницаемости, кинетики впитывания и таблицы параметров пористости резинотканевого композита. Определены доли капилляров различного диаметра и их распределение по площади сечения.

Ключевые слова: модификация поверхности, пористость, закон Лапласа, прибор Клемма–Винклера, резинотканевый композит.

Capillary effect of layers of rubber-fabric composite

Sergey Yu. Yamilinets ¹	ymlnz@yandex.ru	 0000-0002-9598-1117
Irina V. Gubanova ¹	iolanta23@gmail.com	 0009-0003-2827-2286
Mariya D. Kozlova ¹	mdkozlova14-15@mail.ru	 0000-0001-6118-0808
Aleksandr P. Kondratov ¹	apkrezerw@mail.ru	 0000-0001-6118-0808

¹ Moscow Polytechnic University, 38 B. Semenovskaya str., Moscow, 107023, Russia

Abstract. Rubber-fabric composites are a representative of a class of anisotropic reinforced composite laminates designed for operation in contact with a liquid medium. Each layer of the composite performs a specific function in the operation of printing machines. The rubber layer is located on the surface of the material and is impervious to hydrophilic liquids, but can swell to a limited extent in organic solvents. Layers of fabrics provide structural integrity and tension of the layered composite material and are protected from the penetration of the liquid medium by layers of rubber in a plane perpendicular to the arrangement of the layers. In a plane parallel to the arrangement of layers, the fabric is permeable to aqueous solutions and organic solvents. Permeability is based on the capillary effect of absorption. To eliminate the anisotropy of the permeability of reinforced composite layered materials, it is proposed to apply additional layers on the end surface that block the access of liquid to the capillary space through the pores, gaps between the threads and fibers of the fabric layers. An additional layer is applied by brushing or dipping into solutions of suspensions and emulsions of film-forming polymers: polyvinyl alcohol, polytetrafluoroethylene and acrylic polyester. The article describes an experimental technique for estimating porosity and calculating the average radius of capillaries using a physical model of the porous structure of the composite. The capillary pressure leading to absorption is described by Laplace's law. The laboratory stand is a modernized Klemm-Winkler device. The penetration of liquids into the porous structure of a composite rubber-fabric material through the end surface was measured. The sizes of pores in the structure of the composite, their number, volume, and the rate of filling of pores with water through the end surface in samples of anisotropic reinforced composite layered materials used in printing were calculated. A decrease in water permeability through protective layers on the end surface is shown depending on the chemical and phase composition of film-forming polymers. Diagrams of permeability, absorption kinetics and tables of porosity parameters of the rubber-fabric composite are compared. The proportions of capillaries of different diameters and their distribution over the cross-sectional area were determined.

Keywords: surface modification, porosity, Laplace's law, Klemm-Winkler device, rubber-fabric composite.

Для цитирования

Ямилинец С.Ю., Губанова И.В., Козлова М.Д., Кондратов А.П. Капиллярный эффект слоев резинотканевого композита // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 233–239. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-233-239

For citation

Yamilinets S.Yu., Gubanova I.V., Kozlova M.D., Kondratov A.P. Capillary effect of layers of rubber-fabric composite. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 233–239. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-233-239

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

Введение

Резинотканевые композитные полотна набухают в жидкостях благодаря физической сорбции и капиллярному эффекту [1]. Используемые в полиграфии резинотканевые композиционные полотна при работе контактируют с красками, лаками и технологическими жидкостями, но не подвержены набуханию, поскольку верхняя рабочая поверхность полотна из резины защищает остальные слои ткани и вспененной резины [2, 3]. Однако торцевые поверхности полотна могут контактировать с используемыми увлажняющими растворами и смывками [4, 5]. Ранее исследовано физическое набухание резинотканевых композитов и изменение их механических и эксплуатационных свойств [1–3]. Под влиянием воды и водных растворов значительно ухудшаются свойства композита при циклических сжатиях.

Для предотвращения негативного эффекта набухания полотна предложено защищать торцы композита тонким слоем лака получаемого из суспензии фторопласта (Ф4Д), водного раствора поливинилового спирта (ПВС) или эмульсии акрилового полиэфира (АСМ) [6, 7]. На базе методик оценки гигроскопичности бумаги, количества и размера пор была разработана новая методика. Ранее такие задачи решались оптико-акустическим методом [8–11], но в отличие от него предложенная методика не требует специального оборудования и может быть выполнена на аналитических весах.

Согласно капиллярной модели пористость резинотканевых полотен эквивалентна серии каналов, структура которых более сложная, чем структура отдельного капилляра. Капиллярная структура полотна состоит из пор вспененной резины, межфазового пространства между нитями и их волокнами. Физически эта структура представляется в виде пакета параллельных капилляров различного диаметра. Капилляры расположены вдоль основной нити, вдоль утка и перпендикулярно полотну. В случае перпендикулярного расположения капилляров их длина равна толщине полотна, в остальных случаях длина не ограничена. Для описания пористости пакета параллельных капилляров существуют математические модели расчета по формулам Пуазеля, Лапласа, Лапласа–Пуассона, Юнга–Лапласа, Пюизё [12, 13].

Наиболее часто используется физическая модель пористой структуры, в которой полотно представлено в виде пакета прямых капилляров различного диаметра. В качестве структурного элемента подлежащего экспериментальному определению является средний диаметр капилляров и доля пористости композитного резинотканевого полотна соответствующая капиллярам определенного диаметра. Распределение капилляров

по средним размерам определяется по известной зависимости высоты поднятия жидкости от диаметра капилляра [14–20].

Следует учитывать, что в ткани могут присутствовать не только цилиндрические капилляры, но и другие микроструктуры (сферические поры или плоские трещины), которые существенно влияют на скорость смачивания и растекание жидкости.

Пористость – объем пор, пустот и капилляров, содержащихся в 1 см³ композита, определяется расчетным способом по результатам взвешивания образца полотна насыщенного жидкостью:

$$P = \frac{V_{\text{пор}}}{V_{\text{композита}}} \quad (1)$$

где $V_{\text{пор}}$ – объем пор; $V_{\text{композита}}$ – объем композита.

Так как капилляры ткани и бумаги не имеют определенной формы и различаются размерами, то вводится условный показатель – средний радиус пор, определяемый на основании изучения кинетики впитывания.

Относительное количество пор (N) среднего радиуса (r) на единицу площади горизонтального сечения резинотканевого композита можно рассчитать, исходя из плотности жидкости и материала. При этом мы предполагаем, что капилляры располагаются строго вертикально.

$$N = \frac{V_{\text{пор}}}{h \pi r^2} \quad (2)$$

Капиллярная структура бумаги и ткани представляется как система правильных цилиндрических капилляров одинакового радиуса (r). Капиллярное давление (P), приводящее к впитыванию, зависит от радиуса капилляров r и межмолекулярных сил притяжения обуславливающих натяжение поверхности жидкости на межфазной границе с воздухом. Величина капиллярного давления оценивается по поверхностному натяжению жидкости (σ) и краевому углу смачивания (θ) гладкой горизонтальной поверхности материала (закон Лапласа):

$$\Delta P = \frac{2\sigma \cos \theta}{r} \quad (3)$$

Время впитывания, т. е. время течения жидкости по вертикальному капилляру определенного диаметра зависит от вязкости жидкости:

$$r_i = \frac{2\eta h_i}{\pi t_i \sigma g} \quad (4)$$

где r_i – средний радиус капилляров i -того образца, м; η – вязкость жидкости, Па·с или Н·с/м²; σ – поверхностное натяжение жидкости, Н/м; t_i – время поднятия до верхней границы i -го образца, с; h_i – высота поднятия жидкости до верхней границы i -го образца, м; g – ускорение свободного падения, м/с²,

Решая систему уравнений 3 и 4 мы получим:

$$t = \frac{2\eta h}{\pi r \sigma g} \quad (5)$$

где t – время впитывания, σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости, h – высота подъёма жидкости в капилляре определенного размера, η – вязкость жидкости, r – средний радиус капилляра.

Материалы и методы

В методике использовали модернизированный прибор «Клемма–Винклера», секундомер и аналитические весы [14].

Модernизированный прибор «Клемма–Винклера» представляет собой вертикально расположенную металлическую линейку, вдоль которой стопкой закреплены вырезанные из пористого композита образцы призматической формы высотой 2–5 мм плотно соприкасающиеся друг с другом торцами (рисунок 1). Нижний образец композита стоит на пропитанной губке, погруженной в исследуемую жидкость (дистиллированную воду) до её верхнего края.

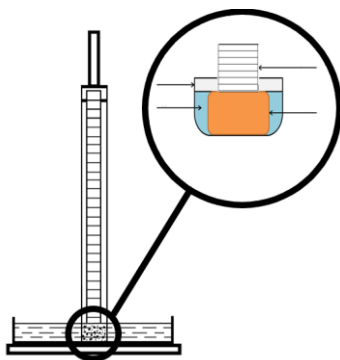


Рисунок 1. Прибор Клемма–Винклера модернизированный

Figure 1. The Terminal–Winkler device is upgraded

В качестве образца пористого композита используется многослойное офсетное резиноканевое полотно различных марок с внешним верхним слоем нитрилбутадиенового каучука (NBR) или этилен-пропиленового каучука EPDM и внешним нижним слоем хлопчатобумажной ткани. В конструкции полиграфических машин строго определено положение полотна на металлическом офсетном цилиндре: нити основы нижнего слоя хлопчатобумажной ткани должны располагаться вдоль цилиндра для уменьшения растяжения и искажений печатных элементов. Исходя из этого образцы для экспериментальной оценки глубины и скорости впитывания жидкостей в резиноканевые полотна, следует вырезать в поперечном направлении, перпендикулярно утке нитей основы нижнего слоя хлопчатобумажной ткани.

Нижний образец пористого материала, контактирующий с поверхностью исследуемой

жидкости, может иметь «чистый» торец (срез) или «окрашенный», закрытый для капиллярного потока защитным слоем полимера. Защитный слой получают путем «окрашивания» любым способом, т. е. нанесения жидкой композиции высокомолекулярного соединения: суспензии фторопласта (Ф4Д), водного раствора поливинилового спирта (ПВС), эмульсии акрилового полиэфира (АСМ).

На лабораторном стенде фиксируются значения массы образцов до и после эксперимента, высота и время подъема жидкости до верхней границы каждого образца.

Средний радиус капилляров (r) в каждом образце находим по формуле 4.

Распределение капилляров по размерам определяют по массе воды «поднятой» капиллярными силами до высоты расположения каждого призматического образца материала в вертикальной стопе. Для этого каждый призматический образец имеет строго определенную высоту и до расположения на вертикальной металлической линейке взвешивается на аналитических весах. Отклонение высоты и исходной массы образцов от средней величины не должно превышать $\pm 5\%$. В случае отклонения размер образцов уменьшается до средней величины массы. Снизу стопка образцов постоянно смачивается жидкостью комнатной температуры ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) и выдерживается постоянной по уровню расположения поверхности и температуре до остановки подъема жидкости. После остановки поднятия жидкости стопку разбирают. Массу жидкости определяют в каждом i -том образце. Для этого находят разницу массы образца после окончания поднятия жидкости и исходной массы. Массу образцов определяют путем взвешивания на аналитических весах в закрытом стеклянном боксе. Массу жидкости в каждом i -том образце определяют из уравнения 6:

$$m_{\text{жидкости}} = m_i - m_{i0} \quad (6)$$

где m_i и m_{i0} – масса смоченного i -того образца в линейке и масса сухого i -того образца, г, соответственно.

Площадь сечения капилляров в i -том слое можно рассчитать по формуле 7

$$S_i = \frac{m_{\text{жидкости}}}{\rho_{\text{жидкости}} h_i} \quad (7)$$

где S_i – площадь капилляров в i -том слое, м^2 ; $m_{\text{жидкости}}$ – масса жидкости в i -том образце, кг; $\rho_{\text{жидкости}}$ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; h_i – Высота капилляров в i -том слое, м.

Рассчитывают $\sum S$ и принимают эту сумму за 100 %. Определяют долю площади капилляров каждого i -того образца в пачке.

Результаты

Были протестированы несколько полотен для определения наиболее гигроскопичного материала для дальнейшей обработки торца (рисунок 2). Эксперимент проходил до завершения подъема жидкости, то есть когда масса жидкости в образцах не менялась значительное время.

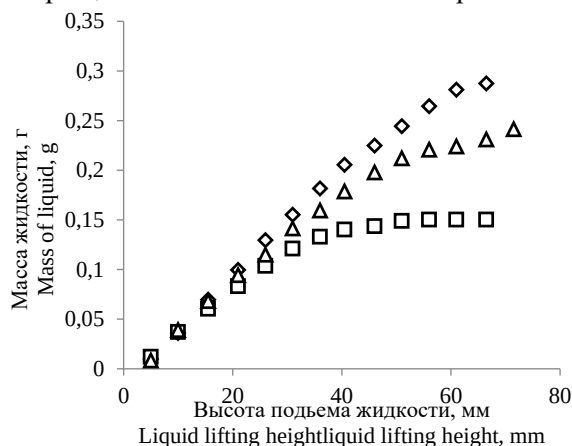


Рисунок 2. Зависимость массы жидкости в ОРТП от высоты. ▲ – 1000, ■ – Explorer, ◆ – Blankets

Figure 2. The dependence of the mass of the liquid in the offset rubber blanket on the height of ▲ -1000, ■ – Explorer, ◆ – Blankets

Защита торца офсетного резинотканевого полотна суспензией фторопласта уменьшает высоту проникновения жидкости на 15 %, при этом время проникновения сопоставимо с образцом без защиты торцевой поверхности (рисунок 3). Защита торца эмульсией акрилового полиэфира уменьшает высоту проникновения жидкости на 87 % и время проникновения увеличивается на порядок (рисунок 3).

