

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**

2024

№

3

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

2024, Том. 86, № 3

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В 1938 ГОДУ
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД

**Воронеж
2024**

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

2024, Vol. 86, No. 3

SCIENTIFIC AND THEORETICAL JOURNAL

FOUNDED IN 1938
COMES 4 TIMES PER YEAR

**Voronezh
2024**

**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

**Соответствие рубрик/разделов журнала Вестник ВГУИТ
Номенклатуре научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени.**

1.1 Процессы и аппараты пищевых производств

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

1.2 Пищевая биотехнология

4.3.3. Пищевые системы (технические науки)

4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки)

2. Химическая технология

2.6.7. Технология неорганических веществ (технические науки)

2.6.7. Технология неорганических веществ (химические науки)

2.6.10. Технология органических веществ (химические науки)

2.6.10. Технология органических веществ (технические науки)

2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (химические науки)

2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)

2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ (технические науки)

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (физикоматематические науки)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

Председатель (Главный редактор):

КОРНЕЕВА ОЛЬГА СЕРГЕЕВНА доктор биологических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, и.о. проректора 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, и.о. проректора по учебной работе, зав. кафедрой машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-1547-9814

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

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

МАКСИМЕНКО ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе и инновациям, заведующий кафедрой 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 кафедры 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 плодородства, виноградарства и экологии, Словацкий сельскохозяйственный университет (Нитра, Словакия), отдел биоэнергетики и пищевых технологий, Жешувский университет (Жешув, Польша) ORCID: 0000-0002-4460-0222

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СУНДАРРАДЖАН ПРИЯ магистр наук, 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 КСЕНОФОНОВИЧ 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 химии 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)

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 10.09.2024. Подписано в печать 20.09.2024

Выход в свет: 30.09.2024

Усл. печ. л. 45,5 Тираж 1500 экз. Заказ.

Цена – свободная.

© ФГБОУ ВО

«Воронеж. гос. ун-т инж. технол.», 2024

**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

**Correspondence of rubrics/sections of the journal Proceedings of VSUET
The nomenclature of scientific specialties for which academic degrees are awarded.**

1.1 Food production processes and apparatus

4.3.1. Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

1.2 Food biotechnology

4.3.3. Food systems (engineering sciences)

4.3.5. Biotechnology of food and biologically active substances (technical sciences)

2. Chemical technology

2.6.7. Technology of inorganic substances (engineering sciences)

2.6.7. Technology of inorganic substances (chemical sciences)

2.6.10. Technology of organic substances (chemical sciences)

2.6.10. Technology of organic substances (engineering sciences)

2.6.11. Technology and processing of synthetic and natural polymers and composites (chemical sciences)

2.6.11. Technology and processing of synthetic and natural polymers and composites (technical sciences)

2.6.12. Chemical technology of fuels and high-energy substances (technical sciences)

2.6.13. Processes and apparatus of chemical technologies (technical sciences)

2.6.13. Processes and apparatuses of chemical technologies (physical and mathematical sciences)

EDITORIAL COUNCIL

Chairman (Editor-in-chief):

KORNEEVA, OLGA SERGEEVNA doctor of biological sciences, professor, honored worker of higher school of Russia, acting vice-rector for research and innovation, 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

AGAFONOV, GENNADII VIACHESLAVOVICH Doctor of Technical Sciences, prof., 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 Succuro Inc. (La Mesa, USA) ORCID: 0000-0002-9377-3875

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)

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. Gorbатов. (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 (Moscow, 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)

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 III № 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 10.09.2024. Signed to print 20.09.2024

The publication: 30.09.2024

Conditional Print l. 45.5 Circulation 1500 copies.

Price - Free.

© FSBEI HE

"Voronezh State University
of Engineering
Technologies", 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Шевцов А.А., Ткач В.В. Вычислительный эксперимент в создании системы виртуального проектирования барабанных сушилок с тепловым насосом	15
Шахов С.В., Антипов С.Т., Панфилов В.А. Моделирование облика пищевых технологий в Шестом технологическом укладе	24
Сотников В.Г., Сафин Р.Г., Загиров А.Н., Тимербаев Н.Ф., Гурьянов Д.А., Хабибуллина А.Р. Методика расчёта двухступенчатой системы сепарации установки для производства биотоплива	30
Устинова Ю.В., Просин М.В., Бородулин Д.М., Доня Д.В. Прогнозирование развития технологических процессов на примере ведущего оборудования линии производства конфет «Птичье молоко»	37

ПИЩЕВАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

Корпачева С.М., Молчанова А.И. Разработка рецептуры оладий на основе растительных аналогов молока	44
Ковалева Т.С., Крюкова О.Н., Ежова А.В., Яковлева С.Ф. Влияние рациона питания на состав кишечной микробиоты	51
Корпачева С.М., Рогова О.В., Антипин С.Д. Квалиметрическое прогнозирование качества мучных блюд с использованием растительных заменителей молока	59
Долматова О.И., Панфилова К.Ю. Изучение показателей качества обогащенного сметанного продукта	67
Магомедов Г.О., Магомедов М.Г., Плотникова И.В., Шевякова Т.А., Плотников В.Е. Разработка технологии функциональных помадных конфет пребиотического действия с использованием порошка из жома топинамбура	73
Безлер Н.В., Федорова О.А., Санеева Ю.Н., Цомая В.Д. Влияние культур <i>Bacillus Subtilis</i> на развитие болезней листового аппарата сахарной свеклы	83
Кириллов Е.А., Никитенко В.Д., Туршатов М.В., Кононенко В.В., Соловьев А.О. Исследования по получению дистиллятов из сброженного зерно-фруктового сырья на аппаратах периодического действия	89
Маслов А.В., Мингалева З.Ш., Старовойтова О.В., Агзамова Л.И., Решетник О.А. Перспективы применения комплексной добавки для улучшения биотехнологических характеристик дрожжей <i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	96
Коннова О.И., Максименко Ю.А. Экспериментально-аналитическое исследование процесса ультразвуковой экстракции инулина из клубней топинамбура	102
Беляева М.А., Бочаров А.П. Организация питания в школах	109
Кулигин Д.Р., Чусова А.Е., Новикова И.В., Коротких Е.А., Муравьев А.С., Левашов А.С. Особенности технологии безглютенового пива с использованием различных штаммов дрожжей	116
Кульнева Н.Г., Последова Ю.И. Совершенствование технологии экстрагирования сахарозы при переработке некондиционного сырья	122
Еремина О.Ю., Анохин Ю.В. Анализ потребительского рынка спортивного питания в Орловской области	129
Желтоухова Е.Ю., Терехина А.В., Лобосова Л.А., Барбашин М.А., Щедрина Ю.С. Исследование процесса производства кондитерского жира со сбалансированным жирнокислотным составом на основе растительных культур	139
Субхонбердиев А.Ш., Иванников В.А., Сапрыкина О.С., Егорова Г.Н. Обзор рынка пищевых производств России	146
Деркачева Н.П., Новикова Л.А., Недомолкина С.В., Дерканосова А.А., Егорова Г.Н., Курчаева Е.Е. Лебеда как биологически активная добавка в продуктах питания: химический состав, свойства и перспективы использования	152
Багмут Ю.Н., Кокорева Л.А., Пастушкова Е.В., Волков А.Ю., Костин К.Б. Разработка технологии охлажденной кулинарной продукции с пролонгированными сроками хранения	158
Погорелова Н.А., Сарницкая Н.А., Полянский К.К., Дерканосова А.А., Коновалов С.А. Физико-химические свойства и липидосвязывающая способность бактериальной целлюлозы, синтезированной на молочной сыворотке	166
Коломейцева Н.А., Глотова И.А., Куцова А.Е., Дерканосова А.А. Разработка питьевых киселей с обогащенным белково-углеводным составом для потенцирования иммунного статуса населения	175
Фризен Ю.В., Коновалов С.А., Гришина Е.С., Мерклингер А.А., Дерканосова А.А., Полянский К.К. Макароны быстрого приготовления повышенной пищевой ценности с использованием муки из зерна льна белого и рыжика посевного	183
Жаркова И.М., Плотникова И.В., Иванчиков Д.С. Оценка различными методами содержания поврежденного крахмала в пшеничной муке высшего сорта	193
Дерканосова А.А., Курчаева Е.Е., Панина Е.В. Формирование функционально-технологических свойств мясных фаршей с использованием белково-углеводных композитов	201

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Мамадова С.Г., Садыгов Ф.М., Исмаилов З.И., Ким К.Б., Нифталиев С.И. Исследование системы Et-Sb-Te	209
Козадерова О.А., Чернова В.Ю. Выделение кислоты из отработанного травильного раствора методом диффузионного диализа с анионообменной мембраной	217
Род В.А., Утехин А.Н., Кондратов А.П. Подбор и модификация термопластичных полимерных пленок для ортодонтологии	223
Студеникина Л.Н., Углова В.Е., Коленко И.В., Мельников А.А. Модификация поливинилового спирта боратами	231
Моргачева Е.А., Пугачева И.Н., Санникова Н.Ю., Никулин С.С. Влияние продолжительности гомогенизации каучукового латекса с коагулирующим агентом на снижение агрегативной устойчивости	237
Моргачева Е.А., Мякишева А.В., Пугачева И.Н., Никулин С.С. Перспективный коагулянт для производства эмульсионных каучуков	244
Попов С.В., Осипян Д.Г. Уменьшение потерь исходного реактанта n -гексана с товарным изомеризатом	250
Трифонов П.И., Попов С.В. Повышение вариативности выпускаемой товарной продукции установки каталитического риформинга	258
Гаврилов А.Н., Алексеев М.В., Ильинов К.Д. Особенности моделирования плазменного синтеза УНС в жидкой среде	267
Шишанов М.В., Кук Х.Г., Геворкян Э.Л., Ботнев А.Ю. Сравнительное исследование геометрических характеристик микрокапилляров для проведения химических реакций	274
Колаволе С. Дада, Успенская М.В., Коллинс Н. Элангвэ, Носова А.О., Олехнович Р.О. Изучение влияния механических и физических характеристик трансдермальных пластырей: исследование полимерных пленок на основе гиалуроновой кислоты и наночастиц оксида цинка	282

CONTENTS

PROCESSES AND APPARATUSES OF FOOD ENGINEERING

Shevtsov A.A., Tkach V.V. Computational experiment in creating a virtual design system for drum dryers with a heat pump	15
Shakhov S.V., Antipov S.T., Panfilov V.A. Modeling the appearance of food technologies in the Sixth technological order	24
Sotnikov V.G., Safin R.G., Zagirov A.N., Timerbaev N.F., Guryanov D.A., Khabibullina A.R. Method of calculation of a two-stage separation system of a biofuel production installation	30
Ustinova Yu.V., Prosin M.V., Borodulin D.M., Donya D.V. Forecasting the development of technological processes using the example of the leading equipment of the "Bird's Milk" candy production line	37

FOOD BIOTECHNOLOGY

Korpacheva S.M., Molchanova A.I. Development of a recipe for fritters based on vegetable analogues of milk	44
Kovaleva T.S., Kryukova O.N., Ezhova A.V., Yakovleva S.F. Effect of dietary intake on the composition of the intestinal microbiota	51
Korpacheva S.M., Rogova O.V., Antipin S.D. Improving the quality of flour dishes using vegetable milk analogues based on the development of a qualimetric model	59
Dolmatova O.I., Panfilova K.Yu. Studying the quality indicators of the enriched sour cream product	67
Magomedov G.O., Magomedov M.G., Plotnikova I.V., Shevyakova T.A., Plotnikov V.E. Development of technology for functional prebiotic fondant candies using powder made of jerusalem artichoke pulp	73
Bezler N.V., Fedorova O.A., Saneeva Ju.N., Tsomaia V.D. Influence of <i>Bacillus Subtilis</i> cultures on the development of diseases of the leaf apparatus of sugar beet	83
Kirillov E.A., Nikitenko V.D., Turshatov M.V., Kononenko V.V., Solovyev A.O. Research on the obtaining of distillates from fermented grain and fruit raw materials using periodic devices	89
Maslov A.V., Mingaleeva Z.Sh., Starovoitova O.V., Agzamova L.I., Reshetnik O.A. Prospects for the use of complex additive to improve biotechnological characteristics of yeast <i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	96
Konnova O.I., Maksimenko Yu.A. Experimental-analytical study of the process of ultrasonic extraction of inulin from jerusalem tubers	102
Belyaeva M.A., Bocharov A.P. Catering in schools	109
Kuligin D.R., Chusova A.E., Novikova I.V., Korotkikh E.A., Muravyev A.S., Levashov A.S. Peculiarities of gluten-free beer technology using different yeast strains	116
Kulneva N.G., Posledova Yu.I. Improving sucrose extraction technology when processing substandard raw materials	122
Eremina O.Yu., Anokhin Yu.V. Analysis of the consumer market for sports nutrition in the Oryol region	129
Zheltoukhova E.Yu., Terekhina A.V., Lobosova L.A., Barbashin M.A., Shchedrina Yu.S. Research into the production process of confectionery fat with a balanced fatty acid composition based on plant crops	139
Subhonberdiev A.Sh., Ivannikov V.A., Saprykina O.S., Egorova G.N. Overview of the Russian food production market	146
Derkacheva N.P., Novikova L.A., Nedomolkina S.V., Derkanosova A.A., Egorova G.N., Kurchaeva E.E. Quinoa as a biologically active additive in food: chemical composition, properties and prospects of use	152
Bagmut Yu.N., Kokoreva L.A., Pastushkova E.V., Volkov A.Yu., Kostin K.B. Development of technology for chilled culinary products with extended shelf life	158
Pogorelova N.A., Sarnitskaya N.A., Polyansky K.K., Derkanosova A.A., Konovalov S.A. Physico-chemical properties and lipid binding capacity of bacterial cellulose synthesized on whey	166
Kolomeytseva N.A., Glotova I.A., Kutsova A.E., Derkanosova A.A. Development of drinking sourdels with enriched protein-carbohydrate composition for potentiation of immune status of the population	175
Friesen Ju.V., Konovalov A.S., Grishina E.S., Merklinger A.A., Derkanosova A.A., Polyansky K.K. Instant pasta with increased nutritional value using flour from white flax and camelina grains	183
Zharkova I.M., Plotnikova I.V., Ivanchikov D.S. Evaluation of damaged starch content in premium wheat flour using different methods	193
Derkanosova A.A., Kurchaeva E.E., Panina E.V. Formation of functional and technological properties of minced meat using protein-carbon composites	201

CHEMICAL TECHNOLOGY

- Mamadova S.H., Sadygov F.M., Ismailov Z.I., Kim K.B., Niftaliev S.I.** Investigation of the Er-Sb-Te system 209
- Kozaderova O.A., Chernova V.Yu.** Recovery of acid from spent pickling solution by diffusion dialysis with anion exchange membrane 217
- Rod V.A., Utekhin A.N., Kondratov A.P.** Selection and modification of thermoplastic polymer films for orthodontology 223
- Studenikina L.N., Uglova V.E., Kolenko I.V., Melnikov A.A.** Modification of polyvinyl alcohol with borates 231
- Morgacheva E.A., Pugacheva I.N., Sannikova N.Yu., Nikulin S.S.** Effect of the duration of homogenization of rubber latex with a coagulating agent on the decrease in aggregative stability 237
- Morgacheva E.A., Myakisheva A.V., Pugacheva I.N., Nikulin S.S.** A promising coagulant for the production of emulsion rubbers. 244
- Popov S.V., Osipyany D.G.** Reduction of losses of the initial n-hexane reactant with commercial isomerizate 250
- Trifonov P.I., Popov S.V.** Increasing the variability of the manufactured commercial products of the catalytic reforming plant 258
- Gavrilov A.N., Alekseev M.V., Ilyinov K.D.** Features of modeling the plasma synthesis of ONC in a liquid medium 267
- Shishanov M.V., Cook K.G., Gevorgyan E.L., Botnev A.Yu.** Comparative study of geometric characteristics of microcapillaries for chemical reactions 274
- Kolawole S. Dada, Uspenskaya M.V., Collins N. Elangwe, Nosova A.O., Olekhovich R.O.** Exploring the influence of mechanical and physical characteristics on transdermal patches: A study on polymeric films composed of hyaluronic acid and zinc oxide nanoparticles 282

Процессы и аппараты пищевых производств

Processes and devices for food production

DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2024-3-15-23>

Оригинальная статья/Research article

УДК 004.94

Open Access

Available online at vestnik-vsuet.ru

Вычислительный эксперимент в создании системы виртуального проектирования барабанных сушилок с тепловым насосом

Александр А. Шевцов¹ shevalol@rambler.ru  0000-0001-5745-8301Владимир В. Ткач² tkachbalian@ya.ru  0009-0006-9220-7296¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия² Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, Россия

Аннотация. Одним из эффективных направлений исследования реальных технологических процессов является создание виртуальных процессов и его составляющих. В работе созданы виртуальные компьютерные модели, устанавливающие связь между математической моделью процесса сушки и моделируемой конструкцией двухсекционной барабанной сушилки, укомплектованной абсорбционным водоаммиачным тепловым насосом. Для имитационного моделирования процесса сушки использована математическая модель на базе дифференциальных уравнений тепломассопереноса А.В. Лыкова, алгоритмическое и программное обеспечение процесса сушки и создана единая виртуальная система, позволяющая в широком диапазоне изменения режимных параметров моделировать процесс сушки злаковых, масличных и зернобобовых культур в барабанной сушилке в режиме реального времени. Для проведения вычислительного эксперимента в одной из САПР систем выполнена трехмерная визуализация барабанной зерносушилки и использована графическая оболочка среды LabVIEW с набором всех инструментов, необходимых для сбора данных, их анализа и представления полученных результатов. 3D – исполнение барабанной сушилки в САПР (системе автоматизированного проектирования) позволила моделировать реальные условия ее эксплуатации, выполнять сравнение альтернативных вариантов и осуществлять выбор наилучших конструкторских решений.

Ключевые слова: виртуальное исследование, математическое моделирование, компьютерное моделирование, сушка, тепловой насос.

Computational experiment in creating a virtual design system for drum dryers with a heat pump

Aleksandr A. Shevtsov¹ shevalol@rambler.ru  0000-0001-5745-8301Vladimir V. Tkach² tkachbalian@ya.ru  0009-0006-9220-7296¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia² The Air Force Academy named after the professor N.E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin, Old Bolsheviki, 54a, Voronezh, 394064, Russia

Abstract. One of the effective areas of research of real technological processes is the creation of virtual processes and its components. In the work, virtual computer models have been created that establish a connection between the mathematical model of the drying process and the simulated design of a two-section drum dryer equipped with an absorption water-ammonia heat pump. To simulate the drying process, a mathematical model based on differential equations of heat and mass transfer A.V. Lykov, algorithmic and software of the drying process were used and a single virtual system was created that allows simulating the drying process of cereals, oilseeds and legumes in a drum dryer in real time over a wide range of regime parameters. To conduct a computational experiment in one of the CAD systems, a three-dimensional visualization of a drum dryer was performed and a graphical shell of the LabVIEW environment was used with a set of all the tools necessary for data collection, analysis and presentation of the results obtained. 3D execution of the drum dryer in CAD (computer-aided design system) made it possible to simulate the real conditions of its operation, compare alternative options and select the best design solutions.

Keywords: virtual research, mathematical modeling, computer modeling, drying, heat pump.

Введение

При проектировании зерносушильных технологий наряду с опытно – экспериментальными исследованиями часто становится необходимым создание компьютерных и математических моделей, позволяющих осуществлять комплексное исследование процесса сушки для определения его технологических возможностей и получения

оптимального результата [1, 2]. Широкое применение барабанных сушилок обусловлено рядом их преимуществ: надежность в эксплуатации, высокая производительность по испаренной влаге, простота в обслуживании и более низкие энергозатраты по сравнению с другими видами конвективной сушки [3–6].

Для цитирования

Шевцов А.А., Ткач В.В. Вычислительный эксперимент в создании системы виртуального проектирования барабанных сушилок с тепловым насосом // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 15–23. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-15-23

For citation

Shevtsov A.A., Tkach V.V. Computational experiment in creating a virtual design system for drum dryers with a heat pump. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 15–23. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-15-23

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

Снижение потерь зерна, обеспечение их сохранности определяется послеуборочной обработкой, в которой сушка имеет решающее значение. На всех этапах послеуборочной обработки зерна ставится задача повышения эффективности технологических процессов сушки за счёт их интенсификации, снижения затрат на сушку, сохранения и повышения качества зерновых культур. Несмотря на большое разнообразие и широкий спектр возможностей, современные барабанные зерносушилки по-прежнему остаются наиболее энергоёмким оборудованием современного производства по хранению и переработке зерна. Даже самые современные на сегодняшний день барабанные сушилки ведущих мировых производителей имеют низкий коэффициент полезного действия. Затраты

теплоты на испарение 1 кг влаги в современных сушилках составляют 2250–2400 кДж, что в 3–4 раза превышает затраты теплоты в так называемой «идеальной сушилке» [6].

Конструктивные особенности барабанной сушилки

Объектом исследования является процесс сушки зерна злаковых, масличных и зернобобовых культур в барабанной зерносушилке. Для повышения коэффициента полезного действия современных зерносушилок барабанного типа, а также высокую стоимость подготовки сушильного агента и его значительные суточные объёмы потребления в период уборки урожая, практический интерес представляет конструкция секционной барабанной сушилки с вращающимися барабанами от одного привода [7] (рисунок 1).

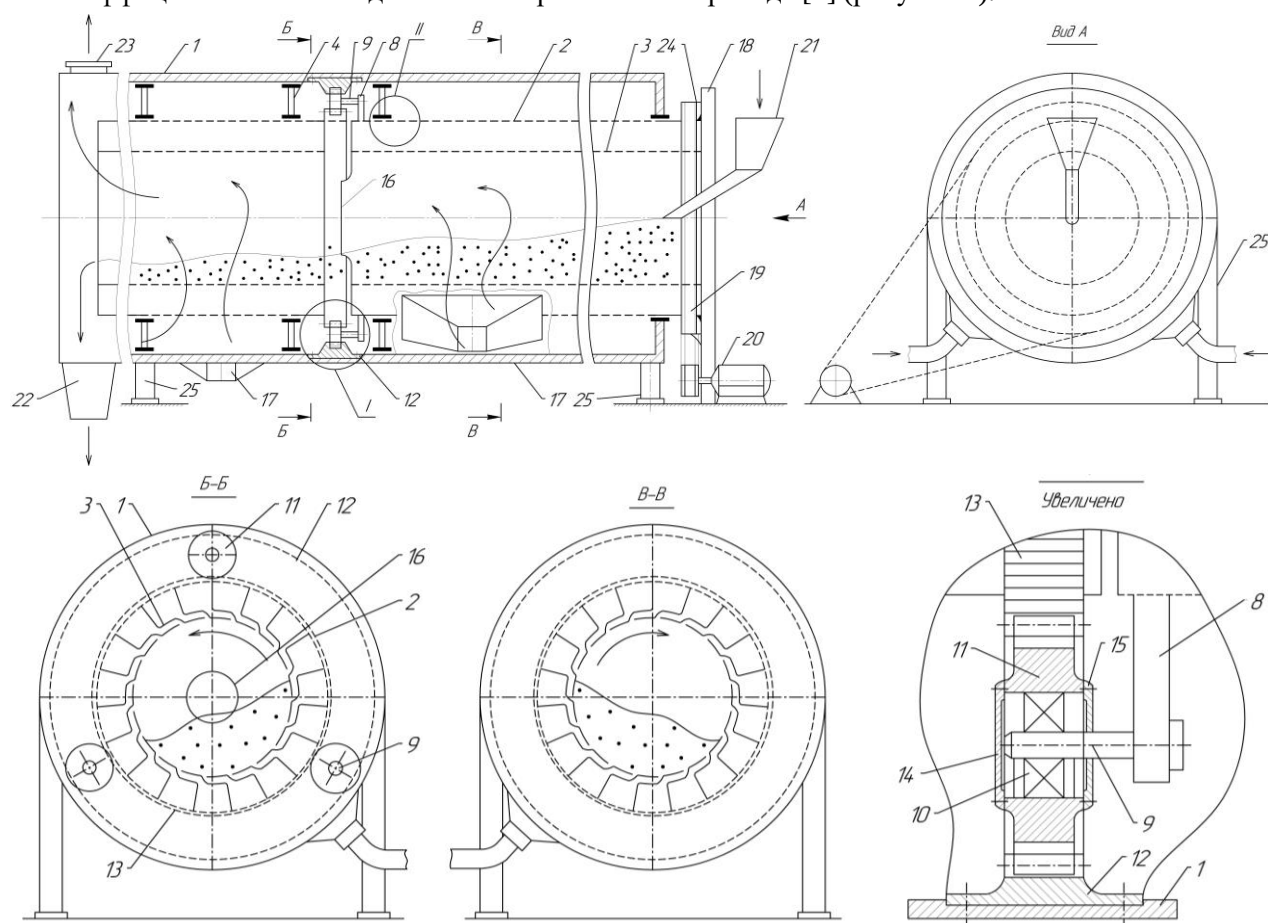


Рисунок 1. Барабанная сушилка

Figure 1. Drum dryer

Барабанная сушилка содержит неподвижный кожух 1, перфорированный барабан 2, состоящий из двух секций, профильную канальную насадку 3, кольцевые перегородки 4, подшипник 5, крышку подшипника 6, сальниковое уплотнение 7, стойку 8, ось 9, подшипник 10, зубчатое колесо-сателлит 11, внутренний венец неподвижного кожуха 12, внешний зубчатый венец 13, глухую крышку подшипника 14, крышку подшипника 15, переливной фланец 16,

патрубки для подвода теплоносителя 17, неподвижный фланец 18, приводное колесо 19, привод 20, загрузочную воронку 21, разгрузочный бункер 22, патрубков для отвода теплоносителя 23, уплотнители 24, опорные стойки 25. Режим сушки зерна устанавливают по экспериментальным кривым сушки и нагрева в соответствии с кинетическими закономерностями процесса сушки конкретного вида зерна. Такая организация процесса способствует повышению эффективности

сушки за счет более рационального использования энергии сушильного агента, позволяет интенсифицировать процесс сушки.

Подключение абсорбционного теплового насоса к барабанной сушилке

Из-за роста цен на традиционные энергоносители зерноперерабатывающие предприятия вынуждены искать новые пути энергоснабжения с применением независимых альтернативных источников энергии. Предпосылкой для использования новых источников энергии является расширяющийся рынок современного теплонасосного оборудования, способного эффективно использовать низкопотенциальную энергию, которая в большинстве случаев выбрасывается в атмосферу.

Тепловые насосы могут утилизировать низкопотенциальное тепло, снижая при этом не только финансовые, но и экологические издержки предприятия [8–12].

Теплонасосное энергоснабжение производственных объектов является одним из наиболее динамично развивающихся направлений мировой теплоэнергетики, использующей возобновляемые низкопотенциальные природные источники или вторичную энергию промышленных, сельскохозяйственных и других технологических процессов. Энергетическая значимость замещения традиционных теплогенераторов, использующих органическое топливо, тепловыми насосами (ТН) доказана широкомасштабным внедрением теплонасосных технологий в мире [13].

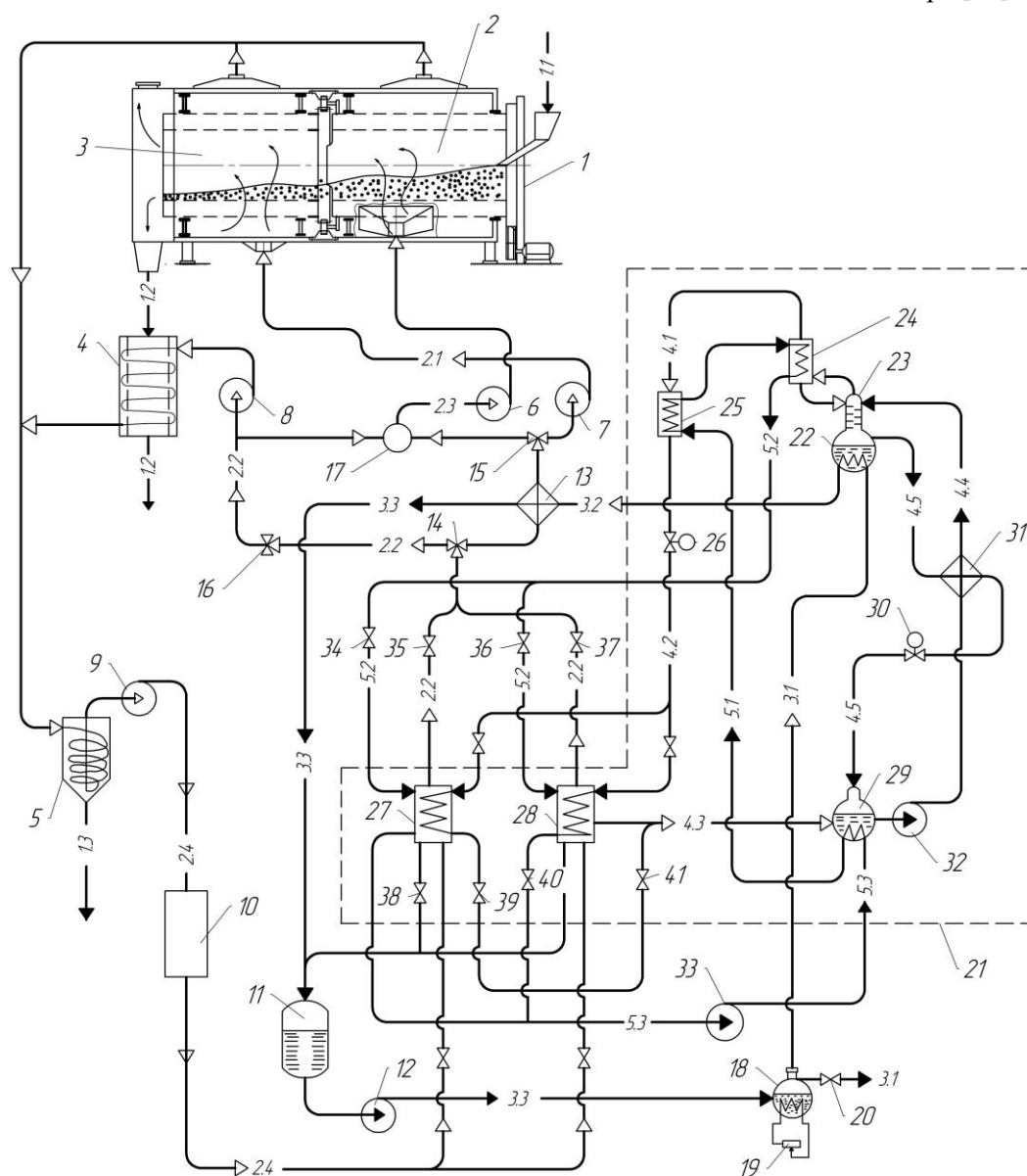


Рисунок 2. Схема барабанной сушилки с абсорбционным водоаммиачным тепловым насосом