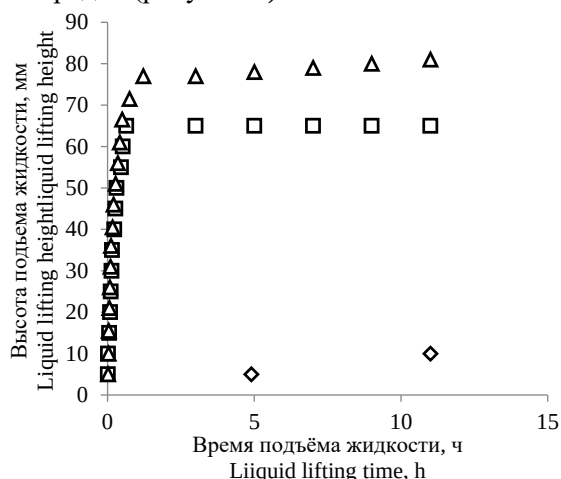


Рисунок 3. Зависимость высоты подъема воды в порах ОРТП «Blankets» от времени. ▲ – образец с открытым торцом. Образцы с торцом покрытым защитным слоем: ■ – Ф4Д, ◆ – АСМ

Figure 3. Dependence of the height of the rise of water in the pores of the offset rubber blanket "Blanks" on time. ▲ – a sample with an open end. Samples with the end covered with a protective layer: ■ – F4D, ◆ – ACM

У чистого образца сорбированная масса жидкости выше. Защита торца суспензией фторопласта (Ф4Д) уменьшает сорбцию на 20%, а АСМ на 93% (рисунок 4).

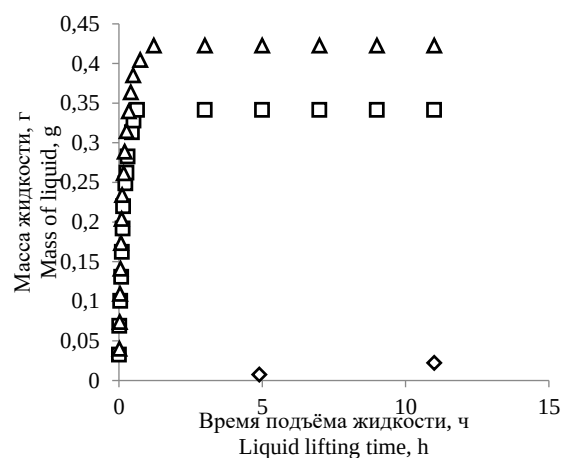


Рисунок 4. Зависимость массы воды проникающей в линейку образцов ОРТП «Blankets» от времени. Образец с открытым торцом ▲ – и с торцом покрытым защитным слоем: ■ – Ф4Д, ◆ – АСМ

Figure 4. Dependence of the mass of water penetrating into the line of samples of offset rubber blanket "Blanks" on time. Sample with an open end face ▲ and with an end covered with a protective layer: ■ – F4D, ◆ – ACM

Средний радиус капилляров, по которым происходит поднятие жидкости, показывает, что защита торца эмульсией акрилового полиэфира (АСМ) оставляет открытым только очень тонкие капилляры и вода по ним поднимается ниже, чем у других образцов (рисунок 5).

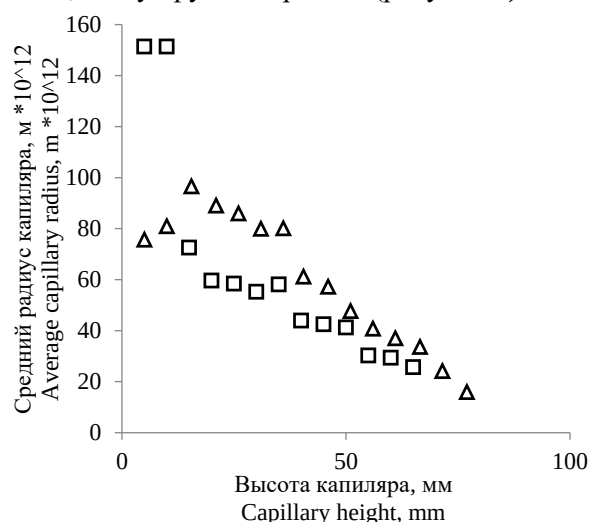


Рисунок 5. Зависимость среднего радиуса от высоты капилляра в образце ОРТП «Blankets». ▲ – с открытым торцом, ■ – Ф4Д

Figure 5. Dependence of the average radius on the height of the capillary in the sample offset rubber blanket "Blanks". ▲ – with an open end, ■ – F4D

Суспензии фторопласта (Ф4Д) закрывает крупные капилляры и практически не влияет на количество мелких и средних капилляров (рисунок 6). Эмульсии акрилового полиэфира (АСМ) закрывает на торцевой поверхности композита крупные и средние капилляры, но оставляет открытыми и доступными для воды очень тонкие капилляры, проницаемость которых не позволяет заполнять за время эксперимента крупные и средние пустоты расположенные выше, т. е. за защитным слоем лака (рисунок 7).

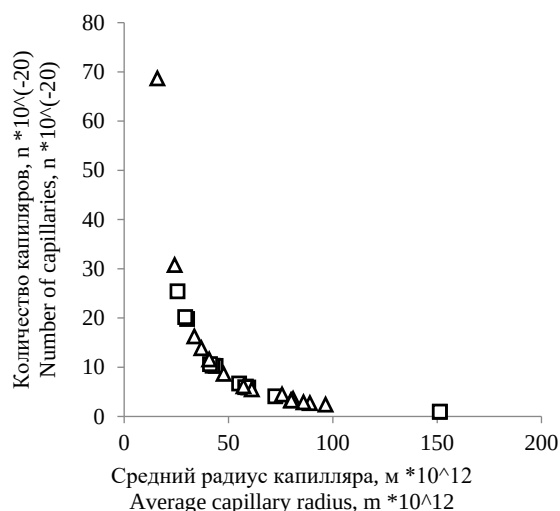


Рисунок 6. Распределение капилляров в образце ОРТП «Blankets» по величине их условного радиуса. Образец ▲ – с открытым торцом, с торцом закрытым слоем – Ф4Д

Figure 6. Distribution of capillaries in the sample of offset rubber blanket "Blanks" according to the size of their conditional radius. Sample ▲ – with an open end, with a closed end layer ■ – F4D

Зная массу воды проникающей в каждый фрагмент стопы пористого материала и высоту подъема воды, получаем график распределения относительной площади капилляров в образце доступных для заполнения жидкостями за время эксперимента (рисунок 7).

Так как малая высота капилляров заполненных водой за время эксперимента показывает глубину проникновения жидкости в пористый материал, то можно предположить, что негативное влияние набухания на печатные свойства полотна будет локализовано защитным слоем АСМ лака и не превышает 10–15 мм.

График зависимости пористости от высоты подъема наглядно показывает разницу в капиллярном эффекте полотен «Blankets» с различным защитным слоем лака на торцах (рисунок 8).

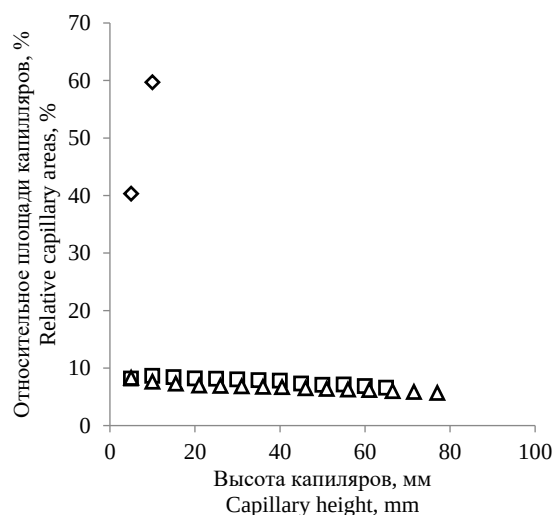


Рисунок 7. Распределение относительной площади капилляров в образце ОРТП «Blankets» по высоте подъема. Образец ▲ – с открытым торцом, ■ – Ф4Д, ◆ – АСМ

Figure 7. Distribution of the relative capillary area in the sample of the ORTP "Blankets" by lifting height. Sample: ▲ – with an open end, ■ – F4D, ◆ – AFM

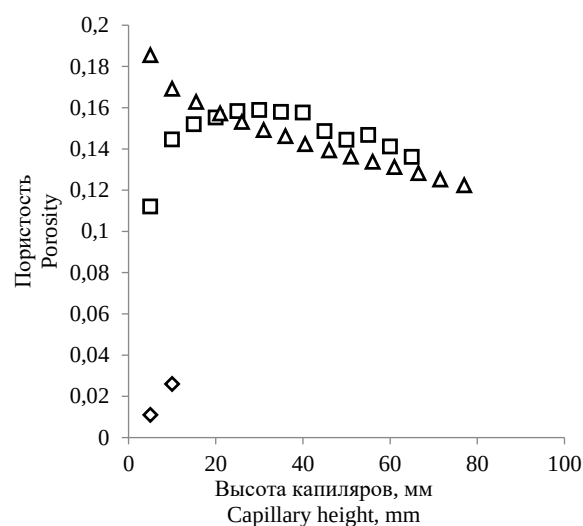


Рисунок 8. Распределение заполненных водой пор и капилляров в образце ОРТП «Blankets» по высоте стопы. Образец ▲ – с открытым торцом, ■ – Ф4Д, ◆ – АСМ

Figure 8. Distribution of water-filled pores and capillaries in the sample of offset rubber blanket "Blanks" by foot height. Sample: ▲ – with an open end, ■ – F4D, ◆ – AFM

Закключение

Модификация резинотканевого полотна путем локального нанесения лака на микропористые поверхности эмульсией акрилового полиэфира формирует защитное покрытие, которое уменьшают скорость и глубину проникновения жидкой среды в торец офсетного полотна, что позволяет увеличить рабочую поверхность печатного цилиндра, обеспечить качество широкоформатной печати и уменьшить отходы полиграфического производства.

Литература

- 1 Мельников А.В., Румянцева Ю.М., Стоянова Л.Н. Влияние увлажняющих растворов на офсетные резинотканевые полотна // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2003. № 4. С. 17–22.
- 2 Барковский Е.В., Медяк Д.М. Исследование модели краскопереноса с учетом закономерностей износа офсетного полотна // Труды БГТУ. № 9. Издательское дело и полиграфия. 2016. № 9(191). С. 58–61.
- 3 Капуста, Т.В., Харитонов Е.Е. Исследование и сравнение печатно-технических свойств резинотканевых полотен для офсетных печатных машин // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2013. № 2. С. 36–42.
- 4 Нечипоренко Н.А., Иванова Н.А., Бердовщикова А.В., Николаев А.В. Исследование технологических свойств резинотканевых полотен для листовых машин плоской офсетной печати // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2013. № 6. С. 43–50.
- 5 Байдаков Д.И. Кинетика набухания шитых эластомеров в растворителях // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2013. № 2. С. 003–008.
- 6 Ямилинец С.Ю., Лоцикая А.В., Кондратов А.П. Физико-химическая стойкость и амортизирующие свойства полимерных композитов с защитной оболочкой // Лакокрасочные материалы и их применение. 2023. № 3. С. 50–55.
- 7 Ямилинец С.Ю., Дмитриев Л.Д., Кондратов А.П. Деформация и изменение прочностных свойств многослойных полотен в результате набухания в смесях органических растворителей разной липофильности // Механика композиционных материалов и конструкций. 2022. Т. 28. № 2. С. 255–273.
- 8 Хохлова Т.Д., Пеливанов И.М., Карабутов А.А. Методы оптико-акустической диагностики биотканей // Акустический журнал. 2009. Т. 55. № 4–5. С. 672–683.
- 9 Карабутов А.А., Кобелева Л.И., Подымова Н.Б., Чернышова Т.А. Лазерный оптико-акустический метод локального измерения упругих модулей композиционных материалов, упрочненных частицами // Техническая акустика. 2008. Т. 8. С. 19.
- 10 Максачук А.И., Леонов Г.В. Оптико-акустический метод дистанционного контроля размеров дисперсных частиц // Техническая акустика. 2009. Т. 9. С. 4.
- 11 Карабутов А.А., Подымова Н.Б. Лазерный оптико-акустический метод измерения пористости газотермических покрытий на металлической подложке // Техническая акустика. 2010. Т. 10. С. 15.
- 12 Турусбекова, Н.К. К вопросу о расчетах пористости текстильной основы композита в зависимости от деформации // Наука и новые технологии. 2008. № 5–6. С. 17–19.
- 13 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019614669, RU. Программа для расчета пористости покрытия / Иванов К.А., Стрелков М.Н. № 2019613393; Заявл. 02.04.2019; Опубл. 10.04.2019.
- 14 Агеев М.А. Способ определения среднего радиуса пор бумаги // Инновации – основа развития целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности: сборник материалов VI Всероссийской отраслевой научно-практической конференции. 2018. С. 23–27.
- 15 Kondratov A., Konyukhov V., Yamilinets S., Marchenko E. et al. Compression Relaxation of Multi-Structure Polymer Composites in Penetrating Liquid Medium // Polymers. 2022. V. 14. №. 23. P. 5177. doi: 10.3390/polym14235177
- 16 Horiashchenko S., Musiał J., Horiashchenko K., Polasik R. et al. Mechanical properties of polymer coatings applied to fabric // Polymers. 2020. V. 12. №. 11. P. 2684. doi: 10.3390/polym12112684
- 17 Amado J.C.Q., Ross P.G., Sanches N.B., Pinto J.R.A. et al. Evaluation of elastomeric heat shielding materials as insulators for solid propellant rocket motors: a short review // Open Chemistry. 2020. V. 18. №. 1. P. 1452-1467. doi: 10.1515/chem-2020-0182
- 18 Xu X., Wang G., Yan H., Yao X. Constitutive relationship of fabric rubber composites and its application // Composite Structures. 2022. P. 116302. doi: 10.1016/j.compstruct.2022.116302
- 19 Cho J.R. Anisotropic large deformation and fatigue damage of rubber-fabric braid layered composite hose // Procedia engineering. 2017. V. 173. P. 1169-1176. doi: 10.1016/j.proeng.2016.12.097
- 20 Xu X., Yan H., Xiao C., Yao X. An anisotropic hyper-visco-pseudo-elastic model and explicit stress solutions for fabric reinforced rubber composites // International Journal of Solids and Structures. 2022. V. 242. P. 111519. doi: 10.1016/j.ijsolstr.2022.111519