Figure 2. Diagram of a drum dryer with an absorption water-ammonia heat pump

Теплонасосная технология зерносушения (рисунок 2) содержит зерносушилку 1 с зоной низкотемпературной сушки 2, высокотемпературной сушки 3, охладитель 4, циклон 5, вентиляторы 6–9, фильтр тонкой очистки 10, сборник конденсата 11, насосы 12, 32, 33, теплообменники 13, 31, распределители потоков 14 – 16, смеситель 17, парогенератор 18, нагревательный элемент 19, предохранительный клапан 20, абсорбционный тепловой насос 21, нагреватель 22, ректификатор 23, дефлегматор 24, конденсатор 25, терморегулирующие вентили 26, 30, рабочая и резервная секции испарителя 27, 28, абсорбер 29, клапаны 34 – 41. Потоки: 1.1 – влажное зерно злаковых или масличных культур; 1.2 – высушенное зерно; 1.3 – взвешенные частицы; 2.1 – высокотемпературный сушильный агент; 2.2 – низкотемпературный сушильный агент; 2.3 – смесь высокотемпературного и низкотемпературного сушильных агентов; 2.4 – очищенный сушильный агент; 3.1 – перегретый пар; 3.2 – отработанный перегретый пар; 3.3 – конденсат; 4.1 – пары аммиака; 4.2 – жидкий аммиак; 4.3 – испаренный аммиак; 4.4 – крепкий водоаммиачный раствор; 4.5 – слабый водоаммиачный раствор; 5.1 – подача оборотной воды сначала в конденсатор затем в дефлегматор; 5.2 – отвод оборотной воды из дефлегматора в рабочую секцию испарителя; 5.3 – подача оборотной воды из рабочей секции испарителя в абсорбер [14].

В соответствии со схемой (рисунок 2) влажное зерно подается в зерносушилку 1 и перемещается в гравитационном поле по зонам низкотемпературной сушки 2, высокотемпературной сушки 3 и попадает в охладитель 4 при противоточном продувании зернового слоя сушильным агентом, после чего отводится на хранение. Поглощая значительное количество влаги, отработанный сушильный агент теряет свою влагопоглощающую способность, и становится не пригодным для сушки. Поэтому после грубой и тонкой очистки соответственно в циклоне 5 и фильтре 10 отработанный сушильный агент подается на конденсацию в одну из секций испарителя абсорбционного водоаммиачного абсорбционного ТН, в которой снижается его влагосодержание с 0,025–0,028 до 0,005–0,007 кг/кг. При функционировании теплового насоса на стенках испарителя образуется слой ледяной корки (снеговой «шубы»), препятствующей теплообмену между кипящим хладагентом и сушильным агентом через оребренную охлаждающую поверхность испарителя. На поверхности испарителя возникает термическое сопротивление, что приводит к снижению коэффициента теплопередачи от хладагента к сушильному агенту по мере увеличения толщины «снеговой шубы». Попеременный режим работы секций

испарителя 24 и 25 позволяют непрерывно конденсировать влагу из отработанного сушильного агента в снеговую шубу, намерзающую на теплообменной поверхности одной секции испарителя, и одновременно размораживать другую секцию испарителя при ее отключении из контура рециркуляции хладагента и прекращении подачи сушильного агента. Синхронизированное переключение секций 24 и 25 обеспечивается с помощью средств автоматизации по текущей величине коэффициента теплопередачи при рекуперативном теплообмене между отработанным сушильным агентом и кипящим аммиаком.

Одна часть осушенного и охлажденного низкотемпературного сушильного агента нагревается в рекуперативном теплообменнике 13 и используется в качестве высокотемпературного сушильного агента с температурой 110–115 °С и через смеситель 17 подается в зону сушки 3; вторая часть с температурой 10–12 °С направляется в охладитель 4. В смесителе 17 осуществляется смешивание потоков низкотемпературного и высокотемпературного сушильного агента. Полученная смесь с температурой 80–90 °С по потоку 2.3 подается в зону 2 сушилки 1.

Образовавшийся конденсат после размораживания секции испарителя, работающей в режиме регенерации, отводится в сборник конденсата 11 и возвращается в парогенератор 18 насосом 12 в режиме замкнутого цикла. Размораживание секции испарителя осуществляется оборотной водой отводимой после дефлегматора 24.

В парогенераторе 18 при затрате электроэнергии в электронагревательных элементах 19 образуется насыщенный водяной перегретый пар с давлением 0,36 Мпа, что соответствует его температуре 140 °С. Наличие предохранительного клапана 20 предотвращает аварийные сбои при увеличении давления пара в парогенераторе 18 выше допустимого.

Существенная роль в работе водоаммиачного теплового насоса отводится оборотной воде. Ее рециркуляция через абсорбер 29, конденсатор 25 и дефлегматор 24 позволяет повысить энергетическую эффективность процессов конденсации паров воды в дефлегматоре и паров аммиака в конденсаторе и обеспечить отвод теплоты абсорбции из абсорбера.

Таким образом, водоаммиачный абсорбционный тепловой насос открывает реальные перспективы в создании экологической технологии сушки злаковых, масличных и зернобобовых культур при максимальном использовании альтернативной энергии, снижает удельные энергозатраты на 6–8 % путем рационального использования энергоносителей, обеспечивает повышение энергетической эффективности процесса сушки, исключает выбросы в окружающую среду.

Моделирование процесса сушки

Математическая модель процесса сушки зерна злаковых, бобовых и масличных культур сформулирована на основе дифференциальных уравнений академика А.В. Лыкова, учитывающих обобщенный закон перемещения влаги во влажном зерне в виде пара и жидкости [15, 16]. С учетом принятых допущений уравнения нестационарного тепло-массопереноса в сферической системе координат представлены в виде:

$$c_m \rho_0 \frac{\partial \theta}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{2}{x} \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \varepsilon r_0 \rho_0 \frac{\partial u}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a_m \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{2}{x} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + a_m \delta \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{2}{x} \frac{\partial \theta}{\partial x} \right),$$

с граничными условиями третьего рода:

$$\begin{aligned} -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=R} + \alpha (\theta|_{x=R} - \theta_c) - \\ - (1 - \varepsilon) r_0 \rho_0 \beta (u|_{x=R} - u_p) = 0, \\ a_m \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=R} + a_m \delta \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=R} + \beta (u|_{x=R} - u_p) = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

и начальными условиями:

$$\theta(x, 0) = \theta_0, u(x, 0) = u_0, \quad (3)$$

где θ_0 , θ – начальная и текущая температура семян, К; θ_c – температура теплоносителя, К; u , u_p , u_0 – соответственно текущее, равновесное и начальное влагосодержание семян, кг/кг; ε – критерий фазового превращения, величина безразмерная, характеризующая долю влаги, перемещающейся в виде пара; r_0 – удельная теплота парообразования, кДж/кг; a_m – коэффициент диффузии влаги, м²/с; δ – термоградиентный коэффициент, 1/К; α – коэффициент теплообмена, Вт/(м²·К); β – коэффициент сущсоотдачи, м/с; t – текущее время тепловой обработки, с.

После замены переменных: $r = x / R$ – безразмерная пространственная координата; $T = (\theta - \theta_0) / (\theta_c - \theta_0)$, $U = u / u_0$ – соответственно безразмерные температура и влагосодержание семян; $\tau = t / t_k$ – безразмерное время, где t_k – время сушки, получена безразмерная форма уравнений (1)–(3).

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = A_{11} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + A_{12} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial U}{\partial r} \right),$$

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = A_{21} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + A_{22} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial U}{\partial r} \right), \quad (4)$$

$$r \in [0, 1]$$

$$\tau \in [0, 1]$$

с граничными условиями:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} \Big|_{r=1} + a_1 \left[\frac{1 - T(r, \tau)|_{r=1}}{-a_2 (U(r, \tau)|_{r=1} - u_p / u_0)} \right] = 0, \\ \frac{\partial U(r, \tau)}{\partial r} \Big|_{r=1} + b_1 \left[\frac{1 - T(r, \tau)|_{r=1}}{+b_2 (U(r, \tau)|_{r=1} - u_p / u_0)} \right] = 0, \end{aligned} \quad (5)$$

с начальными условиями:

$$T(r, 0) = 0, U(r, 0) = 1 \quad (6)$$

Получено приближённое решение в виде зависимостей:

$$\begin{aligned} T = \frac{1}{r} [M_z + Z_1(\tau) \sin(m \pi r)], \\ U = \frac{1}{r} [M_w + W_1(\tau) \sin(m \pi r)]. \end{aligned} \quad (7)$$

Для изначально сформулированной модели составлено алгоритмическое и программное обеспечение и получено аналитическое решение с помощью математического пакета Maple [17–20].

Настройка математической модели осуществлялась в соответствии с теплофизическими и массообменными характеристиками конкретного сырья при минимальном отклонении расчетных и экспериментальных данных. В качестве примера использованы характеристики семян сои.

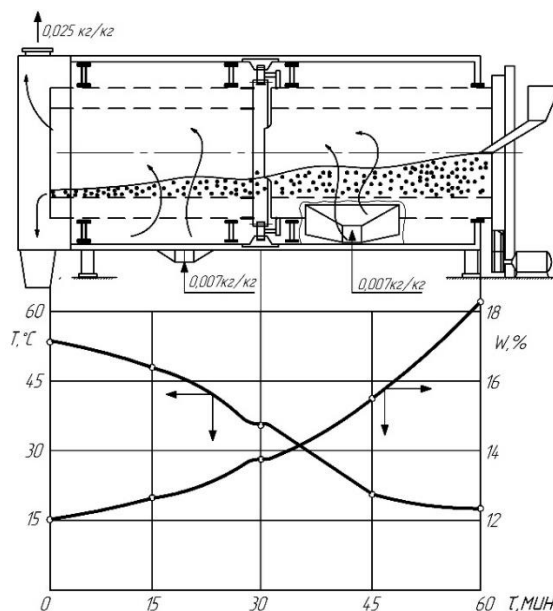


Рисунок 3. Расчетные кривые кинетики сушки в барабанной сушилке

Figure 3. Calculated curves of drying kinetics in a drum dryer

Расчетные кривые кинетики сушки семян сои в двухсекционной барабанной сушилке (рисунок 3) позволили спрогнозировать конструктивные и режимные параметры двухсекционной барабанной сушилки: длина барабана в первой и во второй секции – 2,1 и 1,6 м;

диаметры барабанов – 0,6 м; скорость сушильного агента в первой и во второй секции – 4,2 и 2,3 м/с; влагосодержание сушильного агента на входе в слой зерна – 0,006 кг/кг; скорость вращения барабанов в первой и во второй секциях – 1,7 и 1,0 об/мин; где температура в первой с секции барабана 82 °С, во второй секции барабана 115 °С. Погрешность результата моделирования для различных видов зерна злаковых и масличных культур не превышала 11–13 %.

Решение оптимизационной задачи процесса сушки

В качестве критерия оптимизации использованы суммарные энергетические затраты, приходящиеся на единицу массы испаряемой влаги [7]:

$$R = (N_1 + N_2 + N_3)C_{\text{э}} / U, \quad (8)$$

где N_1 – потребляемая мощность электропривода вентилятора (кВт), затрачиваемая на преодоление аэродинамического сопротивления зернового слоя:

$$N_1 = 9,81k A v^n \xi^2, \quad (9)$$

где k – коэффициент перевода механической энергии потока сушильного агента в электрическую, (кВт·ч) / (Н·м); v – скорость сушильного агента на входе в слой продукта, м/с; A и n – экспериментально определяемые коэффициенты, зависящие от свойств зерна; ξ – степень заполнения барабана, в долях единицы; N_2 – потребляемая тепловая мощность абсорбционного водоаммиачного теплового насоса, кВт:

$$N_2 = Q_0 / \varepsilon, \quad (10)$$

где Q_0 – холодопроизводительность, кВт; холодильный коэффициент $\varepsilon = T_0 / (T - T_0)$, T_0 , T – температура охлаждаемого сушильного агента и окружающей среды, К.

Холодопроизводительность ТН определяли по формуле:

$$Q_0 = F_{\text{и}} k \theta_m v, \quad (11)$$

где $F_{\text{и}}$ – площадь теплопередающей поверхности испарителя ТНУ, м²; k – коэффициент теплопередачи испарителя, Вт / (м²·К);

$$k = \frac{Q}{F \Delta t_{\text{ср}}}, \quad (12)$$

где $Q = V c \rho (t_1 - t_2)$ – количество теплоты, подаваемой отработанным сушильным агентом в испаритель теплового насоса, кДж/ч; c, ρ – средние значения теплоемкости, кДж / (кг·К), плотности, кг/м³, сушильного агента; V – объемный расход сушильного агента, м³/ч; F – площадь поверхности охлаждающего элемента испарителя, м²; $\Delta t_{\text{ср}} = (t_1 - t_2) / \ln[(t_1 - t_3) / (t_2 - t_3)]$ – среднелогарифмический температурный напор, С; t_1, t_2 – температура сушильного агента соответственно на входе и выходе из испарителя, °С; t_3 – температура кипения хладагента в испарителе, °С, θ_m – средняя разность температур между сушильным агентом и кипящим хладагентом на охлаждающей поверхности испарителя, °С.

N_3 – мощность, потребляемая приводом вращения барабанов, кВт; $C_{\text{э}}$ – цена электроэнергии, р/кВт ч; U – количество влаги испаряемой в единицу времени, кг/ч:

$$N_3 = C_{\text{э}} \cdot N_{\text{дв}}, \quad (13)$$

Количество влаги испаряемой в единицу времени (кг/ч):

$$U = (x_{\text{вх}} - x_{\text{вых}}) \rho_{\text{св}} F v, \quad (14)$$

где $x_{\text{вх}}, x_{\text{вых}}$ – соответственно влагосодержание сушильного агента на входе и выходе из слоя зерна, кг/кг; $\rho_{\text{св}}$ – плотность сухого воздуха, кг/м³.

Информационное и алгоритмическое обеспечение дополнено критерием оптимизации (8), который устанавливает однозначную связь между удельными теплоэнергетическими затратами и параметрами сушильного агента. Показано, что изменение расхода сушильного агента в условиях случайных возмущений доставляет экстремум функции (8) с учетом (9) – (14), а в точке единственного оптимума имеет место минимум [6]. Сочетанием экспериментальных и аналитических методов исследования получены экстремальные характеристики процесса сушки в двухсекционной барабанной сушилке в зависимости от начальной влажности высушиваемого зерна [6].

Виртуальное исследование процесса сушки

Современные системы компьютерного моделирования в процессе контроля эффективности функционирования технического решения с использованием цифровой модели позволяют устранить все ошибки на этапе разработки до начала эксплуатации изделия. На создание опытного образца требуется большое количество ресурсов и времени. Выявление конструктивных недостатков на стадии разработки снижает стоимость изготовления оборудования и сводит к минимуму риски сбоев в дальнейшей работе.

Для проведения вычислительного эксперимента в одной из САД систем выполнена трехмерная визуализация барабанной сушилки. Использование графической оболочки среды LabVIEW предоставляет весь набор инструментов, необходимых для сбора данных, их анализа и представления полученных результатов. Мониторинг и управление процессами являются основными функциями этого программного продукта. Управление процессами может быть прямым или осуществляться через специальные программируемые логические контроллеры (ПЛК).

С помощью графического языка программирования LabVIEW 3D – модель барабанной сушилки интегрировалась в общую виртуальную систему с возможностью управления всех ее элементов на экране дисплея посредством подключения к виртуальной приборной панели. Вычислительный эксперимент, проводился

в диапазоне режимных параметров, обусловленных областью допустимых технологических свойств высушиваемого зерна и минимальных удельных энергозатратах при заданной производительности сушилки и внесенных в базу виртуальной системы (таблица 1).

Таблица 1.

Параметры эксперимента

Table 1.

Experimental parameters

Скорость сушильного агента, м/с Первая секция Вторая секция	Drying agent speed, m/s First section Second section	4–6 2–4
Влагосодержание сушильного агента, кг/кг	Moisture content of drying agent, kg/kg	0,005–0,007
Скорость вращения переливной диафрагмы, об/мин	Speed of rotation of overflow diaphragm, rpm	2–4
Затраты энергии на единицу массы, кВт/кг: зерна пшеницы зерна рапса зерна сои	Energy consumption per unit mass, kW/kg: wheat grain rape grain soybean grain	0,63 1,6 1,78
Затраты энергии на единицу массы, кДж/кг: зерна пшеницы зерна рапса зерна сои	Energy consumption per unit weight, kJ/kg: wheat grain rape grain soybean grain	2268 5760 6400
Скорость вращения барабана, об/мин Первая секция Вторая секция	Drum rotation speed, rpm First section Second section	1,5–2,5 0,8–1,5
Степень заполнения барабана, % Первая секция Вторая секция	Drum filling degree, % First section Second section	35–40 25–35
Температура сушильного агента, °C Первая секция Вторая секция	Drying agent temperature, °C First section Second section	60–120 120–150
Влажность зерна, %: Начальная Конечная	Grain humidity, %: Initial Final	16–22 13–14

Оператор устанавливает значения входных параметров и следит за изменением выходных. Выходные параметры рассчитываются по математической модели. Все формулы модели объединены в расчетный блок, который в свою очередь взаимодействует со средой управления и контроля (рисунок 4).

Оператор на индикаторах задает различные комбинации входных параметров и проводит

вычислительный эксперимент, по результатам которого осуществляет поиск рациональных режимов. Это позволяет существенно сократить затраты на изготовление опытно-промышленного образца и на предварительной стадии проектирования определить геометрические параметры сушилки в зависимости от кинетических и тепломассообменных характеристик высушиваемого материала.

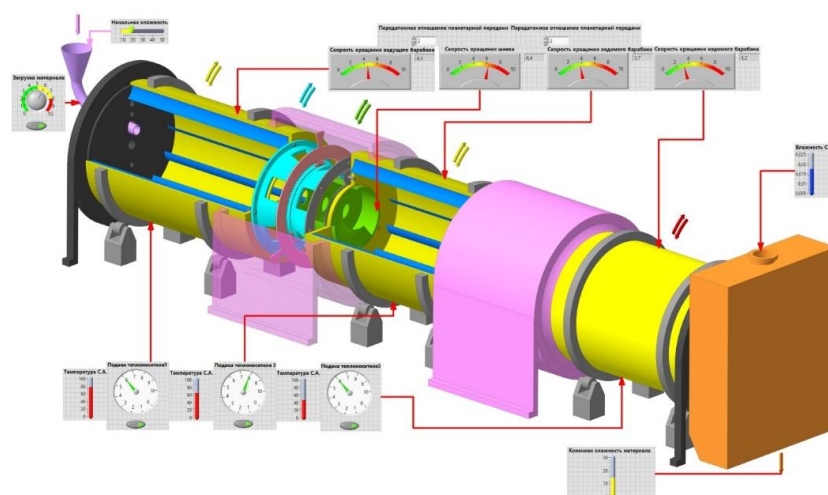


Рисунок 4. Интегрированная 3D-модель барабанной сушилки в среде управления и контроля

Figure 4. Integrated 3D model of the drum dryer into the control and control environment

Заключение

Предложен подход к виртуальному моделированию барабанных сушилок для сушки зерна злаковых, масличных и бобовых культур, в котором использованы виртуальные компьютерные модели, устанавливающие связь между математической моделью процесса сушки и моделируемой конструкцией сушилки, укомплектованной абсорбционным водоаммиачным тепловым насосом. 3D-исполнение барабанной сушилки в САПР позволила исследовать множество вариантов, моделируя реальные условия ее эксплуатации, выполнить сравнение

альтернативных вариантов и выбрать наилучший для создания более совершенной конструкции, уменьшая при этом многократно затраты времени, финансовые и материальные средства благодаря замещению многих реальных проектных работ виртуальными проектными решениями. Возможность объединения трехмерной модели зерносушилки, математической модели, среды управления и контроля позволили провести высокоточные виртуальные испытания с их адаптацией под новую перспективную двухсекционную барабанную сушилку с оптимальными технико-экономическими показателями.

Литература

- 1 Оленников А.А., Цымбал В.П., Сеченов П.А., Чапаев Д.Б. Имитационная модель для исследования процесса сушки в аппаратах кипящего слоя // *Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве: сб. докладов V Всероссийской науч. – практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных с международным участием*. Екатеринбург, 2016. С. 231–235.
- 2 Ткач В.В., Шевцов А.А. Виртуальный испытательный стенд для компьютерного проектирования барабанных сушилок по кинетическим закономерностям процесса сушки // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2023. Т. 50. № 1. С. 152–160.
- 3 Остриков А., Василенко В., Пойманов В. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств. Litres, 2023.
- 4 Юнин В.А., Захаров А.М., Кузнецов Н.Н., Зыков А.В. Процесс сушки измельченного растительного материала в барабанной сушилке. *Известия НВ АУК*. 2020. Т. 1. № 57. С. 335–349. doi: 10.32786/2071–9485–2020–01–335
- 5 Молчанов А.В., Дьяченко С.В., Шибитова Н.В. Исследование процесса сушки сыпучих материалов в барабанной сушилке // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. № 10–11. С. 175–176. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=7415>
- 6 Остриков А.Н., Шевцов А.А., Ткач В.В., Сердюкова Н.А. Оптимизация процесса сушки зерновых культур в барабанной сушилке с тепловым насосом // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2018. № 1. С. 74–78.
- 7 Пат. № 2649379, RU, F26B 11/14. Барабанная сушилка / Ткач В.В., Шевцов С.А., Сердюкова Н.А. № 2017122769; Заявл. 27.06.2017; Опубл. 02.04.2018, Бюл. № 10.
- 8 Ларин А.А., Репин А.Р., Гуреев О.С. Тепловые насосы // *Межвузовский сборник статей лауреатов конкурсов*. 2022. С. 117–119.
- 9 Гамаюнов И.Е. Энергосберегающие технологии в процессе сушки зерна // *Студенческая наука-взгляд в будущее*. 2021. С. 91–93.
- 10 Шевцов А.А., Бунин Е.С., Ткач В.В., Сердюкова Н.А. и др. Эффективное внедрение парокомпрессионного теплового насоса в линию комплексной переработки семян масличных культур // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2018. № 1. С. 60–64.
- 11 Елистратов С.Л. Оценка границ технико – экономической эффективности применения тепловых насосов // *Вестник ЮУрГУ. Серия Энергетика*. 2009. Т. 11. № 15. С. 72–78.
- 12 Использование тепловых насосов в мире – статистика, тенденции, перспективы. URL: [vteple.xyz/ispolzovanie – teplovynnasosov – v – mire](http://vteple.xyz/ispolzovanie-teplovynnasosov-v-mire)
- 13 Пат. № 2765597, RU, 20/00, F26B 21/04, F26B 3/06, F26B 17/12. Способ сушки зерна злаковых культур и установка для его осуществления получения / Шевцов А.А., Тертычная Т.Н., Дранников А.В., Засыпкин Н.В., Куликов С.С. № 2020143934; Заявл. 30.12.2020; Опубл. 01.02. 2022, Бюл. № 4.
- 14 Wang G., Wu W., Qiao F., Fu D. et al. Research on an electric energy-saving grain drying system with internal circulation of the drying medium // *Journal of Food Process Engineering*. 2020. V. 43. №. 9. P. e13476.
- 15 Jimoh K.A. et al. Recent advances in the drying process of grains // *Food Engineering Reviews*. 2023. V. 15. №. 3. P. 548–576.
- 16 Chojnacka K., Mikula K., Izydorczyk G., Skrzypczak D. et al. Improvements in drying technologies-Efficient solutions for cleaner production with higher energy efficiency and reduced emission // *Journal of Cleaner Production*. 2021. V. 320. P. 128706.
- 17 Шевцов А.А., Павлов И.О., Воронова Е.В., Бритиков Д.А. Декомпозиционное аналитическое исследование многопараметрической системы сушки и хранения зерна с применением теплового насоса // *Системы управления и информационные технологии*. 2011. № 4. С. 90–94.
- 18 Чернышов А.Д. Улучшение дифференцируемости решений краевых задач механики в форме обобщенных рядов Фурье с помощью граничных функций // *Изв. РАН. Механика твердого тела*. 2010. № 1. С. 151–162.
- 19 Шевцов А.А., Лыткина Л.И., Ткач В.В., Чернухин Ю.В. и др. Моделирование тепловой обработки семян масличных культур высокотемпературным теплоносителем // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2018. № 4. С. 163–171.
- 20 Ткач В.В., Шевцов А.А., Сердюкова Н.А. Компьютерное моделирование теплофизических характеристик семян рапса методом нестационарного теплового режима // *Наука, образование и инновации в современном виде: материалы Национальной науч.-практ. конф.* Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2018. С. 199–204.

References

- 1 Olennikov A.A., Tsymbal V.P., Sechenov P.A., Chapaev D.B. Simulation model for studying the drying process in fluidized bed devices. *Heat engineering and informatics in education, science and production: collection of reports of the V All-Russian scientific. - practical. conf. students, graduate students and young scientists with international participation*. Ekaterinburg, 2016. pp. 231–235. (in Russian).

- 2 Tkach V.V., Shevtsov A.A. Virtual test bench for computer design of drum dryers based on kinetic laws of the drying process. Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical sciences. 2023. vol. 50. no. 1. pp. 152-160. (in Russian).
- 3 Ostrikov A., Vasilenko V., Poimanov V. Calculation and design of machines and equipment for food production. Litres, 2023. (in Russian).
- 4 Yunin V.A., Zakharov A.M., Kuznetsov N.N., Zykov A.V. Drying process of crushed plant material in a drum dryer. Izvestia NV AUK. 2020. Vol. 1. No. 57. Pp. 335–349. doi: 10.32786/2071–9485–2020–01–335 (in Russian).
- 5 Molchanov A.V., Dyachenko S.V., Shibitova N.V. Study of the drying process of bulk materials in a drum dryer. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2015. no. 10–11. pp. 175–176. Available at: <https://applied-research.ru/article/view?id=7415> (in Russian).
- 6 Ostrikov A.N., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. Optimization of the grain crop drying process in a drum dryer with a heat pump. News of universities. Food technology. 2018. no. 1. pp. 74–78. (in Russian).
- 7 Tkach V.V., Shevtsov S.A., Serdyukova N.A. Drum dryer. Patent RF, no. 2649379, 2018. (in Russian).
- 8 Larin A.A., Repin A.R., Gureev O.S. Heat pumps. Interuniversity collection of articles by competition laureates. 2022. pp. 117-119. (in Russian).
- 9 Gamayunov I.E. Energy-saving technologies in the process of grain drying. Student science - a look into the future. 2021. pp. 91-93. (in Russian).
- 10 Shevtsov A.A., Bunin E.S., Tkach V.V., Serdyukova N.A. et al. Efficient implementation of a vapor-compression heat pump in a complex processing line for oilseeds. Storage and processing of agricultural raw materials. 2018. no. 1. pp. 60–64. (in Russian).
- 11 Elistratov S.L. Evaluation of the boundaries of technical and economic efficiency of heat pumps. Bulletin of SUSU. Power Engineering Series. 2009. vol. 11. no. 15. pp. 72–78. (in Russian).
- 12 Use of heat pumps in the world – statistics, trends, prospects. Available at: vteple.xyz/ispolzovanie-teplovihnasosov-v-mire (in Russian).
- 13 Shevtsov A.A., Tertychnaya T.N., Drannikov A.V., Zasyupkin N.V., Kulikov S.S. Method for drying grain of cereal crops and installation for its implementation. Patent RF, no. 2765597, 2022.
- 14 Wang G., Wu W., Qiao F., Fu D. et al. Research on an electric energy-saving grain drying system with internal circulation of the drying medium. Journal of Food Process Engineering. 2020. vol. 43. no. 9. pp. e13476.
- 15 Jimoh K.A. et al. Recent advances in the drying process of grains. Food Engineering Reviews. 2023. vol. 15. no. 3. pp. 548-576.
- 16 Chojnacka K., Mikula K., Izydorczyk G., Skrzypczak D. et al. Improvements in drying technologies-Efficient solutions for cleaner production with higher energy efficiency and reduced emission. Journal of Cleaner Production. 2021. vol. 320. pp. 128706.
- 17 Shevtsov A.A., Pavlov I.O., Voronova E.V., Britikov D.A. Decomposition analytical study of a multiparameter grain drying and storage system using a heat pump. Control Systems and Information Technologies. 2011. no. 4. pp. 90–94. (in Russian).
- 18 Chernyshov A.D. Improving the differentiability of solutions to boundary value problems of mechanics in the form of generalized Fourier series using boundary functions. Izvestiya RAS. Mechanics of Solids. 2010. no. 1. pp. 151–162. (in Russian).
- 19 Shevtsov A.A., Lytkina L.I., Tkach V.V., Chernukhin Yu.V. et al. Modeling of heat treatment of oilseeds with a high-temperature coolant. Storage and processing of agricultural raw materials. 2018. no. 4. pp. 163–171. (in Russian).
- 20 Tkach V.V., Shevtsov A.A., Serdyukova N.A. Computer modeling of thermophysical characteristics of rapeseed by the method of non-stationary thermal regime. Science, education and innovation in its modern form: materials of the National scientific and practical. conf. Voronezh, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2018. pp. 199–204. (in Russian).