References

- 1 Melnikov A.V., Rumyantseva Yu.M., Stoyanova L.N. The effect of moisturizing solutions on offset rubber fabrics. News of higher educational institutions. Problems of printing and publishing. 2003. no. 4. pp. 17-22. (in Russian).
- 2 Barkovsky E.V., Medyak D.M. Investigation of the paint transfer model taking into account the wear patterns of offset canvas. Proceedings of BSTU. no. 9. Publishing and printing. 2016. no. 9(191). pp. 58-61. (in Russian).
- 3 Kapusta, T.V., Kharitonova E.E. Research and comparison of printing and technical properties of rubber fabrics for offset printing machines. Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1: Natural and Technical Sciences. 2013. no. 2. pp. 36-42. (in Russian).
- 4 Nechiporenko N.A., Ivanova N.A., Berdovschikova A.V., Nikolaev A.V. Research of technological properties of rubber-woven fabrics for flat offset printing machines. News of higher educational institutions. Problems of printing and publishing. 2013. no. 6. pp. 43-50. (in Russian).
- 5 Baidakov D.I. Kinetics of swelling of cross-linked elastomers in solvents. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problems of printing and publishing. 2013. no. 2. pp. 003-008. (in Russian).
- 6 Yamilinets S.Yu., Lozitskaya A.V., Kondratov A.P. Physico-chemical resistance and shock-absorbing properties of polymer composites with a protective shell. Paint and varnish materials and their application. 2023. no. 3. pp. 50-55. (in Russian).
- 7 Yamilinets S.Yu., Dmitriev L.D., Kondratov A.P. Deformation and change of strength properties of multilayer canvases as a result of swelling in mixtures of organic solvents of different lipophilicity. Mechanics of composite materials and structures. 2022. vol. 28. no. 2. pp. 255-273. (in Russian).

- 8 Khokhlova T.D., Pelivanov I.M., Karabutov A.A. Methods of optical-acoustic diagnostics of biological tissues. Acoustic magazine. 2009. vol. 55. no. 4-5. pp. 672-683. (in Russian).
- 9 Karabutov A.A., Kobeleva L.I., Podymova N.B., Chernyshova T.A. Laser optical-acoustic method of local measurement of elastic modules of composite materials hardened by particles. Technical acoustics. 2008. vol. 8. pp. 19. (in Russian).
- 10 Maksachuk A.I., Leonov G.V. Optical-acoustic method of remote control of the sizes of dispersed particles. Technical acoustics. 2009. vol. 9. pp. 4. (in Russian).
- 11 Karabutov A.A., Podymova N.B. Laser optical-acoustic method for measuring the porosity of gas-thermal coatings on a metal substrate. Technical acoustics. 2010. vol. 10. pp. 15. (in Russian).
- 12 Turusbekova, N.K. On the question of calculating the porosity of the textile base of a composite depending on deformation. Science and New Technologies. 2008. no. 5-6. pp. 17-19. (in Russian).
- 13 Ivanov K.A., Strelkov M.N. Program for calculating the porosity of the coating. Certificate of state registration of the computer program RF, no. 2019614669, 2019.
- 14 Ageev M.A. A method for determining the average pore radius of paper. Innovations – the basis for the development of pulp and paper and timber processing industry: a collection of materials of the VI All-Russian branch scientific and practical conference. 2018. pp. 23-27. (in Russian).
- 15 Kondratov A., Konyukhov V., Yamilinets S., Marchenko E. et al. Compression Relaxation of Multi-Structure Polymer Composites in Penetrating Liquid Medium. Polymers. 2022. vol. 14. no. 23. pp. 5177. doi: 10.3390/polym14235177
- 16 Horiashchenko S., Musiał J., Horiashchenko K., Polasik R. et al. Mechanical properties of polymer coatings applied to fabric. Polymers. 2020. vol. 12. no. 11. pp. 2684. doi: 10.3390/polym12112684
- 17 Amado J.C.Q., Ross P.G., Sanches N.B., Pinto J.R.A. et al. Evaluation of elastomeric heat shielding materials as insulators for solid propellant rocket motors: a short review. Open Chemistry. 2020. vol. 18. no. 1. pp. 1452-1467. doi: 10.1515/chem-2020-0182
- 18 Xu X., Wang G., Yan H., Yao X. Constitutive relationship of fabric rubber composites and its application. Composite Structures. 2022. pp. 116302. doi: 10.1016/j.compstruct.2022.116302
- 19 Cho J.R. Anisotropic large deformation and fatigue damage of rubber-fabric braid layered composite hose. Procedia engineering. 2017. vol. 173. pp. 1169-1176. doi: 10.1016/j.proeng.2016.12.097
- 20 Xu X., Yan H., Xiao C., Yao X. An anisotropic hyper-visco-pseudo-elastic model and explicit stress solutions for fabric reinforced rubber composites. International Journal of Solids and Structures. 2022. vol. 242. pp. 111519. doi: 10.1016/j.ijsolstr.2022.111519

Сведения об авторах

Станислав Ю. Ямилинец аспирант, кафедра инновационные материалы printмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, ymlnz@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9598-1117>

Иоланта В. Губанова студент, кафедра инновационные материалы printмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, iolanta23@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0003-2827-2286>

Мария Д. Козлова студент, кафедра Инновационные материалы printмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, mdkozlova14-15@mail.ru

 <https://orcid.org/>

Александр П. Кондратов д.т.н., профессор, заведующий кафедрой, кафедра инновационные материалы printмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, apkrezerv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6118-0808>

Вклад авторов

Станислав Ю. Ямилинец обзор литературных источников по исследуемой проблеме, выполнил расчеты, написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Иоланта В. Губанова провела эксперимент

Мария Д. Козлова провела эксперимент

Александр П. Кондратов консультация в ходе исследования, написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Sergey Yu. Yamilinets graduate student, innovative materials of the print media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, ymlnz@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9598-1117>

Irina V. Gubanova student, innovative materials of the print media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, iolanta23@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0003-2827-2286>

Mariya D. Kozlova student, innovative materials of the print media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, mdkozlova14-15@mail.ru

 <https://orcid.org/>

Aleksandr P. Kondratov Dr. Sci. (Engin.), professor, head of the department, innovative materials of the print media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, apkrezerv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6118-0808>

Contribution

Sergey Yu. Yamilinets review of literary sources on the problem under study, performed calculations, wrote the manuscript, corrected it before submission to the editorial office and is responsible for plagiarism

Irina V. Gubanova conducted an experiment

Mariya D. Kozlova conducted an experiment

Aleksandr P. Kondratov consultation during the study, wrote the manuscript, corrected it before submission to the editor and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 16/01/2023	После редакции 02/02/2023	Принята в печать 03/03/2023
Received 16/01/2023	Accepted in revised 02/02/2023	Accepted 03/03/2023

О перспективах применения полимерных материалов для сорбентов предназначенных для очистки воды от нефтепродуктов.

Алексей М. Толстов¹ tolstovalex2029@gmail.ru  0000-0003-2266-9613
Юлия А. Наумова¹ naumova_yulia@mail.ru  0000-0001-9968-8244

¹ Российский технологический университет, пр-т Вернадского, 78, г. Москва, 119454, Россия

Аннотация. Экологическая безопасность занимает важнейшее место при добычи полезных ископаемых таких как нефть. Оптимальным решением при возникновении внештатных ситуаций на производстве и разливах углеводородов является использование механического способа ликвидации с применением специальных сорбентов. Эволюция нефтесорбирующих материалов на сегодня не имеет точной классификации. Условно их можно разделить на неорганические, природные и синтетические. Эффективность применения зависит от нефтесорбирующей емкости, многократности применения, гидрофобности и олеофильности, а также отсутствия токсичности при эксплуатации. Современные технологии позволили создавать сорбенты на основе вспененных полимерных материалов, способных перекачивать тонны нефти при весе 1 кг. За последние 10 лет авторы посвятили изучению модификации вспененных полимерных для создания супергидрофобных/суперолеофиновых сорбентов. Однако, многие работы так и не вышли за рамки лаборатории, в виду сложности и дороговизны продукта. Цель данной статьи выявить наиболее перспективный класс полимерных материалов с эффективными нефтесорбирующими свойствами. Сравнительный анализ представленный в работе дает обоснования выбора в качестве нефтесорбирующего вспененного материала неполярных полимеров. Благодаря природной гидрофобности и олеофильности, эластичности, доступности сырья на отечественном рынке, дает потенциал развития в этом направлении. Не изученными остаются свойства вспененных полимерных материалов на основе этилен-пропилен-диеновых каучуков, обладающих, по мимо прочего, атмосферостойкостью, широким температурным диапазоном применения, что важно для эксплуатации в условиях крайнего севера или экваториальных морей, где многие другие полимеры теряют свои способности эффективно собирать разливы, высоконаполняемостью при производстве смеси, позволяющую модифицировать состав. К положительным фактам добавляется достаточно хорошо изученная технология вспенивания открытопористых полимерных материалов на основе неполярных эластомеров.

Ключевые слова: нефтесорбирующие свойства, нефтяные разливы, неполярный полимер, открытая пора, гидрофобность, олеофильность, этилен-пропилен-диеновый каучук.

On the prospects for the use of polymeric materials for sorbents intended for water purification from oil products

Aleksey M. Tolstov¹ tolstovalex2029@gmail.ru  0000-0003-2266-9613
Yulia A. Naumova¹ naumova_yulia@mail.ru  0000-0001-9968-8244

¹ Russian Technological University, Vernadsky Av., 78 Moscow, 119454, Russia

Abstract. Environmental safety occupies a major place in the extraction of minerals such as crude oil. The optimal outcome in the event of emergency situations during the production and spill of hydrocarbons is the use of mechanical frequent discharge using special sorbents. The evolution of oil-sorbing materials today does not have such filtration. Conventionally, they can be divided into inorganic, natural and synthetic. Efficiency depends on the use of oil-absorbing capacity, variety of applications, hydrophobicity and oleophilicity, as well as mandatory toxicity during operation. Modern technologies create sorbents based on foamed polymeric materials capable of pumping tons of oil by weight of 1 kg. Over the past 10 years, the authors have devoted to research to the modification of foamed polymeric materials to create superhydrophobic/superolefin sorbents. However, many works did not go beyond the laboratory, due to the complexity and high cost of the product. The purpose of this article is to identify the most promising polymeric materials with effective classes of oil-sorbing properties. A comparative analysis is presented in the paper justifying the choice of the quality of oil-absorbing foam material of non-polar polymers. Due to the natural hydrophobicity and oleophilicity, elasticity, availability of Russian offers on the market, there are opportunities for the development of this direction. The properties not explored of foamed polymeric materials based on ethylene-propylene-diene rubbers, which, among other things, have weather resistance, a wide temperature range of application, which is important for operation in the Far North or equatorial seas, where many other polymers lose their ability to effectively collect spills, high ability to fill up in the production of the mixture, which allows modifying the composition. A well-studied technology for foaming open-cell polymeric materials based on non-polar elastomers is added to the positive facts.

Keywords: oil-sorption, raw oil, non-polar polymer, open-cell, hydrophobicity, oleophilicity, ethylene-propylene-diene rubber.

Для цитирования

Толстов А.М., Наумова Ю.А. О перспективах применения полимерных материалов для сорбентов предназначенных для очистки воды от нефтепродуктов. // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 240–248. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-240-248

For citation

Tolstov A.M., Naumova Yu.A. On the prospects for the use of polymeric materials for sorbents intended for water purification from oil products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 240–248. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-240-248

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

Введение

Проблема борьбы с нефтеразливами имеет стратегическое значение для экологической безопасности нашей планеты. Неуклонный рост исследований и разработок, направленных на эффективную ликвидацию нефтеразливов с поверхности воды, свидетельствует об ее актуальности несмотря на текущие достижения [1–4].

За последний век в результате добычи, транспортировки и переработки нефти произошли масштабные для всего мира катастрофы, последствия которых необратимо погубили целые экосистемы во многих регионах планеты. В 2010 году на морской нефтедобывающей платформе Deepwater Horizon в Мексиканском заливе произошел взрыв, вслед за ним начался пожар, устье скважины разгерметизировалось, и неукротимый фонтан нефти забил в море. В воды залива, по первым оценкам, стало поступать 5–19 тыс. баррелей нефти в сутки [5].

Существенным источником загрязнения окружающей среды помимо разливов нефтепродуктов считаются неочищенные или частично очищенные производственные сточные воды предприятий нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, металлургической, химической и других видов промышленности. Также значительное количество нефтепродуктов попадает в водные объекты с прилегающих промышленных территорий во время дождей и снеготаяния. В сточных водах нефтепродукты могут находиться в свободном и связанном состояниях [6].

Представители Международной Ассоциации производителей нефти и газа (OGP) называют оптимальным решением ликвидаций нефтеразливов использование механического способа, дополненного последующей доочисткой водоема, что стало одной из ключевых тем 22-ой международной выставки Neftegas – 2023 «Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса».

Одним из способов ликвидации утечки нефти на водной поверхности является ее сбор при помощи специальных сорбентов. На сегодняшний день нет однозначно принятой классификации нефтесорбентов. За последние десятки лет спектр сорбентов, применяемых для борьбы с нефтеразливами, совершенствуется благодаря привлечению инновационных природных, искусственных и синтетических материалов, а также внедрению технических решений, направленных на повышение эффективности сорбентов за счет их дополнительной обработки или модификации.