Сведения об авторах

Александр А. Шевцов д.т.н., профессор, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, shevalol@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5745-8301>

Владимир В. Ткач к.т.н., доцент, кафедра 208 общепрофессиональных дисциплин, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, tkachbalian@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0006-9220-7296>

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

Aleksandr A. Shevtsov Dr. Sci. (Engin.), professor, fats technology, processes and apparatuses of chemical and food productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, shevalol@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5745-8301>

Vladimir V. Tkach Cand. Sci. (Engin.), associate professor, 208 General professional disciplines department, The Air Force Academy named after the professor N.E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin, Old Bolsheviki, 54a, Voronezh, 394064, tkachbalian@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0006-9220-7296>

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 21/06/2024	После редакции 10/07/2024	Принята в печать 29/07/2024
Received 21/06/2024	Accepted in revised 10/07/2024	Accepted 29/07/2024

Моделирование облика пищевых технологий в Шестом технологическом укладе

Сергей В. Шахов ¹	s_shahov@mail.ru	 0000-0002-5865-2357
Сергей Т. Антипов ¹	ast@vsuet.ru	 0000-0003-4299-1538
Виктор А. Панфилов ¹	vap@rgau-msha.ru	

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

2 Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, Тимирязевская улица 49, г. Москва, 127434, Россия

Аннотация. Статья посвящена некоторым аспектам создания технологий будущего АПК России. В центре внимания находится диалектический подход к разработке сложных технологий АПК как синергетического комплекса процессов преобразования сельхоз сырья в продукты питания. Круг обсуждаемых вопросов включает: возможный облик технологий АПК в Шестом технологическом укладе с позиций прикладной философии; диалектическую неизбежность усложнения технологии АПК; развитие систем автоматического проектирования и систем автоматизации научных исследований; производительный труд учёного и инженера АПК в Пятом, Шестом и Седьмом технологических укладах; условие технологического прорыва в будущее АПК России; диалектику революционных и эволюционных подходов в развитии пищевых технологий. В период скачка в развитии пищевой технологии происходит как радикальное изменение ее структуры, так и всплеск функциональных возможностей, в результате чего ослабевают внутренние противоречия. Поэтому с достижением нового, более высокого уровня организации технологии становится меньше противоречий с резко выраженными тормозящими факторами. Однако противоречия не исчезают вовсе, вместо одних появляются другие, но, как правило, менее острые, т. е. характерные для более высокого уровня организации. Дальнейшее развитие технологии идет в виде эволюционных изменений: совершенствование процессов и модернизация оборудования. Для создания инновационных технологий необходимо: проанализировать современные технологии АПК России и их техническое сопровождение с точки зрения возможности и целесообразности создания в перспективе системных технологических комплексов индустриального производства и переработки продукции сельского хозяйства в продукты питания; разработать перспективные про-граммы поисковых, фундаментальных, прикладных и опытно-конструкторских работ с государственным бюджетным финансированием по сквозным технологиям системного комплекса на период до второй половины XXI века и далее; организовать подготовку научных и инженерных кадров путем объединения вузов сельскохозяйственного и пищевого профилей.

Ключевые слова: диалектический подход, разработка технологий, АПК, синергетический комплекс, производство продовольствия, технологический прорыв.

Modeling the appearance of food technologies in the Sixth technological order

Sergey V. Shakhov ¹	s_shahov@mail.ru	 0000-0002-5865-2357
Sergey T. Antipov ¹	ast@vsuet.ru	 0000-0003-4299-1538
Victor A. Panfilov ¹	vap@rgau-msha.ru	

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

2 Timiryazev Moscow Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya Street, Moscow, 127434, Russia

Abstract. The article is devoted to some aspects of creating technologies for the future of the Russian agro-industrial complex. The focus is on the dialectical approach to developing complex agro-industrial complex technologies as a synergetic complex of processes for transforming agricultural raw materials into food products. The range of issues discussed includes: the possible appearance of agro-industrial complex technologies in the Sixth Technological Wave from the standpoint of applied philosophy; the dialectical inevitability of increasing complexity of agro-industrial complex technologies; development of automatic design systems and research automation systems; productive labor of a scientist and engineer of the agro-industrial complex in the Fifth, Sixth and Seventh Technological Waves; the condition for a technological breakthrough into the future of the Russian agro-industrial complex; the dialectic of revolutionary and evolutionary approaches to the development of food technologies. During a leap in the development of food technology, both a radical change in its structure and a surge in functional capabilities occur, as a result of which internal contradictions are weakened. Therefore, with the achievement of a new, higher level of technology organization, there are fewer contradictions with clearly expressed inhibiting factors. However, the contradictions do not disappear completely; instead of some, others appear, but, as a rule, less acute, i.e., characteristic of a higher level of organization. Further development of technology occurs in the form of evolutionary changes: improvement of processes and modernization of equipment. To create innovative technologies, it is necessary to: analyze modern technologies of the Russian agro-industrial complex and their technical support from the point of view of the possibility and expediency of creating in the future systemic technological complexes of industrial production and processing of agricultural products into food products; develop promising programs of search, fundamental, applied and experimental design work with state budget financing on end-to-end technologies of the systemic complex for the period up to the second half of the 21st century and beyond; organize the training of scientific and engineering personnel by combining universities of agricultural and food profiles.

Keywords: dialectical approach, technology development, agro-industrial complex, synergetic complex, food production, technological breakthrough.

Для цитирования

Шахов С.В., Антипов С.Т., Панфилов В.А. Моделирование облика пищевых технологий в Шестом технологическом укладе // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 24–29. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-24-29

For citation

Shakhov S.V., Antipov S.T., Panfilov V.A. Modeling the appearance of food technologies in the Sixth technological order. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 24–29. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-24-29

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

Введение

Будущее производства продовольствия естественно связывать с новым обликом АПК, который должен быть представлен новыми технологиями. Для дальнесрочных прогнозов целесообразно обратиться к философским основам сельскохозяйственной науки.

В философии различают теоретическую и прикладную части. Прикладная философия не только выполняет функцию методологии, но и выявляет общие философские проблемы различных сфер жизни [1].

Диалектика пищевых технологий до настоящего времени не была предметом исследования. Как правило, решались задачи совершенствования технологий, оборудования, средств автоматизации. В сязки раз частично разрешалось какое-либо внутреннее противоречие технологии, например, «производительность – качество». При исследовании диалектики технологий продуктов питания приходится анализировать процессы самоорганизации неравновесных открытых систем, находящихся во взаимодействии с внешней средой. Без этого, рассматривая производства как закрытые системы, возможно остаться на уровне устаревших, представлений о развитии, понимая его лишь как следствие разрешения внутренних противоречий данной технологической системы.

Цель работы – сформировать введу диалектического усложнения технологий АПК облик технологий пищевых производств в Шестом технологическом укладе.

Материалы и методы

Диалектику системного развития технологий АПК целесообразно рассматривать с точки зрения принципов самоорганизующихся (с участием человека) адаптивных систем. Это обусловлено тем, что технологии производства, хранения и переработки сельхозпродукции в продукты питания могут быть интерпретированы как универсальный адаптивный и оптимизационный механизм человеческой деятельности.

Результаты и обсуждение

Исходя из этого, научно-техническое прогнозирование дальних горизонтов технологий агропромышленного комплекса России должно быть в планах работы всех научно-исследовательских организаций и ведущих вузов сельскохозяйственного и пищевого профилей, так как мы стоим на пороге совершенно новых технологий продуктов питания, определяющих Шестой технологический уклад [2].

Таким образом диалектика развития технологических систем связывает философские и конкретные научно-технические знания в единое целое. И эта связь становится особенно необходима

в кризисных ситуациях, какие сейчас переживает пищевая промышленность и продовольственное машиностроение нашей страны. Поэтому единственно верным путём возрождения пищевой инженерии на пороге новой индустриализации России может быть лишь путь, освещаемый законами природы.

Системное исследование с использованием теории отражения и некоторых положений кибернетики дало возможность сформировать генезис механизма управления и показать его самоорганизующую роль в процессах развития пищевых технологий. Вместе с этим организация перехода к сквозным высокоточным по диапазонам параметров процессов технологий очевидна и естественна. Важно понимание диалектической неизбежности перехода к аграрно-пищевым (в перспективе безлюдным) технологиям. И дело лишь за тем, чтобы сознательно, как можно раньше начать этот переход, подвергнув пересмотру, ревизии, переосмыслению всего цикла получения продуктов питания, начиная с выращивания растений и животных.

Инновационные, действительно прорывные разработки, ведущие к созданию принципиально нового технологического оборудования и новых поколений технологических систем, возможны лишь при установлении закономерностей организации, строения, функционирования и развития открытых систем, какими являются современные технологии АПК. При этом механизм управления технологическим объектом выступает как стержень адаптационного развития, который реализует антиэнтропийную сущность управления объектом, формализуя инновационный процесс создания прогрессивной техники пищевых технологий. Такая техника, в частности, представляет собой роторные машины и роторно-конвейерные линии, работающие по роторным технологиям [3].

Важнейшим фактором, развивающим технологию и технику АПК, сегодня являются компьютеризация и автоматизация производственных процессов. Компьютеризация и высокие темпы развития Пятого технологического уклада в различных странах поставили на повестку дня принципиально новый вопрос: не просто автоматизация сельскохозяйственных и перерабатывающих производств, а автоматизация переноса научного знания в производство и автоматизация самого процесса получения новых знаний. Именно в Пятом технологическом укладе наблюдается бурное развитие систем автоматического проектирования (САПР) и систем автоматизации научных исследований (АСНИ) на основе компьютеризации. Таким образом формируется система, переносящая научные знания в производство с минимальным участием человека.

На формирование такой системы, с передающим звеном «наука – производство» тратится значительная часть научного и технического потенциала развитых стран, так как именно здесь формируется будущее технологий производства продовольствия.

Диалектичность развития современной пищевой инженерии состоит не в том, чтобы поддерживать технологию на достигнутом высоком уровне, а при необходимости постоянно и оперативно её изменять. Наиболее существенные изменения происходят не на пути совершенствования или модернизации, а за счет принципиального преобразования (реконструкции) технологий [4].

Сегодня процессы автоматизации становятся новым этапом постоянного процесса отделения человека от предмета труда. Если в первых технологических укладах машинам были переданы из рук человека непосредственные орудия воздействия на предмет труда, оставив за человеком лишь управление самой машиной, то возможности технологических укладов сегодняшнего дня освобождают человека от постоянного управления машинами. Более того, человек в значительной степени освобождается и от конструирования этих машин. Современные и будущие технологические уклады (Пятый, предстоящий Шестой и, особенно, Седьмой, захватывающий XXII век) гуманизируют производительный труд в АПК, перенося основное содержание трудовой деятельности человека в область научных изысканий в системах высокой сложности. И это закономерно. Наша земная цивилизация в процессе своей эволюции вошла в эпоху сложности как сущностного феномена процесса глобализации. Вошла необратимо, изначально неопределённо и непрогнозируемо [5].

Поэтому в инженерии АПК надо постоянно, опираясь на объективные результаты фундаментальных исследований во всех областях сельскохозяйственной науки, прогнозировать развитие технологий и техники в АПК с упреждением в 50–60 лет, заглядывая в следующий технологический уклад. При этом стержнем развития инженерии становится превращение информации в производительный труд без прямого участия человека. Это определяет основную особенность зарождающегося Шестого технологического уклада в АПК (2025–2080 гг.).

Агропромышленному комплексу России необходим инновационный технологический прорыв в будущее. Сегодня пришло время именно для такого прорыва. Этот прорыв должен быть связан с наукоёмкими технологиями, то есть инновационными способами достижения человеком технологических целей. Эти способы опираются на процессы познания, коммуникации, обработки информации, опережающее

образование специалистов, системный подход, синергетику, компьютерные технологии, математическое моделирование элементов системы «человек-машина» и ряд других [6].

Вот некоторые черты технологического прорыва в будущее АПК:

- междисциплинарность, то есть необходимо взаимодействие идей, подходов, готовых разработок из различных достаточно далёких областей знаний;

- фундаментальность образования, что позволит специалисту находить и принимать ответственные решения в условиях неопределённости при создании сложных самоорганизующихся систем процессов, когда единственной надёжной опорой могут быть научные знания в виде вскрытых явлений и установленных закономерностей технологических процессов;

- ориентация на возможности и потребности человека в реализации новых технологических укладов.

Современные технологии и техника переработки сельскохозяйственного сырья, как известно, базируются на достижениях физической химии, биофизики, биохимии, микробиологии, биотехнологии, механики, теплотехники, электроники и других разделах науки. В настоящее время главная цель фундаментальных и приоритетных прикладных научных исследований и инженерных разработок – резко повысить эффективность комплексной переработки сельскохозяйственного сырья, то есть увеличить выпуск высококачественных пищевых продуктов с минимальным количеством отходов.

Моделирование технологий будущего в производстве продуктов питания есть необходимость. Это фундаментальная научная работа, которая основана на инновационной деятельности специалистов.

В диалектике пищевых технологий имеет место чередование революционных и эволюционных периодов. Известно восприятие процесса развития как процесса, состоящего из скачков и постепенных изменений объекта, т. е. переход революционных изменений в эволюционные. Взрывной характер истории создания технологических линий в пищевых и перерабатывающих отраслях в период 30–80-х годов XX века и затухание работ в этом направлении подтверждает эту диалектику развития машинных технологий. Возникает вопрос, чем, какими обстоятельствами может быть обусловлен новый скачок в диалектике пищевых технологий. Речь, по-видимому, может идти о создании принципиально новых технологий, основанных на новых принципах организации технологического потока производства продуктов питания.

Действительно, «ручные технологии», пройдя скачкообразный переходный процесс самоорганизации в механизированные и автоматизированные линии производства продуктов питания, нашли свою оптимальную архитектуру и вот уже десятки лет функционируют с небольшими эволюционными изменениями процессов и конструкций машин и аппаратов. И очень многие разновидности современных машин, аппаратов, устройств могут и будут еще продолжительное время применяться без существенных изменений. Задача состоит в том, чтобы сознательно предвидеть новый скачок, понять его природу, концепцию, качественно другие принципы организации и работать на этот скачок, чтобы приблизить его, а не идти на поводу у объективных обстоятельств. Нет сомнений в том, что новый скачок должен быть связан с резким возрастанием уровня организации пищевых технологий.

Между тем, именно в аграрно-пищевых технологиях возникают благоприятные условия для накопления информации, совершенствования внутрисистемных связей, роста отражательной способности технологии, повышения эффективности взаимодействия с ее внешней средой [4]. Другими словами, возрастает уровень организации новой совокупности процессов как технологии того или иного продукта.