В связи с многообразием сорбентов по природе происхождения, способу и глубине очистки вод и пр. в определенных условиях использования требуется их классификация.

Автором [7] предоставлена удобная система классификации, особенно для разработчиков новых материалов, обобщающая по нескольким критериям все имеющиеся.

Согласно предложенной классификации сорбенты делятся:

- по виду основы;
- по способу использования;
- по форме;
- по структуре пор;
- по характеру смачивания;
- по плавучести;
- по водопоглощению;
- по нефтеемкости;
- по степени использования;
- по уровню сложности извлечения сорбента;
- по состоянию поверхности;
- по способу модификации;
- по степени утилизации;
- по степени экологичности утилизации отработанного сорбента;
- по степени отжима сорбата.

С точки зрения исследования свойств, разработчики в первую очередь принимают во внимание основу сорбента. Она может быть неорганической (диатомитовые породы, глины, песок, пемза, цеолиты и прочее) и органической природы (древесные опилки, высушенные зерновые продукты, модифицированные торфы, растительные и животного происхождения биодegradуемые продукты, биополимеры, натуральные и синтетические полимеры) [8–10]. Но для организаций, занимающихся ликвидацией последствий разливов, основными выступают технико-экономические параметры [11].

Возможность многократного применения сорбентов в большинстве случаев обеспечивается при выборе полимерных материалов как основы сорбента благодаря комплексу их уникальных свойств. Способность к эластичному восстановлению нефтесорбционной емкости после механических воздействий при отжиме повышает конкурентноспособность даже при более высокой себестоимости продукта [12].

Развитие полимерной индустрии определило эволюционный путь полимерных нефтесорбентов (ПНС) по двум направлениям, связанным с применением в качестве основы продуктов из синтетического и природного сырья. Последние, благодаря своей возобновляемости, способности к экологичной и не затратной утилизации, могут использоваться как индивидуально, так и как добавки к синтетическим полимерам. Известны сорбенты из целлюлозы, получаемой из определенного сорта растения – *Couroupita guianensis* [13],

с сорбционной емкостью до 15 г./г сырой нефти с возможностью повторного использования после экстракции сорбата. В качестве добавок к синтетическим полимерам применяют: хитозан, метилцеллюлозу, желатин и другие [14]. К примеру, состав вспененного полиуретана модифицировали лигнином, повышающим его биodeградацию в естественных условиях и способствующим улучшению нефтесорбирующих свойств [15].

Другая ветвь эволюции связана с использованием синтетических полимерных материалов как основы сорбентов: термопластов, термоэластопластов и каучуков общего и специального назначения.

В качестве известных рассматриваются полимеры разной полярности: от полиолефинов до сополимеров содержащих функциональные группы. На их основе созданы набухающие в органических веществах гели [16, 17], текстильные материалы [18], дисперсные полимерные материалы – продукты вторичной переработки индустрии полимеров [19] и вспененные полимерные материалы [20].

С внедрением технологии вспенивания полимерных композиционных материалов появилась возможность производить нефтесорбенты с высокой сорбционной емкостью при многократном применении [21]. Эффективность таких материалов зависит от направленного сбора нефти и отсутствия параллельного процесса сорбции воды материалом, на которой произошел разлив. Отсутствие качественной селективности вода/нефть увеличивает количество емкостей, предназначенных для хранения и транспортировки отжатой из сорбента органической жидкости. Высокая селективность нефть-вода при сборе разливов полимерным вспененным материалом обеспечивается показателями гидрофобности и олеофильности сорбента. Состав композиции и модификация поверхности вспененного полимерного сорбента позволяет регулировать эти свойства.

Полярные вспененные композиции склонны к гидрофильности, что затрудняет разделение нефти от воды [22], а неполярные полимерные материалы, напротив, гидрофобны. Но с другой стороны, благодаря сродству по неполярности полимера и сорбата, могут быть недостаточно стойкие к набуханию в нефтепродуктах, что может существенно ограничить возможности их применения. Масла и нефть, диффундируя в объем неполярного полимерного материала, ухудшают его физико-механические и технические характеристики, как следствие, уменьшается нефтесорбционная емкость при повторном использовании.

Для повышения эффективности нефтесорбирующей емкости полярных полимерных вспененных сорбентов в работах [23–25] реализована модификация состава композиции или поверхности пористого материала, обеспечивающая повышение скорости сорбции, гидрофобности, олеофильности, и прочности низкоплотных полимерных губчатых материалов.

Для исследователей полярные полимеры, такие как полиуретаны, меламины, полиэтиленвиниловые сополимеры, полисульфидные, кремнийорганические каучуки и прочие, в качестве основы вспененных нефтесорбентов, остаются высоко актуальными материалами для создания эффективного сорбента. Однако производство сорбентов на их основе, осложнено отсутствием исходных компонентов на отечественном рынке, дороговизной сырья и оборудования для их производства, присутствует высокая вероятность возникновения экологических рисков при использовании некоторых из этих материалов [26].

С каждым годом появляются все более совершенные сорбенты, при этом разработчики не забывают о релевантных параметрах, таких как безопасность, цена, доступность. Как результат, ограниченное количество новейших нефтесорбентов выходит на стадию промышленного производства и массового применения, оставляя открытым вопрос о коммерческой рентабельности анонсируемых в научно-технической литературе нефтесорбентов по критериями «цена/качество» [8–10].

Целью данной статьи является обоснованный выбор перспективных полимерных вспененных материалов, обеспечивающих требуемый комплекс технических свойств нефтесорбентов наряду с реализацией эффективных технологий их производства, на основании анализа научно-технической литературы.

Материалы и методы

Говоря о вспененных полимерных нефтесорбентах (ПНС), необходимо уточнить, что ячейки таких материалов являются открытыми, это обеспечивает проникновение жидкости в пространство между стенок ячеек сорбента. Обеспечить открытоячеистую структуру позволяют определенные технологии производства, выбор которых зависит от химической природы полимера. Для большинства эластомеров и термопластов распространены технологии физического и химического вспенивания [27].

Физическое вспенивание создается прямым впрыском газа в расплав полимера, например,

в пресс-форму [28] или экструдер [29, 30]. Таким образом, введенный в систему газ диспергируется в полимерной матрице по всему объему. Химическое вспенивание создается путем введения в полимерную композицию порофоров, разлагающихся с выделением газа в форме под давлением или в печах при атмосферном давлении. Производство полиуретановых пен, связано с наполнением композиций газообразными продуктами, которые выделяются в результате химических реакций компонентов [31].

В момент спуска давления (при открытии пресс-формы или на выходе из головки экструдера) пузырьки газа расширяются – создается вспененная структура материала. При этом, структура, геометрия, форма пор обеспечивается регулированием технологических параметров процесса, таких как температура, время и т. д. и состава композиции полимерного материала.

Для обеспечения эффективной сорбции нефтепродуктов необходимо определенное соотношение во вспененных материалах между открытыми и закрытыми порами. Принято, что 10–20% в структуре вспененного полимерного материала должны занимать закрытые поры, заполненных газом, чтобы обеспечить плавучесть сорбента на поверхности воды, и большая часть структуры является открытой, отвечающая за сорбционную способность [32].

Открытая структура пор во вспененных полимерных материалах может быть создана воздействием на закрытую ячейку механическим путем, например, дроблением или резкой жгутов после выхода полимерного вспененного материала из головки экструдера [33]. Существует другой способ формирования открытой структуры из закрытопористого материала, который применяется для сформованного в виде широкого и толстого полотна монолитного вспененного материала, путем пропуска его через зазор вращающихся навстречу друг другу валов. Такой специфический способ подходит только для высокоэластичных вспененных материалов, имеющих малые остаточные деформации после сжатия. Попадая в заведомо узкий зазор (меньше 10% от толщины заготовки) происходит избыточное давление на стенки закрытой ячейки в материале, которая, не выдерживая нагрузки, разрушается. Для обеспечения необходимой доли открытых пор вспененный материал пропускают определенное количество раз через зазор вращающихся валов, например, специального оборудования Crusher foam, Edge-Sweets Company, USA.

В лабораторной практике существует способ получения вспененного полимерного материала путем создания органогеля из растворенного полимера. Последующая вулканизация и сушка от растворителя обеспечивает получение макропористой структуры материала [24].

Широким промышленным направлением является вспенивание латекса, которое начинается с производства латексной смеси, содержащей вулканизующие агенты, активаторы, коагулянты. Смесь заливают в специальные миксеры и взбивают с добавлением вспенивающего агента до образования пены. Большое количество поглощаемого при этом воздуха равномерно распределяется в виде небольших пузырьков. Образовавшаяся пена вскоре начинает переходить в гелеобразную массу, тогда ее разливают в формы и вулканизуют при высокой температуре. По завершению готовый пористый материал промывают и сушат в среде теплого воздуха [34].

Результаты и обсуждение

Современные исследования за последние 10 лет были в целом посвящены модификациям полимерных пористых сорбентов путем введения в композиции специальных ингредиентов, улучшающих их нефтесорбирующие свойства, или обработкой поверхности открытопористых материалов специальными составами.

Для улучшения нефтесорбирующих свойств путем модификации поверхности сорбентов применяются специальные гидрофобные составы, обеспечивающие барьер проникновению полярных жидкостей и, наоборот, способствуют сорбции неполярных органических веществ. Также обработка поверхности специальными составами придает пористому материалу защиту от набухания или растворения в органических жидкостях. В ряде случаев предлагаемые модификаторы поверхности являются токсичными [22] или труднодоступными веществами для реализации промышленного производства сорбентов, процедура модификация предполагает дополнительные технологические операции и использование специального оборудования, что повышает себестоимость конечного продукта.

Учитывая, что вспененный полимерный материал является многокомпонентным по своему составу, с точки зрения крупнотоннажного производства наиболее эффективным решением является проектирование составов композиций, путем модификации полимерной основы или введения целевых компонентов, регулирующих структурные параметры сорбирующего мате-

риала, что не приводит к усложнению технологического процесса производства. При этом в формировании требуемого комплекса свойств могут быть использованы ингредиенты, которые повышают безопасность применения сорбентов: снижая их горючесть за счет введения антипиренов или способствуя биодegradации в естественных условиях путем введения биополимеров, тем самым обеспечивая экологичную и экономичную утилизацию.

Опираясь на результаты по разработкам нефтесорбентов и теоретические предпосылки к созданию полимерным вспененных сорбирующих материалов, обеспечивающих конкурентоспособный уровень технико-экономических показателей изделий, для ПНС наиболее перспективны в качестве основы неполярные полимеры.

Данный класс полимеров, к которым относятся полиэтилены, натуральный и синтетические каучуки (изопреновый, бутадиеновый, бутилкаучук, этилен-пропиленовый и др.) обладают сродством к нефтепродуктам, являются доступными и выпускаются отечественными заводами синтетического каучука.

На основании данных [24,35–37], обобщенных в таблице 1, проведен сопоставительный анализ нефтесорбирующих свойств вспененных открытопористых полимерных материалов на основе различных неполярных полимеров, отличающихся показателями плотности сорбента (кг/м^3). Следует отметить, что в таблице 1 сопоставлены ПНС, для которых не предусмотрена дополнительная процедура модификации поверхности. Анализ экспериментальных данных проведен на основании показателей нефтесорбирующей емкости (г/г) при первой и повторной сорбции в маслах и нефти, объединенных в пределах одного диапазона кинематической вязкости (сСТ), и кратности применения сорбентов. Целью сравнения было определение наиболее перспективного неполярного полимера в качестве основы вспененного открытопористого нефтесорбента.

Из представленных данных видно, что вспененные материалы на основе бутадиенового и бутадиен-стирольного каучуков [35] имеют лучший уровень сорбирующей способности с учетом многократного применения (больше 30 раз) и сохранения показателей нефтесорбирующей емкости на постоянном уровне с каждым последующим применением.

Вспененные материалы на основе бутилкаучука, обладая более высокой плотностью, демонстрируют более низкую сорбирующую способность по сравнению с рассмотренными выше материалами по нефти и маслу. Сопоставляя

данные работ [35, 36], в которых авторы использовали бутилкаучук одной марки, очевидны различия нефтесорбирующей способности материалов при повторных сорбциях нефти. Возможно, это обусловлено отличиями в структуре и свойствах вспененных материалов при условии идентичности используемых образцов нефти при проведении испытаний ПНС на основе полиэтилена, демонстрируя более высокий уровень нефтесорбирующей емкости по маслу по сравнению с материалами на основе бутадиенового и бутадиен-стирольного каучука при большей плотности, обеспечивают существенно меньшую способность к повторному использованию. По результатам 10 – 20 циклов повторного отжатия данный сорбент разрушался, а нефтесорбирующая емкость с каждым последующим циклом снижалась.

Для открытопористого эластомерного материала на основе латекса натурального каучука не приведены данные по изменению нефтесорбирующей емкости при повторном применении, однако многократное применение этого материала доказано. В исследовании указана плотность сорбента 150 кг/м^3 , и если обеспечить снижение плотности пористого материала на основе латекса в несколько раз, то, вероятно, можно ожидать повышение сорбирующей способности и приближение данного показателя к материалам на основе бутадиенового и бутадиен-стирольного каучуков.

Таким образом, проведенный анализ вспененных полимерных нефтесорбирующих материалов позволяет рассматривать в качестве перспективных ПНС эластомерные материалы на основе неполярных каучуков – бутадиенового и бутадиен-стирольных каучуков.