В период скачка в развитии пищевой технологии происходит как радикальное изменение ее структуры, так и всплеск функциональных возможностей, в результате чего ослабляются внутренние противоречия, например «производительность – качество». Поэтому с достижением нового, более высокого уровня организации технологии становится меньше противоречий с резко выраженными тормозящими факторами. Однако противоречия не исчезают вовсе, вместо одних появляются другие, но, как правило, менее острые, т. е. характерные для более высокого уровня организации. Дальнейшее развитие технологии идет в виде эволюционных изменений: совершенствование процессов и модернизация оборудования.

Потребности общества в реализации новых функций технологических систем, как правило, опережают возможности существующего технического обеспечения. Для развития технологии и техники перерабатывающих отраслей агропромышленного комплекса требуется дальнейшее совершенствование методов разработки систем процессов и систем машин. Непременным условием таких разработок должно стать использование инженерных прогнозов [7–10].

Если посмотреть на технологию и технику сельского хозяйства и перерабатывающих предприятий 50-летней давности (это 60-е годы XX века) и сравнить их с современными технологиями и техникой в АПК, то такой же технологический сдвиг мы могли бы наблюдать, посмотрев на сегодняшние технологии АПК из 70–80-х годов XXI в. Поэтому ретровзгляд из настоящего в прошлое и из будущего в настоящее весьма целесообразен. Он стимулирует ученых и инженеров к прогнозированию и созданию неординарных инновационных технологий и техники АПК [11–20].

Заключение

Таким образом для создания инновационных технологий необходимо:

- проанализировать современные технологии АПК России и их техническое сопровождение с точки зрения возможности и целесообразности создания в перспективе системных технологических комплексов индустриального производства и переработки продукции сельского хозяйства в продукты питания;
- разработать перспективные программы поисковых, фундаментальных, прикладных и опытно-конструкторских работ с государственным бюджетным финансированием по сквозным технологиям системного комплекса на период до второй половины XXI века и далее;
- организовать подготовку научных и инженерных кадров путем объединения вузов сельскохозяйственного и пищевого профилей.

Литература

- 1 Савкин Н.С. Возможности прикладной философии // Философия и общество. 2015. № 3–4. С. 155–165.
- 2 Черноиванов В.И. Ежевский А.А., Федоренко В.Ф. Мировые тенденции машинно – технологического обеспечения интеллектуального сельского хозяйства. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. 284 с.
- 3 Gorlov I.F. et al. Digital technologies in the development of the agro-industrial complex // Digital Economy: Complexity and Variety vs. Rationality 9. Springer International Publishing, 2020. P. 220-229.
- 4 Панфилов В.А. Диалектика технологий агропромышленного комплекса России // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2023. № 1. С. 4–9.
- 5 Атаманчук Г.В. Управление: философия, идеология, научное обеспечение. М.: Academia, 2015. 416 с.
- 6 Иванов В.В., Малинецкий Г.Г. Россия XXI век. Стратегия прорыва. Технология. Образование. Наука; изд.2-е. М.: ЛЕНАНД, 2017. 304 с.
- 7 Antsiferova O.Y., Sutormina E.S., Kolupaev S.V., Petrova L.M. et al. Innovative Development Of The Agro-Industrial Complex: Trends And Opportunities Of Improvement // European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. 2022.

- 8 Anokhina M.Y., Zinchuk G.M., Petrovskaya S.A. The development of the concept of economic growth of the agro-industrial complex // *Journal of internet Banking and Commerce*. 2016. V. 21. №. 3. P. 1.
- 9 Sergi B.S., Popkova E.G., Bogoviz A.V., Ragulina Y.V. The agro-industrial complex: tendencies, scenarios, and regulation // *Modeling economic growth in contemporary Russia*. Emerald Publishing Limited, 2019. P. 233-247. doi: 10.1108/978-1-78973-265-820191009
- 10 Pilova F.I., Kushkhakanova I.M. Directions of innovative development of the agro-industrial complex of Russia // *Izvestiya of Kabardi-no-Balkarian State Agrarian University named after VM Kokov*. 2021. V. 4. №. 34. P. 143-148.
- 11 Panfilov V.A., Andreev S.P. Engineering of complex technological systems in the agroindustrial complex // *Foods and Raw materials*. 2018. V. 6. №. 1. P. 23.
- 12 Nezamova O.A., Stupina A.A., Shagaeva O.A. The main directions of agro-industrial complex development in the near future // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2022. V. 1076. №. 1. P. 012053. doi: 10.1088/1755-1315/1076/1/012053
- 13 Alabugina R.A., Shishkov A.N., Al-Sadi A.M.G. Planning agro-industrial complex strategies using digital technologies // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2021. V. 868. №. 1. P. 012029. doi: 10.1088/1755-1315/868/1/012029
- 14 Shulgina L., Chernyshova I., Shulgin A. An innovative system of the agro-industrial complex: sectoral and territorial aspects // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2019. V. 274. №. 1. P. 012097. doi: 10.1088/1755-1315/274/1/012097
- 15 Atamas A. P., Atamas P. I. Agroecological Production Infrastructure of Agro-Industrial Complex: Problems and Solutions // *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2019. V. 10. №. 02.
- 16 Antsiferova O.Y. et al. Digital Technologies for Innovative and Sustainable Development of the Agro-Industrial Complex as a Complex Socio-Economic System // *The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems: Volume 1*. Cham: Springer International Publishing, 2021. P. 355-363.
- 17 Babaeva Z.S. An investigation into current issues in the financing of the innovative development of the agro-industrial complex // *Academy of Strategic Management Journal*. 2018. V. 17. №. 4. P. 1-6.
- 18 Черноиванов В. И. Цифровые технологии в АПК // *Техника и оборудование для села*. 2018. №. 5. С. 2-4.
- 19 Эйдис А.Л., Чутчева Ю.В., Парлюк Е.П. Техническое и технологическое обеспечение АПК // *Техника и оборудование для села*. 2010. №. 9. С. 13-15.
- 20 Буклагин Д.С. Информационное обеспечение разработки справочников наилучших доступных технологий в АПК России // *АгроЭкоИнженерия*. 2016. №. 88. С. 5-18.

References

- 1 Savkin N.S. Possibilities of Applied Philosophy. *Philosophy and Society*. 2015. no. 3–4. pp. 155–165. (in Russian).
- 2 Chernoiivanov V.I. Ezhevsky A.A., Fedorenko V.F. *World Trends in Machine-Technological Support for Intelligent Agriculture*. Moscow, Rosinformagrotech, 2012. 284 p. (in Russian).
- 3 Gorlov I.F. et al. *Digital Technologies in the Development of the Agro-Industrial Complex. Digital Economy: Complexity and Variety vs. Rationality 9*. Springer International Publishing, 2020. pp. 220–229. (in Russian).
- 4 Panfilov V.A. Dialectics of Technologies in the Russian Agro-Industrial Complex. *Bulletin of the Russian Agricultural Science*. 2023. no. 1. pp. 4–9. (in Russian).
- 5 Atamanchuk G.V. *Management: philosophy, ideology, scientific support*. Moscow, Academia, 2015. 416 p. (in Russian).
- 6 Ivanov V.V., Malinetsky G.G. *Russia XXI century. Breakthrough strategy*. Technology. Education. Science; 2nd ed. Moscow, LENAND, 2017. 304 p. (in Russian).
- 7 Antsiferova O.Y., Sutormina E.S., Kolupaev S.V., Petrova L.M. et al. *Innovative Development Of The Agro-Industrial Complex: Trends And Opportunities Of Improvement*. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences*. 2022.
- 8 Anokhina M.Y., Zinchuk G.M., Petrovskaya S.A. The development of the concept of economic growth of the agro-industrial complex. *Journal of internet Banking and Commerce*. 2016. vol. 21. no. 3. pp. 1.
- 9 Sergi B.S., Popkova E.G., Bogoviz A.V., Ragulina Y.V. The agro-industrial complex: tendencies, scenarios, and regulation. *Modeling economic growth in contemporary Russia*. Emerald Publishing Limited, 2019. pp. 233-247. doi: 10.1108/978-1-78973-265-820191009
- 10 Pilova F.I., Kushkhakanova I.M. Directions of innovative development of the agro-industrial complex of Russia. *Izvestiya of Kabardi-no-Balkarian State Agrarian University named after VM Kokov*. 2021. vol. 4. no. 34. pp. 143-148.
- 11 Panfilov V.A., Andreev S.P. Engineering of complex technological systems in the agroindustrial complex. *Foods and Raw materials*. 2018. vol. 6. no. 1. pp. 23.
- 12 Nezamova O.A., Stupina A.A., Shagaeva O.A. The main directions of agro-industrial complex development in the near future. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2022. vol. 1076. no. 1. pp. 012053. doi: 10.1088/1755-1315/1076/1/012053
- 13 Alabugina R.A., Shishkov A.N., Al-Sadi A.M.G. Planning agro-industrial complex strategies using digital technologies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2021. vol. 868. no. 1. pp. 012029. doi: 10.1088/1755-1315/868/1/012029
- 14 Shulgina L., Chernyshova I., Shulgin A. An innovative system of the agro-industrial complex: sectoral and territorial aspects. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2019. vol. 274. no. 1. pp. 012097. doi: 10.1088/1755-1315/274/1/012097
- 15 Atamas A. P., Atamas P. I. *Agroecological Production Infrastructure of Agro-Industrial Complex: Problems and Solutions*. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2019. vol. 10. no. 02.

16 Antsiferova O.Y. et al. Digital Technologies for Innovative and Sustainable Development of the Agro-Industrial Complex as a Complex Socio-Economic System. The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems: Volume 1. Cham: Springer International Publishing, 2021. pp. 355-363.

17 Babaeva Z.S. An investigation into current issues in the financing of the innovative development of the agro-industrial complex. Academy of Strategic Management Journal. 2018. vol. 17. no. 4. pp. 1-6.

18 Chernoiwanov V. I. Digital technologies in the agro-industrial complex. Machinery and equipment for the village. 2018. no. 5. pp. 2-4. (in Russian).

19 Eidis A. L., Chutcheva Yu. V., Parlyuk E. P. Technical and technological support of the agro-industrial complex. Machinery and equipment for the village. 2010. no. 9. pp. 13-15. (in Russian).

20 Buklagin D. S. Information support for the development of reference books of the best available technologies in the agro-industrial complex of Russia. AgroEcoEngineering. 2016. no. 88. pp. 5-18. (in Russian).

Сведения об авторах

Сергей В. Шахов д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, s_shahov@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-5865-2357>

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>

Виктор А. Панфилов д.т.н., профессор, Академик РАН, кафедра процессов и аппаратов перерабатывающих производств, Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, Тимирязевская улица 49, г. Москва, 127434, Россия, vap@rgau-msha.ru

Information about authors

Sergey V. Shakhov Dr. Sci. (Engin.), professor, food processing machines and apparatuses productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, s_shahov@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-5865-2357>

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

Victor A. Panfilov Dr. Sci. (Engin.), professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, processes and apparatuses of processing industries department, Timiryazev Moscow Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya Street, Moscow, 127434, Russia, vap@rgau-msha.ru

Вклад авторов

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

Contribution

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 15/07/2024	После редакции 01/08/2024	Принята в печать 22/08/2024
Received 15/07/2024	Accepted in revised 01/08/2024	Accepted 22/08/2024

Методика расчёта двухступенчатой системы сепарации установки для производства биотоплива

Виктор Г. Сотников	¹	vcvcvc12345678@gmail.com	 0000-0002-6202-5487
Рушан Г. Сафин	¹	safin@kstu.ru	 0000-0002-6202-5486
Айдар Н. Загиров	¹	aidarzagirov98@mail.ru	 0000-0001-9804-4236
Наиль Ф. Тимербаев	¹	cpekgeu@gmail.com	 0000-0001-9804-4235
Денис А. Гурьянов	¹	vcvcvc12345@gmail.com	 0000-0002-6202-5488
Альмира Р. Хабибуллина	¹	almira-h@rambler.ru	 0000-0002-6202-5489

¹ Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса 68, г. Казань, 420015, Россия

Аннотация. В настоящее время переработка растительных отходов является перспективным направлением развития в современной энергетике. Существует множество методов переработки отходов, но не все из них являются экономически обоснованными и безвредными для экологии. Одним из самых распространенных методов переработки является быстрый абляционный пиролиз, предназначенный для термической переработки отходов без доступа кислорода. В результате такой переработки образуется углеродистый остаток и пиролизный газ. Количество получаемых пиролизных газов составляет 60 % и более от массы перерабатываемого сырья. Чтобы пиролизные газы стали высококачественным топливом их необходимо подвергнуть процессу сепарации, который протекает в устройствах, называемых – конденсатор паров. При сепарации пиролизных газов лучше не использовать обычные нефтегазовые конденсаторы так как конденсируемые пиролизные газы обладают высокой смолистостью из-за чего происходит более быстрый износ устройства. Для установки по производству пиролизного топлива предлагается двухступенчатая система сепарации, предназначенная для разделения пиролизных газов на фракционные составляющие: пиролизного дистиллята, неконденсирующегося горючего газа и воды. В статье представлена конструкция двухступенчатой системы сепарации. Описан принцип работы двухступенчатой системы сепарации, дана схема её устройства. Представлена методика расчета двухступенчатой системы сепарации, позволяющая определить геометрические параметры конденсаторов скрубберного и эжекторного типов.

Ключевые слова: сепарация, пиролизный газ, пиролизная жидкость, биотопливо, термическое разложение, ресурсосбережение.

Method of calculation of a two-stage separation system of a biofuel production installation

Victor G. Sotnikov	¹	vcvcvc12345678@gmail.com	 0000-0002-6202-5487
Rushan G. Safin	¹	safin@kstu.ru	 0000-0002-6202-5486
Aidar N. Zagirov	¹	aidarzagirov98@mail.ru	 0000-0001-9804-4236
Nail F. Timerbaev	¹	cpekgeu@gmail.com	 0000-0001-9804-4235
Denis A. Guryanov	¹	vcvcvc12345@gmail.com	 0000-0002-6202-5488
Almira R. Khabibullina	¹	almira-h@rambler.ru	 0000-0002-6202-5489

¹ Kazan National Research Technological University, Karl Marx 68, Kazan, 420015, Russia

Abstract. Currently, the processing of plant waste is a promising area of development in modern energy. There are many methods for recycling waste, but not all of them are economically feasible and environmentally friendly. One of the most common processing methods is fast ablative pyrolysis, designed for thermal processing of waste without access to oxygen. As a result of such processing, carbon residue and pyrolysis gas are formed. The amount of pyrolysis gases produced is 60 % or more of the mass of processed raw materials. In order for pyrolysis gases to become high-quality fuel, they must be subjected to a separation process that takes place in devices called a vapor condenser. When separating pyrolysis gases, it is better not to use conventional oil and gas condensers since the condensed pyrolysis gases have a high tar content, which causes faster wear of the device. For the installation for the production of pyrolysis fuel, a two-stage separation system is proposed, designed to separate pyrolysis gases into fractional components: pyrolysis distillate, non-condensable combustible gas and water. The article presents the design of a two-stage separation system. The principle of operation of a two-stage separation system is described, and a diagram of its structure is given. A method for calculating a two-stage separation system is presented, which makes it possible to determine the geometric parameters of scrubber and ejector type capacitors.