Возвращаясь к необходимым положительным свойствам, которыми должен обладать вспененный полимерный нефтесорбент нового поколения, важным параметром является атмосферостойкость. Не все неполярные полимерные материалы способны длительное время сохранять свои физико-механические свойства при длительном контакте с кислородом воздуха, озоном, влагой, морской водой, под действием ультрафиолета в широком температурном диапазоне эксплуатации. Атмосферостойкость определяется полимерной основой и ее можно повысить за счет введения в состав материала специальных стабилизаторов: антиоксидантов, антиозонантов и пр. Насыщенные или малонасыщенные неполярные полимеры обладают атмосферостойкостью, например, полиэтилены, бутилкаучуки, этилен-пропиленовые и этилен-пропилен-диеновые (СКЭПТ) каучуки.

При всем многообразии видов и марок неполярных каучуков, к сожалению, мало внимания уделено эластомерным материалам на основе СКЭПТ для нефтесорбентов. Эти эластомерные материалы, обладая комплексом ценных свойств, необходимых для нефтесорбентов, обладают высокой атмосферостойкостью, широким температурным диапазоном применения, в том числе, морозостойкостью. Достоинством СКЭПТ является способность к высокому наполнению твердыми дисперсными материалами, мягчителями и пластификаторами, при сохранении высокого уровня физико-механических и эксплуатационных свойств материалов на их основе.

Авторами [39] представлены сравнительные данные по поглощению десяти органических жидкостей вспененным полимерным материалом на основе СКЭПТ после модификации поверхности метилтрихлорсиланом. Основной целью было исследование обработанной поверхности и способности модифицированного сорбента. Авторы не привели данные по нефтесорбирующей способности для исходного, необработанного модификатором материала. Полученные результаты свидетельствуют о перспективах вспененных материалов на основе СКЭПТ для ПНС.

Таблица 1.

Нефтесорбирующая емкость открытопористых полимерных нефтесорбентов на основе неполярных полимеров при первой и повторной сорбции масла и нефти, учитывая кратность применения

Table 1.

Oil-sorbing capacity of open-cell polymeric oil sorbents based on non-polar polymers during the first and repeated sorption of oil and crude oil, taking into account the frequency of use

Полимерная основа вспененного сорбента Polymer base for foamed sorbent	Плотность, кг/м ³ Density, kg/m ³	Нефтесорбирующая емкость, г/г Oil absorbing capacity, g/g		Количество отжатой органической жидкости после повторной сорбции, г/г сорбента Amount of squeezed out organic liquid after repeated sorption, g/g sorbent	Кратность регенерации, не менее ед. Amount of regeneration, not less than units
		Первая сорбция по маслу First sorption of oil (a)	Первая сорбция по нефти First sorption of crude oil (b)		
ПЭВД LDPE [37]	15–20	38	Нет данных No data	30–38 по маслу by oil	10
Латекс НК latex NR [24]	150	-	8	-	30
Бутил каучук Butil, [36]	50	8	23	7,6 по нефти by crude oil	30
Бутил каучук ВР-1 Butil ВР-1, [35]	50	9	23	20 по нефти by crude oil	25
Бутил каучук ВР-2 Butil ВР-2 [35]	50	9	21	16 по нефти by crude oil	25
Полибутадиен CBR [35]	25	23 – 26	35 – 38	35–38 по нефти by crude oil	25
Бутадиен стирольный каучук SBR [35]	25	23 – 26	35 – 38	35–38 по нефти by crude oil	25

Примечание: а – Кинематическая вязкость масла 10–30 сСт при 40 °С; b – Кинематическая вязкость нефти 6–50 сСт при 50 °С

Note: a – Kinematic viscosity of oil 10 – 30 cSt at 40 °C; b – Kinematic viscosity of crude oil 6–50 at 50 °C

Заключение

Независимо от классификации нефтесорбентов, их основополагающими параметрами являются нефтесорбирующая емкость с возможностью повторного применения. Высокий уровень таких эксплуатационных показателей как нефтесорбирующая емкость, повторное применение, эластичность, прочность, наряду с освоенной технологий производства, позволяют рассматривать вспененные полимерные материалы как перспективный класс материалов для нефтесорбентов. Среди применяемых в настоящее время полимеров несомненный потенциал имеют неполярные каучуки в виду доступности сырья и своей природной гидрофобности и олеофильности.

Анализируя представленные в работе материалы можно отметить, что недостаточно изученными остаются ПНС на основе этилен-пропиленовых каучуков, обладающих перспективным комплексом технических показателей. В связи с этим дальнейшая экспериментальная работа будет направлена на разработку составов композиций на основе СКЭПТ и технологии производства открытопористых нефтесорбирующих материалов, обладающих улучшенным комплексом показателей по сравнению с достигнутыми на сегодняшний день результатами.

Благодарность

Автор выражает благодарность своим коллегам и руководителям международного технологического холдинга «Gavary group» за техническую поддержку в написании статьи.

Литература

- 1 Алешин И.В., Гончаров В.К., Зуева Е.С., Гетман В.Э. Борьба с аварийными разливами нефти в замерзающих морях России // *Морские интеллектуальные технологии*. 2019. № 3–2(45). С. 18–24.
- 2 Пат. № 2788206, RU, E02B 15/00, 15/04. Устройство для очистки водной поверхности / Потетюрин М.А., Катин В.Д. № 2022111662; Заявл. 27.04.2022; Оpubл. 17.01.2023.
- 3 Олышанская Л.Н., Татаринцева Е.А. Сорбенты для очистки поверхностных и сточных вод от нефти и продуктов её переработки // *Теоретическая и прикладная экология*. 2021. № 4. С. 6–11. doi: 10.25750/1995–4301–2021–4–006–011
- 4 Аминев Э.С., Дмитриев Д.В., Семенов В.М. Природный сорбент для очистки от нефтезагрязнений // *Нефть. Газ. Новации*. 2022. № 6(259). С. 84–87.
- 5 Аллан С.Э., Смит Б.В., Андерсон К.А. Воздействие разлива нефти из глубоководного горизонта на биодоступные полициклические ароматические углеводороды в прибрежных водах Мексиканского залива // *Технологии экологических наук*. 2012. Т. 46. № 4. С. 2033–2039. doi: 10.1021/es202942q
- 6 Воронов А.А., Малышкина Е.С., Фугаева А.М. Сбор и очистка поверхностных сточных вод с производственных площадок нефтепромыслов // *Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов*. Тюмень: ТИУ, 2018. Т. 1. С. 144–146.
- 7 Малышкина Е.С. Классификация сорбентов, используемых в технологиях очистки сточных вод от нефтепродуктов // *Градостроительство и архитектура*. 2020. Т. 10. № 3. С. 26–34. doi: 10.17673/Vestnik.2020.03.
- 8 Байбурдов Т.А., Шмаков С.Л. Полимерные сорбенты для сбора нефтепродуктов с поверхности водоёмов: обзор англоязычной литературы за 2000–2017 гг. (часть 1) // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология*. 2018. Т. 18. № 1. С. 36–44. doi: 10.18500/1816–9775–2018–18–1–36–44
- 9 Байбурдов Т.А., Шмаков С.Л. Полимерные сорбенты для сбора нефтепродуктов с поверхности водоёмов: обзор англоязычной литературы за 2000–2017 гг. (часть 2) // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология*. 2018. Т. 18. № 2. С. 145–153. doi: 10.18500/1816–9775–2018–18–2–145–153
- 10 Байбурдов Т.А., Шиповская А.Б. Полимерные сорбенты для сбора нефтепродуктов с поверхности водоёмов: обзор русскоязычной литературы за 2000–2017 гг. (часть 3) // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология*. 2018. Т. 18. № 3. С. 285–298. doi: 10.18500/1816–9775–2018–18–3–285–298
- 11 Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты. Москва – Ижевск, 2005. 268 с.
- 12 Кахраманлы Ю.Н. Пенополимерные нефтяные сорбенты. Экологические проблемы и их решения. Баку: «ЭЛМ», 2012. 305 с.
- 13 Cunha S.R.S., Souza Jr F.G. Adsorbent biopolymers based on *Couroupita guianensis* // *Abstracts of International Conferences & Meetings*. 2021. V. 1. № 2. P. 4–4. doi: 10.5281/zenodo.4876594
- 14 Kuen T.K.A., Zenitova L.A. Chitosan-containing polyurethane foams as oil spill absorbers // *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Chemical technology and biotechnology*. 2019. № 2. P. 7–21. doi: 10.15593/2224–9400/2019.2.01
- 15 Hwang U., Lee B., Oh B., Su Shin H. et al. Hydrophobic lignin/polyurethane composite foam: An eco-friendly and easily reusable oil sorbent // *European Polymer Journal*. 2022. V. 165. doi:10.1016/j.eurpolymj.2021.110971
- 16 Zhou M.H., Cho W.J. Oil absorbents based on styrenebutadiene rubber // *J. Appl. Polym. Sci.* 2003. V. 89. № 7. P. 1818–1824. doi:10.1002/app.12252
- 17 Keshawy M., El-Moghny T.A., Abdul-Raheim A.–R.M., Kabel K.I. et al. Synthesis and characterization of oil sorbent based on Hydroxypropyl Cellulose Acrylate // *Egyptian Journal of Petroleum*. 2013. V. 22. № 4. doi:10.1016/j.ejpe.2013.11.008
- 18 Zhang H., Zhen Q., Cui J.-Q., Liu R.-T. et al. Groove-shaped polypropylene/polyester micro/nanofibrous nonwoven with enhanced oil wetting capability for high oil/water separation // *Polymer*. 2020. P. 122356. doi:10.1016/j.polymer.2020.122356
- 19 Lin C., Huang C.L., Shern C.C. Recycling waste tire powder for the recovery of oil spills // *Resources. Conservation and Recycling*. 2008. V. 52. № 10. P. 1162–1166.
- 20 Клемпнер Д., Сендиджаревич В. Полимерные пены и технология вспенивания. Москва: Профессия, 2009. 604 с.
- 21 Узденский В.Б., Модификация полимерных материалов. Практическое руководство для технолога; 2-е издание. Санкт-Петербург: «ЦОП Профессия», 2020.
- 22 Hailan S.M., Ponnammam D., Krupa I. The Separation of Oil/Water Mixtures by Modified Melamine and Polyurethane Foams: A Review // *Polymers*. 2021. V. 13. P. 4142. doi:10.3390/polym13234142
- 23 Hu Y., Liu X., Zou J., Gu T. et al. Graphite/ Isobutylene-isoprene Rubber Highly Porous Cryogels as New Sorbents for Oil Spills and Organic Liquids // *ACS Appl. Mat. and Interfaces*. 2013. V. 5. № 16. P. 7737–7742.
- 24 Songsaeng S., Thamyongkit P., Poompradub S. Natural rubber/reduced-graphene oxide composite materials: Morphological and oil adsorption properties for treatment of oil spills // *J. Adv. Res.* 2019. V. 20. P. 79–89. doi: 10.1016/j.jare.2019.05.007
- 25 Lu Y., Li S., Chen F., Ma H. et al. Development of coin-shaped ZIF 7 functionalized superhydrophobic polysulfone composite foams for continuous removal of oily contaminants from water // *Journal of Hazardous Materials*. 2022. V. 421. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126788
- 26 Синицына О.О., Печникова И.А., Беляева Н.Н., Мамонов Р.А. и др. Новые сведения о токсичности и опасности химических и биологических веществ. Меламин (1,3,5 – триазино – 2,4,6 – триамин) // *Токсикологический вестник*. 2012. № 4 (115).
- 27 Колосова А.С., Пикалов Е.С. Современные газонаполненные полимерные материалы и изделия // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2020. № 10. С. 54–67.
- 28 Шварц О., Эбелинг Ф.–В., Фурт Б. Переработка пластмасс: подготовка сырья, технологии и оборудование, соединение полимеров, покрытия и отделка. Санкт-Петербург: Профессия, 2008. 315 с.
- 29 Кочуров Д.В., Аракелян А.Г., Паламарчук А.А., Шишакина О.А. Физические вспенивающие агенты в производстве современных пеноматериалов // *Международный студенческий научный вестник*. 2018. № 6. С. 86.

- 30 Раувендааль К. Основы экструзии. Москва: ЦОП Профессия, 2021.
- 31 Дмитриенко С.Г., Апяри В.В. Пенополиуретаны. Сорбционные свойства и применение в химическом анализе. Красанд, 2009.
- 32 Бакирова И.Н., Зенитова Л.А. Газонаполненные полимеры: учебное пособие. Казань: Изд-во Казан.гос. технол. ун-та, 2009. 105 с.
- 33 Кахраманлы Ю.Н., Юзбашева Л.Н., Фараджев Г.М. Пенополиуретан – сорбент для очистки водных поверхностей от нефти и нефтепродуктов // Азербайджанский химический журнал. 2011. № 2.
- 34 Аверко-Антонович, Р.Я. Омельченко, Н.А. Охотина, Ю.Р. Эбич Технология резиновых изделий: учеб. пособие для вузов. Л.: Химия, 1991. 352 с.
- 35 Karakutuk I., Okay O. Macroporous rubber gels as reusable sorbents for the removal of oil from surface waters // Reactive and Functional Polymers. 2010. V. 70. №. 9. P. 585-595. doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2010.05.015.
- 36 Ceylan D., Dogu S., Karacik B., Yakan S.D. Evaluation of butyl rubber as sorbent material for the removal of oil and polycyclic aromatic hydrocarbons from seawater // Env. Sci. Technol. 2009. V. 43. № 10. P. 3846–3852.
- 37 Lopez-Gonzalez E., Saiz-Arroyo C., Rodriguez-Perez M.A. Low-density open-cell flexible polyolefin foams as efficient materials for oil absorption: influence of tortuosity on oil absorption // International Journal of Environmental Science and Technology. 2020. V. 17. P. 1663-1674. doi: 10.1007/s13762–019–02576–0
- 38 Wypych G. Handbook of polymers. Elsevier, 2022.
- 39 Liu H., Kang Y. Superhydrophobic and superoleophilic modified EPDM foam rubber fabricated by a facile approach for oil/water separation // Applied Surface Science. 2018. V. 451. P. 223-231. doi: 10.1016/j.apsusc.2018.04.179.

References

- 1 Aleshin I.V., Goncharov V.K., Zueva E.S., Hetman V.E. Fight against emergency oil spills in the freezing seas of Russia. Marine intelligent technologies. 2019. no. 3-2(45). pp. 18-24. (in Russian).
- 2 Potetyurin M.A., Katin V.D. Device for cleaning the water surface. Patent RF, no. 2788206, 2023.
- 3 Olshanskaya L.N., Tatarintseva E.A. Sorbents for cleaning surface and wastewater from oil and its products. Theoretical and applied ecology. 2021. no. 4. pp. 6-11. doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-006-011 (in Russian).
- 4 Amineva E.S., Dmitriev D.V., Semenov V.M. Natural sorbent for purification from oil pollution. Oil. Gas. Innovations. 2022. no. 6(259). pp. 84-87. (in Russian).
- 5 Allan S.E., Smith B.V., Anderson K.A. The impact of an oil spill from the deepwater horizon on bioavailable polycyclic aromatic hydrocarbons in the coastal waters of the Gulf of Mexico. Technologies of environmental sciences. 2012. vol. 46. no. 4. pp. 2033-2039. doi: 10.1021/es202942q (in Russian).
- 6 Voronov A.A., Malysheva E.S., Fugaeva A.M. Collection and purification of surface wastewater from production sites of oil fields. Energy saving and innovative technologies in the fuel and energy complex: materials of the International scientific and practical conference of students, postgraduates, young scientists and specialists. Tyumen, TIU, 2018. vol. 1. pp. 144-146. (in Russian).
- 7 Malysheva E.S. Classification of sorbents used in wastewater treatment technologies from petroleum products. Urban planning and architecture. 2020. vol. 10. no. 3. pp. 26-34. doi: 10.17673/Vestnik.2020.03 (in Russian).
- 8 Bayburdov T.A., Shmakov S.L. Polymer sorbents for collecting petroleum products from the surface of reservoirs: a review of English-language literature for 2000-2017 (part 1). Izvestiya Saratov University. A new series. Chemistry series. Biology. Ecology. 2018. vol. 18. no. 1. pp. 36-44. doi: 10.18500/1816-9775-2018-18-1-36-44 (in Russian).
- 9 Bayburdov T.A., Shmakov S.L. Polymer sorbents for collecting petroleum products from the surface of reservoirs: a review of English-language literature for 2000-2017 (part 2). Izvestiya Saratov University. A new series. Chemistry series. Biology. Ecology. 2018. vol. 18. no. 2. pp. 145-153. doi: 10.18500/1816-9775-2018-18-2-145-153 (in Russian).
- 10 Bayburdov T.A., Shipovskaya A.B. Polymer sorbents for collecting petroleum products from the surface of reservoirs: a review of Russian-language literature for 2000-2017 (part 3). Izvestiya Saratov University. A new series. Chemistry series. Biology. Ecology. 2018. vol. 18. no. 3. pp. 285-298. doi: 10.18500/1816-9775-2018-18-3-285-298 (in Russian).
- 11 Kamenshchikov F.A., Bogomolny E.I. Oil sorbents. Moscow – Izhevsk, 2005. 268 p. (in Russian).
- 12 Kahramanli Yu.N. Foam polymer oil sorbents. Environmental problems and their solutions. Baku, "Elm", 2012. 305 p. (in Russian).
- 13 Cunha S.R.S., Souza Jr F.G. Adsorbent biopolymers based on Couroupita guianensis. Abstracts of International Conferences & Meetings. 2021. vol. 1. no. 2. p. 4-4. doi: 10.5281/zenodo.4876594
- 14 Kuen T.K.A., Zenitova L.A. Chitosan-containing polyurethane foams as oil spill absorbers. Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Chemical technology and biotechnology. 2019. no. 2. pp. 7–21. doi: 10.15593/2224–9400/2019.2.01
- 15 Hwang U., Lee B., Oh B., Su Shin H. et al. Hydrophobic lignin/polyurethane composite foam: An eco-friendly and easily reusable oil sorbent. European Polymer Journal. 2022. vol. 165. doi:10.1016/j.eurpolymj.2021.110971
- 16 Zhou M.H., Cho W.J. Oil absorbents based on styrenebutadiene rubber. J. Appl. Polym. Sci. 2003. vol. 89. no. 7. pp. 1818–1824. doi:10.1002/app.12252
- 17 Keshawy M., El-Moghny T.A., Abdul-Raheim A.-R.M., Kabel K.I. et al. Synthesis and characterization of oil sorbent based on Hydroxypropyl Cellulose Acrylate. Egyptian Journal of Petroleum. 2013. vol. 22. no. 4. doi:10.1016/j.ejpe.2013.11.008
- 18 Zhang H., Zhen Q., Cui J.-Q., Liu R.-T. et al. Groove-shaped polypropylene/polyester micro/nanofibrous nonwoven with enhanced oil wetting capability for high oil/water separation. Polymer. 2020. pp. 122356. doi:10.1016/j.polymer.2020.122356
- 19 Lin C., Huang C.L., Shern C.C. Recycling waste tire powder for the recovery of oil spills. Resources. Conservation and Recycling. 2008. vol. 52. no. 10. pp. 1162–1166.
- 20 Klempner D., Sendidzharevich V. Polymer foams and foaming technology. Moscow, Profession, 2009. 604 p. (in Russian).
- 21 Uzdensky V.B., Modification of polymer materials. Practical guide for a technologist; 2nd edition. St. Petersburg, "PSC Profession", 2020. (in Russian).

- 22 Hailan S.M., Ponnammam D., Krupa I. The Separation of Oil/Water Mixtures by Modified Melamine and Polyurethane Foams: A Review. *Polymers*. 2021. vol. 13. pp. 4142. doi:10.3390/polym13234142
- 23 Hu Y., Liu X., Zou J., Gu T. et al. Graphite/ Isobutylene-isoprene Rubber Highly Porous Cryogels as New Sorbents for Oil Spills and Organic Liquids. *ACS Appl. Mat. and Interfaces*. 2013. vol. 5. no. 16. pp. 7737–7742.
- 24 Songsaeng S., Thamvongkit P., Poompradub S. Natural rubber/reduced-graphene oxide composite materials: Morphological and oil adsorption properties for treatment of oil spills. *J. Adv. Res.* 2019. vol. 20. pp. 79–89. doi: 10.1016/j.jare.2019.05.007
- 25 Lu Y., Li S., Chen F., Ma H. et al. Development of coin-shaped ZIF 7 functionalized superhydrophobic polysulfone composite foams for continuous removal of oily contaminants from water. *Journal of Hazardous Materials*. 2022. vol. 421. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126788
- 26 Sinitsyna O.O., Pechnikova I.A., Belyaeva N.N., Mamonov R.A., etc. New information about the toxicity and danger of chemical and biological substances. Melamine (1,3,5 – triazino – 2,4,6 – triamine). *Toxicological Bulletin*. 2012. no. 4 (115). (in Russian).
- 27 Kolosova A.S., Pikalov E.S. Modern gas-filled polymer materials and products. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2020. no. 10. pp. 54-67. (in Russian).
- 28 Schwartz O., Ebeling F.-V., Furt B. *Plastics processing: preparation of raw materials, technologies and equipment, polymer bonding, coatings and finishing*. Saint Petersburg, Profession, 2008. 315 p. (in Russian).
- 29 Kochurov D.V., Arakelyan A.G., Palamarchuk A.A., Shishakina O.A. Physical foaming agents in the production of modern foam materials. *International Student Scientific Bulletin*. 2018. no. 6. pp. 86. (in Russian).
- 30 Rauvendaal K. The basics of extrusion. Moscow, PSC Profession, 2021. (in Russian).
- 31 Dmitrienko S.G., Apyari V.V. Polyurethane foams. Sorption properties and application in chemical analysis. Krasand, 2009. (in Russian).
- 32 Bakirova I.N., Zenitova L.A. Gas-filled polymers: a textbook. Kazan, Kazan Publishing House.state technol. un-ta, 2009. 105 p. (in Russian).
- 33 Kahramanli Yu.N., Yuzbasheva L.N., Farajev G.M. Polyurethane foam – sorbent for cleaning water surfaces from oil and petroleum products. *Azerbaijan Chemical Journal*. 2011. no. 2. (in Russian).
- 34 Averko-Antonovich, R.Ya. Omelchenko, N.A. Okhotina, Yu.R. *Ebich Technology of rubber products: textbook. handbook for universities*. L.: Chemistry, 1991. 352 p. (in Russian).
- 35 Karakutuk I., Okay O. Macroporous rubber gels as reusable sorbents for the removal of oil from surface waters. *Reactive and Functional Polymers*. 2010. vol. 70. no. 9. pp. 585-595. doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2010.05.015.
- 36 Ceylan D., Dogu S., Karacik B., Yakan S.D. Evaluation of butyl rubber as sorbent material for the removal of oil and polycyclic aromatic hydrocarbons from seawater. *Env. Sci. Technol.* 2009. vol. 43. no. 10. pp. 3846–3852.
- 37 Lopez-Gonzalez E., Saiz-Arroyo C., Rodriguez-Perez M.A. Low-density open-cell flexible polyolefin foams as efficient materials for oil absorption: influence of tortuosity on oil absorption. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2020. vol. 17. pp. 1663-1674. doi: 10.1007/s13762-019-02576-0
- 38 Wypych G. *Handbook of polymers*. Elsevier, 2022.
- 39 Liu H., Kang Y. Superhydrophobic and superoleophilic modified EPDM foam rubber fabricated by a facile approach for oil/water separation. *Applied Surface Science*. 2018. vol. 451. pp. 223-231. doi: 10.1016/j.apsusc.2018.04.179.

Сведения об авторах

Алексей М. Толстов аспирант, кафедра химии и технологии переработки эластомеров имени Кошелева Ф.Ф., Институт тонких химических технологий имени М.В.Ломоносова, Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики, пр-т Вернадского, 78, г. Москва, 119454, Россия, tolstovalex2029@gmail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2266-9613>

Юлия А. Наумова д.т.н., профессор, кафедра химии и технологии переработки эластомеров имени Кошелева Ф.Ф., Институт тонких химических технологий имени М.В.Ломоносова, Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики, пр-т Вернадского, 78, г. Москва, 119454, Россия, naumova_yulia@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9968-8244>

Вклад авторов

Алексей М. Толстов написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Юлия А. Наумова консультация в ходе исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Aleksey M. Tolstov graduate student, F.F. Koshelev department of chemistry and technology of elastomer processing, Elastomer Processing, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological, Vernadsky Av., 78 Moscow, 119454, Russia, tolstovalex2029@gmail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2266-9613>

Yulia A. Naumova Dr. Sci. (Chem.), professor, F.F. Koshelev department of chemistry and technology of elastomer processing, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological, Vernadsky Av., 78 Moscow, 119454, Russia, naumova_yulia@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9968-8244>

Contribution

Aleksey M. Tolstov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Yulia A. Naumova consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 29/12/2022	После редакции 30/01/2023	Принята в печать 22/02/2023
Received 29/12/2022	Accepted in revised 30/01/2023	Accepted 22/02/2023

Исследование возможности использования нефтяного кокса в производстве дробленых углеродных сорбентов

Василий А. Стрелков	¹	vasia.str@ya.ru	 0009-0009-5165-8666
Егор А. Першин	¹	egorpershin96@gmail.com	 0009-0002-9989-6523
Елена А. Фарберова	¹	elenafarb@gmail.com	 0000-0002-9166-7761
Антон С. Ширкунов	¹	sas@pstu.ru	 0009-0000-6620-6907
Валерий Г. Рябов	¹	rvg@pstu.ru	 0000-0002-8897-7371

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский пр-т, 29, г. Пермь, 614990, Россия

Аннотация. В настоящее время процессы нефтяной промышленности ориентированы на углубление переработки нефти. Одним из способов достижения данной цели является применение процесса замедленного коксования, одним из вторичных продуктов которого является нефтяной кокс. На текущий момент суммарная производительность установок замедленного коксования увеличивается, при этом растет и выход нефтяного кокса с высоким содержанием серы, что не позволяет найти его применение в типичной отрасли потребления – металлургии. В связи с этим, исследователи активно прорабатывают возможность квалифицированного альтернативного применения нефтяного кокса. Одним из перспективных направлений является использование нефтяного кокса в качестве сырья для получения активированных углей, что позволит существенно расширить сырьевую базу их производства. В настоящей работе проведены исследования возможности получения дробленых активированных углей на основе нефтяного кокса марки КЭС. В ходе экспериментов получены образцы дробленых активированных углей путем одно- и двухстадийной термической обработки (карбонизация в инертной атмосфере и активация в среде перегретого водяного пара), а также определены характеристики их пористой структуры. Результаты исследований показали, что дробленый активированный уголь, полученный путем двухстадийной термической обработки, обладает достаточно высокой удельной поверхностью (446 м²/г) и предельным объемом сорбционного пространства (0,264 см³/г). Таким образом, предложенный метод переработки нефтяного кокса в дробленый активированный уголь может служить одним из путей расширения его квалифицированного использования, а также открывает альтернативные сырьевые возможности в технологии получения активированных углей.

Ключевые слова: нефтяной кокс, дробленый активированный уголь, карбонизация, активация.