Keywords: separation, pyrolysis gas, pyrolysis liquid, biofuel, thermal decomposition, resource saving.

Для цитирования

Сотников В.Г., Сафин Р.Г., Загиров А.Н., Тимербаев Н.Ф., Гурьянов Д.А., Хабибуллина А.Р. Методика расчёта двухступенчатой системы сепарации установки для производства биотоплива // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 30–36. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-30-36

For citation

Sotnikov V.G., Safin R.G., Zagirov A.N., Timerbaev N.F., Guryanov D.A., Khabibullina A.R. Method of calculation of a two-stage separation system of a biofuel production installation. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 30–36. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-30-36

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

Введение

На сегодняшний день в России актуален вопрос об утилизации растительных отходов промышленных производств лесозаготовительного и деревообрабатывающего комплекса. Можно было бы вывозить мусор на утилизацию в специализированные комплексы, но промышленные производства лесозаготовительного и деревоперерабатывающего комплекса строят на определенном расстоянии от населённых пунктов и из-за удаленности вывоз отходов может быть им не выгоден [1–4]. Поэтому на таких предприятиях начинает набирать популярность развитие технологий, связанных с использованием возобновляемых ресурсов, к которым относятся растительные отходы [5–8]. Одной из таких технологий является термическая переработка растительных отходов в пиролизное топливо. Суть данной технологии заключается в нагревании растительного сырья до температуры 500–900 °С, в результате чего происходит термическое разложение перерабатываемого сырья на углеродистый остаток и пиролизные газы. Из полученных пиролизных газов можно получить компоненты, применяемые в различных отраслях промышленности, но сначала их необходимо разделить на фракции неконденсирующегося газа и дистиллята [9–11].

Материалы и методы

Для сепарации газов на промышленных предприятиях используют различные устройства, однако для сепарации пиролизных газов стандартные модели сепараторов не подходят так как работают в пределах от -60 до 300 °С, а процесс пиролиза протекает при температуре 500 °С. Известные сепараторы не предназначены для работы с высокотемпературными и смолистыми газами [11].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что необходим сепаратор, который способен выдерживать высокие температуры поступающего газа, быть максимально простым в конструкции и устойчивым к смолистым соединениям.

Авторами разработана схема установки для производства пиролизного топлива предназначенная для переработки органических отходов (рисунок 1).

Конструктивно установка для производства пиролизного топлива состоит из: бункера сырья 1, сушильного аппарата 2, пиролизной камеры 3, камеры охлаждения угля 4, конденсатора первой ступени 5, конденсатора второй ступени 6, камеры сгорания 7, центробежного сепаратора 8, блока очистки 9, блока стабилизации 10, водяного теплообменника 11, в результате деятельности которых получают пиролизное топливо и технический углерод [12–15].

При проектировании установки необходимо учитывать, что рабочий процесс пиролиза протекает под воздействием высокой температуры, в результате которого образуется продукт, обладающий окислительной способностью. На основании этого можно сделать вывод, что узлы установки должны быть выполнены из стали, обладающей высокой сопротивляемостью к температуре и окислению.

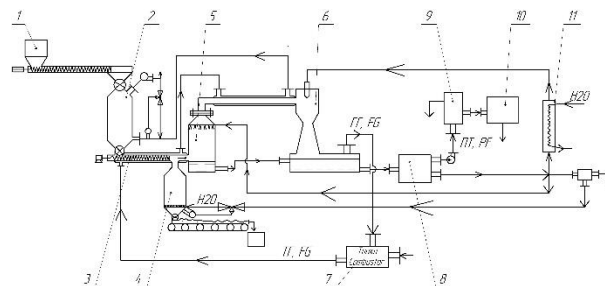


Рисунок 1. Схема установки для производства пиролизного топлива: 1. бункер сырья; 2. сушильный аппарат шахтного типа; 3. пиролизная камера; 4. камера охлаждения угля; 5. конденсатор первой ступени; 6. конденсатор второй ступени; 7. камера сгорания; 8. центробежный сепаратор; 9. блок очистки; 10. блок стабилизации; 11. водяной теплообменник; ТГ-топочный газ; ГГ-горючий газ; ПТ-пиролизное топливо

Figure 1. Installation diagram for the production of pyrolysis fuel: 1. raw material bunker; 2. shaft type drying apparatus; 3. pyrolysis chamber; 4. coal cooling chamber; 5. first stage capacitor; 6. second stage capacitor; 7. combustion chamber; 8. centrifugal separator; 9. cleaning unit; 10. stabilization unit; 11. water heat exchanger; FG-Flue gas; FG-Flammable gas; PF-Pyrolysis fuel

Одним из самых важных узлов установки является двухступенчатая система сепарации, предназначенная для получения пиролизной жидкости в результате дальнейшей обработки, которой получают пиролизное топливо. В связи с этим в данной работе разработана двухступенчатая система сепарации, представленная на рисунке 2, и методика расчета этой системы.

Принцип действия двухступенчатой системы сепарации заключается в следующем: пиролизный газ, через канал отвода газообразных продуктов пиролиза 1, поступает в конденсатор первой ступени 2, выполненный в виде скруббера, где под воздействием хладагента, поступающего из коллектора 3 происходит частичное охлаждение пиролизного газа и его превращение в первичный конденсат. Первичный конденсат отводится через канал отвода 4 в конденсатор второй ступени 5. Неконденсирующиеся горючие газы образовавшиеся в конденсаторе первой ступени отводятся через всасывающую линию 6, в конденсатор второй ступени 5 благодаря

эжекции охлажденной водой [15]. В результате смешения пиролизного газа с охлажденной водой образуется парожидкостная смесь, которая подается на наклонные ступенчатые желоба-дефлекторы 7, служащие для сепарирования парожидкостной смеси на дистиллят и несконденсировавшиеся газы. Отсепарированный дистиллят скапливается в нижней части конденсатора второй ступени попутно охлаждаясь хладагентом циркулирующим по змеевику 8, после чего проходит через перфорированную решётку 15, необходимую для образования ламинарного движения жидкости, в результате чего дистиллят разделяется на легкую и тяжелую фракции, слив которых осуществляется через патрубки 16 и 17. Несконденсировавшиеся газы проходят через систему очистки состоящую из каплеотбойников 9 и туманоуловителей 10 после чего покидают конденсатор второй ступени через патрубок выхода газов 11.

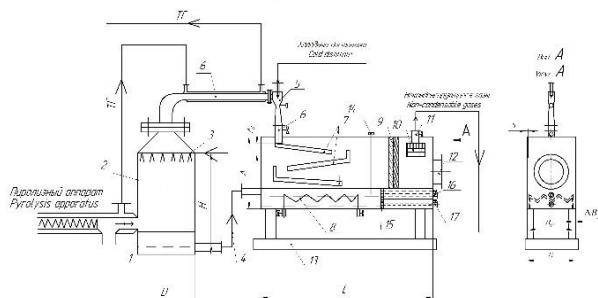


Рисунок 2. Схема двухступенчатой системы сепарации: 1 – канал отвода газообразных продуктов пиролиза из пиролизной камеры; 2 – конденсатор первой ступени; 3 – коллектор подачи хладагента; 4 – канал отвода первичного конденсата; 5 – конденсатор второй ступени; 6 – всасывающая линия конденсатора второй ступени; 7 – ступенчатые желоба-дефлекторы; 8 – змеевик; 9 – каплеотбойник; 10 – туманоуловитель; 11 – патрубок выхода газа; 12 – лаз; 13 – стойки; 14 – уровнемер; 15 – перфорированная решетка; 16 – патрубок отвода легкой фракции; 17 – патрубок отвода тяжелой фракции

Figure 2. Diagram of a two-stage separation system: 1 – channel for removing gaseous pyrolysis products from the pyrolysis chamber; 2 – first stage capacitor; 3 – refrigerant supply manifold; 4 – primary condensate drainage channel; 5 – second stage capacitor; 6 – suction line of the second stage condenser; 7 – stepped trough-deflectors; 8 – coil; 9 – drop eliminator; 10 – mist eliminator; 11 – gas outlet pipe; 12 – manhole; 13 – racks; 14 level gauge; 15 – perforated grille; 16 – light fraction outlet pipe; 17 – heavy fraction outlet pipe

Конденсатор первой ступени выполнен в виде скруббера, который выполняют функцию первичной очистки и конденсации пиролизных газов. Конденсатор второй ступени представляет собой эжектор, функцией которого является

всасывание несконденсированных пиролизных конденсатора первой ступени и их последующее охлаждение хладагентом с целью получения вторичного пиролизного конденсата [16–17].

Расчет геометрических параметров конденсаторов первой и второй ступени производится с учетом материального баланса, для определения которого используются такие данные как: массовый расход пиролизных газов на ступени G и процентное содержание газовой g и жидкой j фазы. Индексы 1 – конденсатор первой ступени, 2 – конденсатор второй ступени.

Зная процентное соотношение газовой g и жидкой j фазы, можно определить количество расходов жидкости G_j , [кг/ч] и газа G_g , [кг/ч] по формулам:

$$G_{j1} = j_1 G_1 \quad (1)$$

$$G_{j2} = j_2 G_2 \quad (2)$$

$$G_{g1} = g_1 G_1 \quad (3)$$

$$G_{g2} = g_2 G_2 \quad (4)$$

Определив по формулам 1 и 2 количество расходов жидкости и газа, а также зная значение плотности жидкости ρ_j , [кг/м³] и газа ρ_g , [кг/м³] можно определить объёмные производительности V_g [м³/ч] и V_j [м³/ч]:

$$V_{g1} = \frac{G_{g1}}{\rho_{g1}} \quad (5)$$

$$V_{g2} = \frac{G_{g2}}{\rho_{g2}} \quad (6)$$

$$V_{j1} = \frac{G_{j1}}{\rho_{j1}} \quad (7)$$

$$V_{j2} = \frac{G_{j2}}{\rho_{j2}} \quad (8)$$

Опираясь на данные материального баланса, задаются основные размеры конденсатора второй ступени (высота A_2 [м], ширина B_2 [м]), по формулам:

$$A_2 = 1,5 \sum A_{d2} \quad (9)$$

где, A_{d2} , [м] – высота вмонтированного дефлектора с учетом угла наклона, суммарное количество которых определяется степенью необходимой очистки и видом переработанного сырья.

$$B_2 = B_{d2} + 2\Delta B_2 \quad (10)$$

где, B_{d2} – ширина змеевика [м], зависит от объёмной производительности по жидкости, ΔB_2 – зазор [м].

Диаметр бака конденсатора первой ступени D [м] и его высота H [м], а также длина емкости бака конденсатора второй ступени L , [м] находятся по формулам [20]:

$$D = \sqrt{\frac{4000 V_{g1}}{\omega_{nz} \pi}} \quad (11)$$

$$H = (3k_p) D_1 \quad (12)$$

$$L = \frac{V_{пл}}{A_2 B_2} (k_3 + k_p) \quad (13)$$

где k_p – безразмерный коэффициент сжатия газа (0,6–0,85); $V_{пл}$ – объём пиролизного дистиллята [м³]; k_3 – коэффициент запаса (1–1,7), зависящий от степени наполнения бака конденсатора адсорбирующими элементами.

Для определения толщины стенок резервуара конденсатора S [м] используется формула:

$$S = \frac{P (D_1/2)}{2[\sigma]_T} + k_c \quad (14)$$

где $[\sigma]_T$ – допускаемое напряжение [МПа]; k_c – прибавка на коррозию; P – давление газа [МПа].

Установка двухступенчатой системы сепарации предназначена для работы с веществами обладающими высокими температурами (до 700 °С), из-за чего корпус и элементы установки требуется изготовить из стали X18H12T, так как данная сталь обладает сопротивляемостью к высоким температурам и агрессивным средам.

Принцип действия конденсатора второй ступени основан на работе газожидкостного эжектора. Эффективность работы эжектирующих устройств зависит от коэффициента эжекции, величина которого может изменяться в диапазоне значений от 0,1 до 0,9. Изменение коэффициента эжекции происходит из-за увеличения или уменьшения количества расхода эжектирующей жидкости. Уменьшение коэффициента эжекции происходит за счёт увеличения скорости потока жидкости, благодаря чему уменьшится количество пиролизной жидкости, прилипшей к стенкам эжектирующего устройства [17].

Конструкция газожидкостного эжектора представлена на рисунке 3

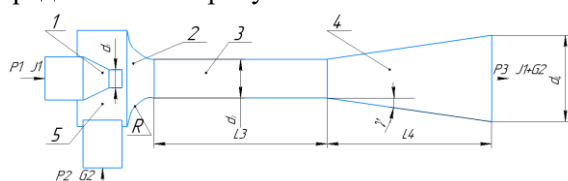


Рисунок 3. Газожидкостный эжектор: 1- сопло; 2- входной участок; 3- камера смешения; 4- диффузор; 5- приемная камера

Figure 3. Gas-liquid ejector: 1- nozzle; 2- entrance area; 3- mixing chamber; 4- diffuser; 5- receiving chamber

Для того, чтобы рассчитать эжекционную систему конденсатора второй ступени необходимо определить выходное сечение рабочего сопла f_{p1} , [м²], но перед этим необходимо рассчитать удельный объём эжектирующей жидкости v_p [м³/кг]:

$$v_p = \frac{1}{p_i} \quad (15)$$

$$f_{p1} = \frac{V_{j2}}{\varphi} / \sqrt{\frac{v_p J_1}{2P_{BX}}} \quad (16)$$

где φ – коэффициент скорости, равный 0,95; J_1 – скорость охлаждающей жидкости [м/с].

Одним из важнейших составляющих является диаметр выводного сечения рабочего сопла d_1 [м]:

$$d_1 = 2\sqrt{\frac{f_{p1}}{\pi}} \quad (17)$$

Перед расчетом площади торцевого сечения камеры смешения необходимо рассчитать коэффициенты:

$$c = 1.19 * (1 + \beta^2) \quad (18)$$

$$b = (0.975 + c - 0.78\beta^2) \quad (19)$$

где β – коэффициент эжекции.

После нахождения коэффициентов производится расчёт площади торцевого сечения f_3 [м²] по формуле:

$$f_3 = \frac{-b + \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a} f_{p1} \quad (20)$$

где $a = 0,95$.

Диаметр камеры смешения d_3 [м] рассчитывается по соотношению:

$$d_3 = 2\sqrt{\frac{f_3}{\pi}} \quad (21)$$

Радиус входного участка рассчитывается по соотношению:

$$R = 0.8d_3 \quad (22)$$

Диаметр диффузора d_4 [м] и длина диффузора L_4 [м] рассчитываются по формулам:

$$d_4 = 4\sqrt{\frac{f_3}{\pi}} \quad (23)$$

$$L_4 = tg\gamma \left(\frac{d_4}{2} - \frac{d_3}{2} \right) \quad (24)$$

Длина камеры смешения L_3 [м], определяется из соотношения:

$$L_3 = 8d_3 \quad (25)$$

На основании описанных выше формул составлена блок схема для расчёта двухступенчатой системы сепарации приведенная на рисунке 5.