Research of the possibility of using petroleum coke in the production of crushed carbon sorbents

Vasiliy A. Strelkov	¹	vasia.str@ya.ru	 0009-0009-5165-8666
Egor A. Pershin	¹	egorpershin96@gmail.com	 0009-0002-9989-6523
Elena A. Farberova	¹	elenafarb@gmail.com	 0000-0002-9166-7761
Anton S. Shirkunov	¹	sas@pstu.ru	 0009-0000-6620-6907
Valeriy G. Ryabov	¹	rvg@pstu.ru	 0000-0002-8897-7371

¹ Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av., 29, Perm, 614990, Russia

Abstract. Currently, the processes of the oil industry are focused on deepening oil refining. One of the ways to deepen oil refining is to obtain petroleum cokes at delayed coking plants. At the moment, the total productivity of delayed coking plants is increasing, while the output of petroleum coke with a high sulfur content is also growing, which does not allow it to be used in a typical consumption industry – the metallurgical industry. In this regard, researchers are actively exploring the possibility of qualified alternative use of petroleum coke. One of the promising directions is the use of petroleum coke as a raw material for the production of activated carbons, which will significantly expand the raw material base of their production. In this paper, studies have been conducted on the possibility of obtaining crushed activated carbons based on KES grade petroleum coke. During the experiments, samples of crushed activated carbons were obtained by single- and double-stage heat treatment (carbonation in an inert atmosphere and activation in an environment of superheated water vapor), and the characteristics of their porous structure were determined. The research results have shown that activated carbon obtained by two-stage heat treatment has a sufficiently high specific surface area (446 m²/g) and a maximum volume of sorption space (0.264 cm³/g). Thus, the proposed method of processing petroleum coke obtained by delayed coking into activated carbon can serve as one of the ways to expand its qualified use, and also opens up alternative raw material opportunities in the technology of activated carbon production.

Keywords: petroleum coke, crushed activated carbon, carbonization, activation.

Для цитирования

Стрелков В.А., Першин Е.А., Фарберова Е.А., Ширкунов А.С., Рябов В.Г. Исследование возможности использования нефтяного кокса в производстве дробленых углеродных сорбентов // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 249–254. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-249-254

For citation

Strelkov V.A., Pershin E.A., Farberova E.A., Shirkunov A.S., Ryabov V.G. Research of the possibility of using petroleum coke in the production of crushed carbon sorbents. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 249–254. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-249-254

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

Введение

В настоящее время мировая экономика ориентирована на развитие процессов, углубляющих переработку нефти. Несмотря на то, что ряд передовых предприятий реализует практически безотходные технологии переработки нефти, по средней глубине переработки, составляющей 74%, Россия уступает многим развитым странам [1].

Одним из наиболее эффективных способов углубления переработки нефти является применение процесса замедленного коксования, позволяющего перерабатывать практически любые виды нефтяных остатков (гудроны, полугудроны, смолы пиролиза, крекинг-остатки, экстракты селективной очистки, асфальты, и др.) с получением фракций моторных топлив и нефтяного кокса [2, 3].

В остаточных продуктах нефтепереработки содержится многоядерные ароматические соединения, смолисто-асфальтеновые вещества, карбены и карбоиды, их наличие способствует образованию твердого продукта – кокса. Поэтому фактически, большинство тяжелых продуктов идут на коксование.

Формирование кокса – это высокотемпературный процесс, протекающий при 450–520 °С без доступа кислорода.

Качество кокса зависит от состава сырья, условий ведения процесса, скорости нагрева сырья, продолжительности выдержки реакционной смеси в камерах и количества вносимых присадок, которые добавляются в ходе коксования [4–8].

В мировой нефтепереработке самым распространенным процессом получения кокса является процесс замедленного коксования. Несмотря на то, что данный процесс является полупериодическим, именно он позволяет получать кокс довольно высокого качества, при этом дополнительно получать светлые фракции нефтепродуктов. Нефтяные коксы, как правило, содержат более 99 мас. % углерода, что позволяет рассматривать их как перспективное альтернативное сырьё для получения дроблённых активированных углей [9–20].

Исследования в области разработки методов модифицирования нефтяных коксов с целью получения сорбционных углеродных материалов в настоящее время актуальны и позволят расширить возможности квалифицированного применения нефтяных остатков.

Материалы и методы

В настоящей работе в качестве объекта исследования использован промышленный нефтяной кокс марки КЭС, полученный методом замедленного коксования, который был подвергнут дроблению и рассеvu для получения фракции с размером частиц от 1,0 до 2,0 мм. Характеристики исходного кокса приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Характеристики исходного нефтяного кокса марки КЭС

Table 1.

Characteristics of the original petroleum coke brand KES

Показатель Parameter	Значение Value
Массовая доля воды при 100°C, % Mass fraction of water at 100°C, %	0,48
Массовая доля зольных компонентов, % Mass fraction of ash, %	0,17
Массовая доля серы, % Mass fraction of sulfur, %	3,67
Степень кристалличности, % Degree of crystallinity, %	12,52
Истинная плотность ($\rho_{ист}$), г/см ³ True Density($\rho_{ист}$), g/cm ³	1,387
Кажущаяся плотность ($\rho_{каж}$), г/см ³ Envelope density($\rho_{каж}$), g/cm ³	1,163
Пористость, % Porosity, %	16,08
Суммарный объём пор, см ³ /г Total pore volume, cm ³ /g	0,138
Предельный объём сорбционного пространства, см ³ /г The limiting sorption pore volume, cm ³ /g	0,001
Удельная площадь поверхности, м ² /г Specific surface area, m ² /g	1,64
Выход летучих веществ, мас. % Yield of volatile substances, wt%	8,17–8,63

В ходе проведённых исследований для изучения фазового состава кокса применяли рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-7000.

Определение влажности образцов исходного материала и готовых сорбентов проводили с использованием анализатора влажности Excellence plus HX204 (Mettler Toledo).

Характеристики пористой структуры получаемых образцов сорбентов изучали с использованием анализатора сорбции газов Quantachrome Nova-1200e путем адсорбции азота при температуре его конденсации.

Результаты и обсуждение

Технология получения дроблённых активированных углей (ДАУ) включает две стадии термического модифицирования исходного углеродного материала: термическая обработка сырья при температурах 400–700 °С инертной атмосфере (карбонизация) и вторая стадия активации карбонизованного полупродукта при температурах 800–900 °С в атмосфере перегретого водяного пара. Такая последовательность операций обеспечивает формирование развитой системы пор в получаемом сорбенте. Принимая во внимание, что нефтяные коксы проходят процесс термического крекинга при высоких температурах в инертной атмосфере, сделано

предположение о возможности проведения их активации без предварительной стадии карбонизации. В процессе активации образцов исходного кокса фиксировали степень обгара при термообработке и определяли величину удельной поверхности по методу БЭТ ($S_{\text{БЭТ}}$). Активацию в атмосфере перегретого водяного пара проводили для образцов исходных дроблёных коксов

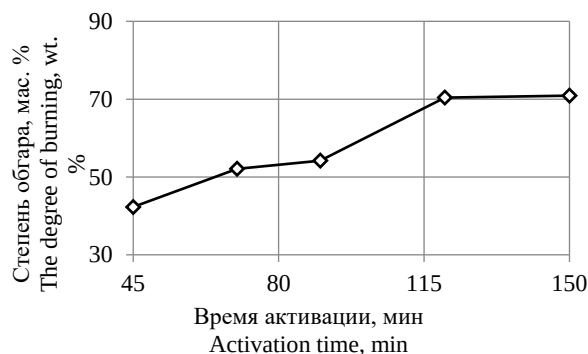


Рисунок 1. Зависимость степени обгара от времени активации исходного нефтяного кокса

Figure 1. Dependence of the degree of burning on the activation time of the initial petroleum coke

Как следует из представленной на рисунок 2 зависимости, величина удельной площади поверхности получаемого сорбента достигает лишь $250 \text{ м}^2/\text{г}$ при проведении процесса активации в течение 2 часов. Дальнейшее увеличение продолжительности процесса не приводит к значительному развитию пористости сорбента и существенно снижает выход готового продукта.

Недостаточное развитие удельной поверхности образцов нефтяных коксов, прошедших активацию без предварительной карбонизации, указывает на необходимость исследования возможности увеличения пористости углеродного сорбента за счёт введения предварительной стадии термического модифицирования.

Стадию карбонизации образцов нефтяных коксов проводили путем выдерживания образцов при температурах $500\text{--}800^\circ\text{C}$ в муфельной печи в закрытой емкости без доступа воздуха в течение заданного времени (3 ч). Карбонизация обеспечивает удаление летучих веществ из образца кокса и образование первоначальной пористости, которая в дальнейшем развивается на основной стадии термического модифицирования – активации. На рисунке 3 представлена зависимость степени обгара образцов нефтяного кокса от температуры процесса карбонизации продолжительностью (3 час.)

(фракции с размером частиц $1\text{--}2 \text{ мм}$ при температуре $800\text{--}820^\circ\text{C}$, продолжительность процесса составляла от 45 до 150 мин. (рисунок 1).

Из полученных данных видно, что для образца кокса при активации без предварительной термообработки оптимальная степень обгара ($40\text{--}60\%$) достигается при продолжительности процесса активации $45\text{--}100$ мин.

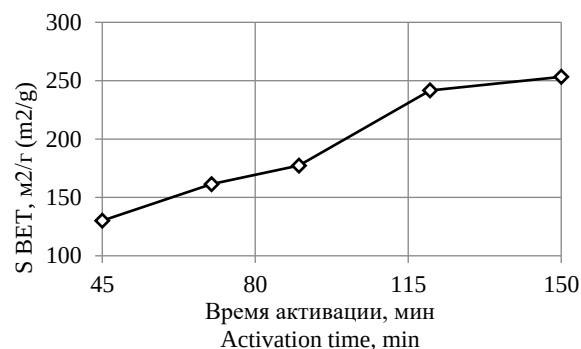


Рисунок 2. Зависимость удельной поверхности активированного нефтяного кокса (без предварительной карбонизации) от времени активации

Figure 2. Dependence of the specific surface area of activated petroleum coke (without pre-carbonization) on the activation time

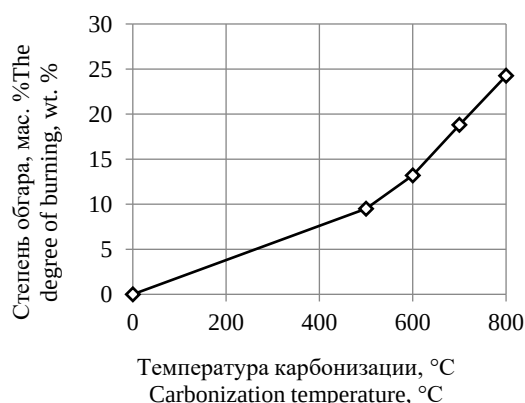


Рисунок 3. Зависимость степени обгара от температуры карбонизации нефтяного кокса

Figure 3. The dependence of the degree of burning on the carbonization temperature of petroleum coke

В интервале температур от 100 до 500°C , потеря массы составляет $10\text{--}12\%$, повышение температуры до 700°C приводит к росту скорости удаления летучих веществ и росту степени обгара образцов до 20% . Повышение температуры карбонизации до 800°C приводит к постепенному замедлению процесса удаления летучих веществ.

Предварительно карбонизованные при температуре 700°C образцы нефтяного кокса подвергали активации в среде перегретого водяного пара при температуре $800\text{--}820^\circ\text{C}$.

Для полученных образцов ДАУ определяли удельную площадь поверхности по БЭТ. На рисунок 4 явно наблюдается обратная зависимость выхода продукта и удельной поверхности от времени активации. Для получения образца дробленого АУ с развитой поверхностью требуется длительное время активации при этом выход продукта снижается. Установлено положительное влияние предварительной карбонизации на развитие пористой структуры готового ДАУ.

При длительной активации (90 мин.) образца нефтяного кокса после предварительной карбонизации при 700 °С свойства получаемого сорбента резко улучшаются. Предельный объем адсорбционного пространства достигает значения 0,264 см³/г, из которых 0,183 см³/г могут быть отнесены к микропорам. Площадь поверхности микропор возрастает до 446 м²/г. Однако выход такого сорбента в данном случае составил лишь 12,9 мас. %.

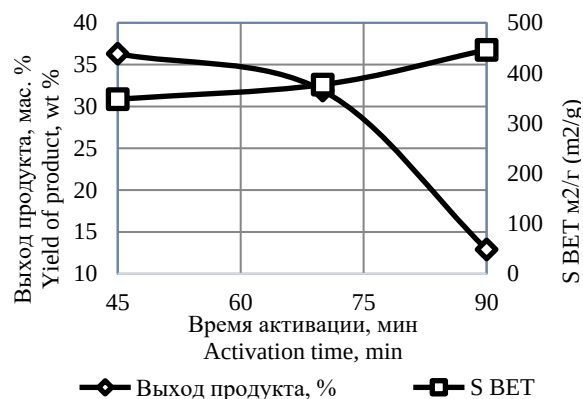


Рисунок 4. Влияние времени активации на свойства ДАУ на основе нефтяного кокса

Figure 4. Influence of activation time on the properties of CAC based on petroleum coke

Таблица 2

Параметры пористой структуры образцов ДАУ на основе нефтяного кокса марки КЭС

Table 2

Parameters of the porous structure of CAC samples based on petroleum coke grade KES

Режим карбонизации Carbonization mode	-	700 °С, 3 ч
Режим активации Activation mode	800 °С, 45 мин	800 °С, 90 мин
Удельная площадь поверхности по БЭТ, м ² /г BET specific surface area, m ² /g	164,6	446,0
Площадь поверхности микропор по методу Дубинина-Радушкевича, м ² /г Micropore surface area according to the Dubinin-Radushkevich method, m ² /g	188,8	516,0
Предельный объем адсорбционного пространства, см ³ /г The limiting sorption pore volume, cm ³ /g	0,091	0,264
Объем микропор по методу Дубинина-Радушкевича, см ³ /г Micropore volume according to the Dubinin-Radushkevich method, cm ³ /g	0,067	0,183
Объем мезопор, см ³ /г Mesopore volume, cm ³ /g	0,024	0,081
Полуширина микропор по методу Дубинина-Радушкевича, нм Micropore half-pore width according to the Dubinin-Radushkevich method, nm	0,69	0,74
Характеристическая энергия адсорбции по методу Дубинина-Радушкевича, кДж/моль Characteristic adsorption energy according to the Dubinin-Radushkevich method, kJ/mol	18,76	17,50

Введение предварительной стадии карбонизации образцов нефтяного кокса перед их активацией позволило увеличить удельную площадь поверхности получаемых образцов ДАУ в 2–3 раза по сравнению с образцами ДАУ, полученными только одностадийным методом термической обработки (парогазовой активации).

Заключение

В результате исследований нефтяного кокса как перспективного сырья для получения углеродных сорбентов, показана возможность развития пористой структуры материала путем применения двухступенчатой термической обработки с предварительным термическим модифицированием.

Исследовано влияние условий термического модифицирования нефтяного кокса на характер пористой структуры получаемого дробленого активированного угля. Показано, что двухстадийная термическая обработка нефтяного кокса КЭС при условиях: I стадия – карбонизация

в инертной атмосфере при T = 700 °С, в течение 180 минут; II стадия – активация в атмосфере перегретого водяного пара при T = 800 °С, в течение 90 минут, является оптимальной для получения ДАУ; приводит к получению ДАУ оптимальной пористой структуры – предельный объем адсорбционного пространства для образцов, активированных после предварительной карбонизации, достигает значения 0,264 см³/г, из которых 0,183 см³/г могут быть отнесены к микропорам; площадь поверхности микропор возрастает до 516 м²/г.

Таким образом, данный подход может служить одним из путей расширения квалифицированного использования нефтяного кокса.

Благодарности

Работа выполнена с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования «Центр наукоемких химических технологий и физико-химических исследований» и научно-образовательного центра технологии сорбентов и катализаторов ПНИПУ.

Литература

- 1 Чёботова В.И. Глубина переработки нефти в России, Европе и США // Устойчивое развитие науки и образования. 2020. № 3. С. 42–45.
- 2 Рудин М.Г. Переработки нефти в России. Состояние и перспективы // Нефтехимия. 2007. Т. 47. № 4. С. 269–275.
- 3 Теляшев Э.Г., Хайрудинов И.Р., Ахметов М.М. Нефтяной кокс в России – перспективные технологии // Нефтепереработка. 2006. № 4. С. 66–71.
- 4 Твердохлебов В.П., Храменко С.А., Бурюкин Ф.А., Павлов И.В. и др. Нефтяной кокс для алюминиевой промышленности. Технология и свойства // Журнал Сибирского Федерального университета. Серия: Химия. 2010. Т. 3. № 4. С. 369–386.
- 5 Шакенев Р.К., Касенов А.Ж. Применение нефтяного кокса в зависимости от его свойств // Путь науки. 2016. № 1. С. 11–13.
- 6 Красюков А.Ф. Нефтяной кокс. Москва: Химия, 1966. 264 с.
- 7 Сюняев З.И. Производство, облагораживание и применение нефтяного кокса. Москва: Химия, 1973. 296 с.
- 8 Глаголева О.Ф., Капустин В.М., Гюльмисарян Т.Г., Чернышева Е.А. и др. Технология переработки нефти. Часть первая. Первичная переработка нефти. Москва: Химия, 2006. 400 с.
- 9 Тагиров М.А., Жирнов Б.С., Гост'ков Е.В., Фаткуллин М.Р. и др. Динамика активирования нефтяных коксов с целью получения носителей для катализаторов // Кокс и химия. 2011. № 10. С. 32–36.
- 10 Фарберова Е.А., Максимов А.С., Ширкунов А.С., Рябов В.Г. и др. Исследование возможности переработки нефтяного кокса с повышенным содержанием летучих веществ в углеродные сорбенты // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2021. Т. 64. № 4. С. 92–99.
- 11 Стрелков В.А., Ширкунов А.С., Рябов В.Г., Чучалина А.Д. и др. Влияние характеристик связующих на параметры пористой структуры гранулированных активных углей на базе нефтяных коксов // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. 2021. № 1. С. 66–81.
- 12 Bai R., Yang M., Hu G., Xu L. et al. A new nanoporous nitrogen-doped highly-efficient carbonaceous CO₂ sorbent synthesized with inexpensive urea and petroleum coke // Carbon. 2015. V. 81. P. 465-473. doi: 10.1016/j.carbon.2014.09.079
- 13 Huo Q., Wang Y., Chen H., Han L. et al. ZnS/AC sorbent derived from the high sulfur petroleum coke for mercury removal // Fuel Processing Technology. 2019. V. 191. P. 36-43. doi: 10.1016/j.fuproc.2019.03.025
- 14 Yang J., Yue L., Lin B., Wang L. et al. CO₂ Adsorption of nitrogen-doped carbons prepared from nitric acid preoxidized petroleum coke // Energy & Fuels. 2017. V. 31. № 10. P. 11060-11068. doi: 10.1021/acs.energyfuels.7b01795
- 15 Yang M., Guo L., Hu G., Hu X. et al. Adsorption of CO₂ by petroleum coke nitrogen-doped porous carbons synthesized by combining ammoxidation with KOH activation // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2016. V. 55. № 3. P. 757-765. doi: 10.1021/acs.iecr.5b04038
- 16 Xiao Y., Pudasainee D., Gupta R., Xu Z. et al. Bromination of petroleum coke for elemental mercury capture // Journal of hazardous materials. 2017. V. 336. P. 232-239. doi: 10.1016/j.jhazmat.2017.04.040
- 17 Rao L. et al. Single-step synthesis of nitrogen-doped porous carbons for CO₂ capture by low-temperature sodium amide activation of petroleum coke // Energy & Fuels. 2018. V. 32. № 12. P. 12787-12794. doi: 10.1021/acs.energyfuels.8b03473
- 18 Trujillo P., González T., Brito J.L., Briceño A. et al. Surface recognition directed selective removal of dyes from aqueous solution on hydrophilic functionalized petroleum coke sorbents. A supramolecular perspective // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2019. V. 58. № 32. P. 14761-14774. doi: 10.1021/acs.iecr.9b02020
- 19 Sun Z., Ma A., Zhao S., Luo H. et al. Research progress on petroleum coke for mercury removal from coal-fired flue gas // Fuel. 2022. V. 309. P. 122084. doi: 10.1016/j.fuel.2021.122084
- 20 Liu D., Li C., Wu J., Liu Y. Novel carbon-based sorbents for elemental mercury removal from gas streams: A review // Chemical Engineering Journal. 2020. V. 391. P. 123514. doi: 10.1016/j.cej.2019.123514

References

- 1 Chyobotova V.I. Oil refining depth in Russia, Europe and USA. Sustainable development of science and education. 2020. no. 3. pp. 42–45. (in Russian).
- 2 Rudin M.G. Oil refining in Russia. Status and prospects. Petrochemistry. 2007. vol. 47. no. 4. pp. 269–275. (in Russian).
- 3 Telyashev E.G., Hairudinov I.R., Ahmetov M.M. Petroleum coke in Russia – promising technologies. Oil Refining. 2006. no. 4. pp. 66–71. (in Russian).
- 4 Tverdohlebov V.P., Hramenko S.A., Buryukin F.A., Pavlov I.V. et al. Petroleum coke for the aluminum industry. Technology and properties. Journal of the Siberian Federal University. Series: Chemistry. 2010. vol. 3. no. 4. pp. 369–386. (in Russian).
- 5 Shakenov R.K., Kasenov A.G. The use of petroleum coke depending on its properties. The Path of Science. 2016. no. 1. pp. 11–13. (in Russian).
- 6 Krasnyukov A.F. Petroleum coke. Moscow, Khimiya, 1966. 264 p. (in Russian).
- 7 Syunyaev Z.I. Production, refining and application of petroleum coke. Moscow, Khimiya, 1973. 296 p. (in Russian).
- 8 Glagoleva O.F., Kapustin V.M., Gyl'misaryan T.G., Chernisheva E.A. et al. Oil refining technology. Part one. Primary oil refining. Moscow, Khimiya, 2006. 400 p. (in Russian).
- 9 Tagirov M.A., Zhirnov B.S., Gost'kov E.V., Fatkullin M.R. et al. Dynamics of activation of petroleum cokes in order to obtain carriers for catalysts. Coke and Chemistry. 2011. no. 10. pp. 32–36 (in Russian).
- 10 Farberova E.A., Maksimov A.S., Shirkunov A.S., Ryabov V.G. et al. Investigation of the possibility of processing petroleum coke with a high content of volatile substances into carbon sorbents. Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol. 2021. vol. 64. no. 4. pp. 92–99. (in Russian).
- 11 Strelkov V.A., Shirkunov S.A., Ryabov V.G., Chuchalina A.D. et al. Influence of binder characteristics on the parameters of the porous structure of granular activated carbons based on petroleum cokes. Bulletin of PNRPU. Chemical technology and biotechnology. 2021. no. 1. pp. 66–81. (in Russian).

- 12 Bai R., Yang M., Hu G., Xu L. et al. A new nanoporous nitrogen-doped highly-efficient carbonaceous CO₂ sorbent synthesized with inexpensive urea and petroleum coke. *Carbon*. 2015. vol. 81. pp. 465-473. doi: 10.1016/j.carbon.2014.09.079
- 13 Huo Q., Wang Y., Chen H., Han L. et al. ZnS/AC sorbent derived from the high sulfur petroleum coke for mercury removal. *Fuel Processing Technology*. 2019. vol. 191. pp. 36-43. doi: 10.1016/j.fuproc.2019.03.025
- 14 Yang J., Yue L., Lin B., Wang L. et al. CO₂ Adsorption of nitrogen-doped carbons prepared from nitric acid preoxidized petroleum coke. *Energy & Fuels*. 2017. vol. 31. no. 10. pp. 11060-11068. doi: 10.1021/acs.energyfuels.7b01795
- 15 Yang M., Guo L., Hu G., Hu X. et al. Adsorption of CO₂ by petroleum coke nitrogen-doped porous carbons synthesized by combining ammoxidation with KOH activation. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2016. vol. 55. no. 3. pp. 757-765. doi: 10.1021/acs.iecr.5b04038
- 16 Xiao Y., Pudasainee D., Gupta R., Xu Z. et al. Bromination of petroleum coke for elemental mercury capture. *Journal of hazardous materials*. 2017. vol. 336. pp. 232-239. doi: 10.1016/j.jhazmat.2017.04.040
- 17 Rao L. et al. Single-step synthesis of nitrogen-doped porous carbons for CO₂ capture by low-temperature sodium amide activation of petroleum coke. *Energy & Fuels*. 2018. vol. 32. no. 12. pp. 12787-12794. doi: 10.1021/acs.energyfuels.8b03473
- 18 Trujillo P., González T., Brito J.L., Briceño A. et al. Surface recognition directed selective removal of dyes from aqueous solution on hydrophilic functionalized petroleum coke sorbents. A supramolecular perspective. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2019. vol. 58. no. 32. pp. 14761-14774. doi: 10.1021/acs.iecr.9b02020
- 19 Sun Z., Ma A., Zhao S., Luo H. et al. Research progress on petroleum coke for mercury removal from coal-fired flue gas. *Fuel*. 2022. vol. 309. pp. 122084. doi: 10.1016/j.fuel.2021.122084
- 20 Liu D., Li C., Wu J., Liu Y. Novel carbon-based sorbents for elemental mercury removal from gas streams: A review. *Chemical Engineering Journal*. 2020. vol. 391. pp. 123514. doi: 10.1016/j.cej.2019.123514

Сведения об авторах

Василий А. Стрелков аспирант, кафедра химических технологий, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский пр-т, 29, г. Пермь, 614990, Россия, vasia.str@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0009-5165-8666>

Егор А. Першин аспирант, кафедра химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский пр-т, 29, г. Пермь, 614990, Россия, egorpershin96@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0002-9989-6523>

Елена А. Фарберова к.х.н., доцент, кафедра химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский пр-т, 29, г. Пермь, 614990, Россия, elenafarb@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9166-7761>

Антон С. Ширкунов к.т.н., доцент, кафедра химических технологий, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский пр-т, 29, г. Пермь, 614990, Россия, sas@pstu.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-6620-6907>

Валерий Г. Рябов д.т.н., профессор, кафедра химических технологий, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский пр-т, 29, г. Пермь, 614990, Россия, rvg@pstu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8897-7371>

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

Vasily A. Strelkov graduate student, chemical technologies department, Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av., 29 Perm, 614990, Russia, vasia.str@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0009-5165-8666>

Egor A. Pershin graduate student, chemistry and biotechnology department, Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av., 29 Perm, 614990, Russia, egorpershin96@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0002-9989-6523>

Elena A. Farberova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemistry and biotechnology department, Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av., 29 Perm, 614990, Russia, elenafarb@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9166-7761>

Anton S. Shirkunov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemical technologies department, Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av., 29 Perm, 614990, Russia, sas@pstu.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-6620-6907>

Valeriy G. Ryabov Dr. Sci. (Engin.), professor, chemical technologies department, Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av., 29 Perm, 614990, Russia, rvg@pstu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8897-7371>

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 12/01/2023	После редакции 07/02/2023	Принята в печать 02/03/2023
Received 12/01/2023	Accepted in revised 07/02/2023	Accepted 02/03/2023

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 СТАТЫ

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, подрисованные 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 подрисованные подписи, не должен превышать: для работ, имеющих общее значение 5–20 страниц текста, для кратких сообщений до 3 стр.

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, приведенных в таблицах и рисунках.

Обсуждение - в разделе проводится детальный анализ полученных данных в сопоставлении с данными литературы, 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 (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.vsu.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

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):

Румянцев 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; Оpubл. 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:

Липидус Л.В. Центр компетенций цифровой экономики. Ассоциация граждан и организаций по содействию развитию корпоративного образования. URL: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/>

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):

Iyukhina 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 drawing 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 vestnikvgt@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. Ivanov¹,**

Ivan A. Petrov²

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/vguir/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 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

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., Belozarov 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/>

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., Belozarov 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).