Результаты и обсуждения

Расчёт начинается с введения постоянных и вариативных данных. Во втором блоке ведётся расчет материального баланса двухступенчатой системы сепарации. В третьем блоке ведётся расчет геометрических параметров конденсаторов. В четвертом блоке производится расчёт эжектора конденсатора второй ступени.

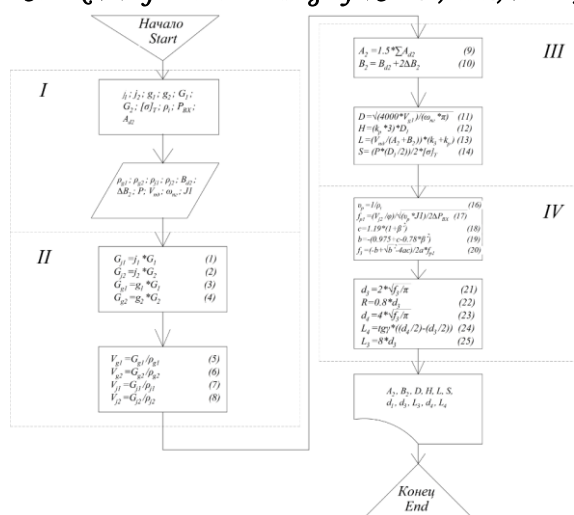


Рисунок 4. Блок схема двухступенчатой системы сепарации: I – исходные данные; II – расчет материального баланса; III – расчёт геометрических параметров конденсаторов; IV – расчёт эжектора

Figure 4. Block diagram of a two-stage separation system: I – initial data; II – calculation of material balance; III – calculation of geometric parameters of capacitors; IV – ejector calculation

Моделированием процесса в соответствии с методикой расчета были получены расчётные зависимости, приведенные на рисунках 5 и 6.

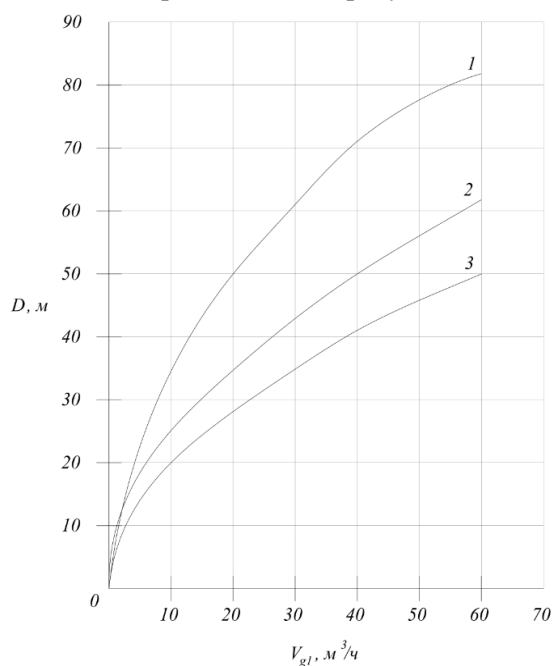


Рисунок 5. Зависимость диаметра конденсатора первой ступени от объёмной производительности по газу: 1 – $\omega_{\pi} = 10$, 2 – $\omega_{\pi} = 20$, 3 – $\omega_{\pi} = 30$

Figure 5. Dependence of the diameter of the first stage condenser on the gas volumetric productivity: 1 – $\omega_{\pi} = 10$, 2 – $\omega_{\pi} = 20$, 3 – $\omega_{\pi} = 30$

На рисунке 5 изображена зависимость диаметра конденсатора первой ступени от объёмной производительности по газу, при разных скоростях пиролизного газа. Анализ показал,

чем больше скорость пиролизного газа при поступлении в конденсатор тем меньше должен быть диаметр конденсатора. При высокой скорости пиролизного газа, охлаждающая жидкость не успевает охладить весь пиролизный газ и большее его количество покидает конденсатор первой ступени. С другой стороны, при уменьшении диаметра плотность хладагента увеличивается, что позволяет легче улавливать все пиролизные газы, поступившие в конденсатор первой ступени [18].

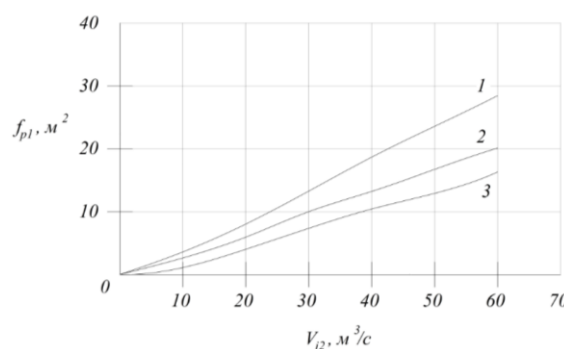


Рисунок 6. Зависимость сечения рабочего сопла эжектора от объёмной производительности по жидкости: 1 – $J_1 = 10$, 2 – $J_1 = 20$, 3 – $J_1 = 30$

Figure 6. Dependence of the cross-section of the ejector working nozzle on the volumetric productivity of liquid: 1 – $J_1 = 10$, 2 – $J_1 = 20$, 3 – $J_1 = 30$

На рисунке 6 изображена зависимость сечения рабочего сопла газожидкостного эжектора от объёмной производительности по жидкости, из которой видно, что при уменьшении сечения рабочего сопла увеличится скорость выхода охлаждающей жидкости. Это обусловлено тем, что чем меньше сечение, а следовательно, и диаметр рабочего сопла тем выше скорость распыления хладагента в эжекторе [19, 20].

Закключение

При использовании двухступенчатой системы сепарации не требуется использовать внешние источники хладагента, благодаря чему происходит экономия средств и ресурсов для производства пиролизного топлива. Помимо этого, двухступенчатая система сепарации имеет простые и эффективные конструктивные решения и способна долгое время работать в агрессивных и высокотемпературных средах. Используя данную систему, можно производить пиролизное топливо, которое может служить заменой топливу, получаемому из нефти. Используя предлагаемую выше методику, можно произвести расчёт сепараторов пиролизных газов для разной производительности. На основании предлагаемой методики была составлена блок схема и приведены зависимости диаметра конденсатора первой ступени от объёмной производительности и зависимости сечения рабочего сопла эжектора от объёмной производительности.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта
Российского научного фонда № 23-26-00036,
<https://rscf.ru/project/23-26-00036/>

Acknowledgments

The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 23-26-00036,
<https://rscf.ru/project/23-26-00036/>

Литература

- 1 Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Загиров А.Н., Мифтахов Р.А. Переработка органических отходов в пиролизное топливо // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 4(56). С. 116–125. doi: 10.18324/2077–5415–2022–4–116–125.
- 2 Сотников В.Г., Загиров А.Н., Гурьянов Д.А. и др. Обзор существующих установок для производства пиролизного топлива // Системы. Методы. Технологии. 2023. № 3(59). С. 117–122. doi: 10.18324/2077–5415–2023–3–117–122
- 3 Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Загиров А.Н. Исследование сепарирования пиролизных газов при различном влагосодержании растительного сырья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 3(101). С. 155–160. doi: 10.37670/2073–0853–2023–101–3–155–160.
- 4 Пат. № 2694347, RU, C10B 53/00. Способ получения активированного угля / Сафин Р.Г., Зиятдинов Р.Р., Сафин Р.Р. и др. № 2019100413; Заявл. 09.01.2019; Опубл. 11.07.2019.
- 5 Пат. № 2655757, RU, C11B 1/10, C08B 37/00. Установка для комплексной переработки древесины лиственницы / Сафина А.В., Тимербаев Н.Ф., Зиятдинова Д.Ф. и др. № 2017123820; Заявл. 05.07.2017; Опубл. 29.05.2018.
- 6 Чу Конг Нги, Спицын А.А., Пономарев Д.А., Чухчин Д.Г. и др. Получение и активирование биоуглерода из бамбука // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. №. 225. С. 226–236. doi: 10.21266/2079–4304.2018.225.226–236
- 7 Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Зиятдинова Д.Ф. Пирогенетическая переработка органических отходов текстильной промышленности в адсорбенты // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 5(395). С. 229–235. doi: 10.47367/0021–3497_2021_5_229
- 8 Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Рябушкин Д.Г., Ланкин К.А. и др. Конденсатор смешения для разделения пиролизных газов // Деревообрабатывающая промышленность. 2021. № 4. С. 45–55.
- 9 Сафин Р.Г., Сафина А.В., Валеев К.В., Фахрутдинов Р.Р. Способ получения композиционного материала на основе отходов текстильной промышленности и арабиногалактана // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 6(396). С. 297–302. doi: 10.47367/0021–3497_2021_6_297
- 10 Зиннурова О.В., Фаттахов Д.А. Получение биодизеля из кофейной гущи сортов арабика и робуста // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2022. №5. С. 11.
- 11 Garland N.T., Kaveti R., Bandothkar A.J. Biofluid activated biofuel cells, batteries, and supercapacitors: a comprehensive review // Advanced Materials. 2023. V. 35. №. 52. P. 2303197.
- 12 Yang Y. et al. An overview of biofuel power generation on policies and finance environment, applied biofuels, device and performance // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 2021. V. 8. №. 4. P. 534–553.
- 13 Malode S.J. et al. Recent advances and viability in biofuel production // Energy Conversion and Management: X. 2021. V. 10. P. 100070.
- 14 Srivastava R.K. et al. Biomass utilization and production of biofuels from carbon neutral materials // Environmental Pollution. 2021. V. 276. P. 116731.
- 15 Stamenković O.S. et al. Production of biofuels from sorghum // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2020. V. 124. P. 109769.
- 16 Kumar M. et al. Algae as potential feedstock for the production of biofuels and value-added products: Opportunities and challenges // Science of the Total Environment. 2020. V. 716. P. 137116.
- 17 Safin R.G., Sotnikov V.G., Ziatdinova D.F. Installation for the Processing of Plant Waste into Activated Carbon // Lecture Notes in Mechanical Engineering this link is disabled. 2023. P. 809–818.
- 18 Сафин Р.Г., Сотников В.Г. Энергосберегающая установка переработки органических отходов в топливо и адсорбенты // Российский химический журнал. 2023. Т. 67. № 3. С. 17–24. doi: 10.6060/rcj.2023673.3
- 19 Huang X., Cheng D., Chen F., Zhan X. Reaction pathways of hemicellulose and mechanism of biomass pyrolysis in hydrogen plasma: A density functional theory study // Renew Energy. 2016. V. 96. P. 490–497.
- 20 Yaashikaa P.R., Kumar P.S., Karishma S. Bio-derived catalysts for production of biodiesel: A review on feedstock, oil extraction methodologies, reactors and lifecycle assessment of biodiesel // Fuel. 2022. V. 316. P. 123379.

References

- 1 Safin R.G., Sotnikov V.G., Zagirov A.N., Miftakhov R.A. Processing of organic waste into pyrolysis fuel. Systems. Methods. Technologies. 2022. no. 4(56). pp. 116–125. doi: 10.18324/2077–5415–2022–4–116–125. (in Russian).
- 2 Sotnikov V.G., Zagirov A.N., Guryanov D.A. et al. Review of existing installations for the production of pyrolysis fuel. Systems. Methods. Technologies. 2023. no. 3(59). pp. 117–122. doi: 10.18324/2077–5415–2023–3–117–122 (in Russian).
- 3 Safin R.G., Sotnikov V.G., Zagirov A.N. Study of separation of pyrolysis gases at different moisture content of plant raw materials. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. 2023. no. 3(101). pp. 155–160. doi: 10.37670/2073–0853–2023–101–3–155–160. (in Russian).
- 4 Safin R.G., Ziatdinov R.R., Safin R.R. et al. Method for producing activated carbon. Patent RF, no. 2694347, 2019.
- 5 Safina A.V., Timerbaev N.F., Ziatdinova D.F. et al. Installation for complex processing of larch wood. Patent RF, no. 2655757, 2018.
- 6 Chu Kong N'gi, Spitsyn A.A., Ponomarev D.A., Chukhchin D.G. et al. Obtaining and Activating Biocarbon from Bamboo. Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy. 2018. no. 225. pp. 226–236. doi: 10.21266/2079–4304.2018.225.226–236 (in Russian).
- 7 Safin R.G., Sotnikov V.G., Ziatdinova D.F. Pyrogenetic processing of organic waste from the textile industry into adsorbents. News of higher educational institutions. Technology of the textile industry. 2021. no. 5(395). pp. 229–235. doi: 10.47367/0021–3497_2021_5_229 (in Russian).
- 8 Safin R.G., Sotnikov V.G., Ryabushkin D.G., Lankin K.A. et al. Mixing condenser for the separation of pyrolysis gases. Woodworking industry. 2021. no. 4. pp. 45–55. (in Russian).
- 9 Safin R.G., Safina A.V., Valeev K.V., Fakhrutdinov R.R. Method for producing a composite material based on textile industry waste and arabinogalactan. News of higher educational institutions. Textile industry technology. 2021. no. 6(396). pp. 297–302. doi: 10.47367/0021–3497_2021_6_297 (in Russian).
- 10 Zinnurova O.V., Fattakhov D.A. Obtaining biodiesel from Arabica and Robusta coffee grounds. International Journal of Applied Sciences and Technologies "Integral". 2022. no. 5. pp. 11. (in Russian).

- 11 Garland N.T., Kaveti R., Bandodkar A.J. Biofluid activated biofuel cells, batteries, and supercapacitors: a comprehensive review. *Advanced Materials*. 2023. vol. 35. no. 52. pp. 2303197.
- 12 Yang Y. et al. An overview of biofuel power generation on policies and finance environment, applied biofuels, device and performance. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 2021. vol. 8. no. 4. pp. 534-553.
- 13 Malode S.J. et al. Recent advances and viability in biofuel production. *Energy Conversion and Management: X*. 2021. vol. 10. pp. 100070.
- 14 Srivastava R.K. et al. Biomass utilization and production of biofuels from carbon neutral materials. *Environmental Pollution*. 2021. vol. 276. pp. 116731.
- 15 Stamenković O.S. et al. Production of biofuels from sorghum. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020. vol. 124. pp. 109769.
- 16 Kumar M. et al. Algae as potential feedstock for the production of biofuels and value-added products: Opportunities and challenges. *Science of the Total Environment*. 2020. vol. 716. pp. 137116.
- 17 Safin R.G., Sotnikov V.G., Ziatdinova D.F. Installation for the Processing of Plant Waste into Activated Carbon. *Lecture Notes in Mechanical Engineering* this link is disabled. 2023. pp. 809–818.
- 18 Safin R.G., Sotnikov V.G. Energy-saving installation for processing organic waste into fuel and adsorbents. *Russian Chemical Journal*. 2023. vol. 67. no. 3. pp. 17-24. doi: 10.6060/rcj.2023673.3 (in Russian).
- 19 Huang X., Cheng D., Chen F., Zhan X. Reaction pathways of hemicellulose and mechanism of biomass pyrolysis in hydrogen plasma: A density functional theory study. *Renew Energy*. 2016. vol. 96. pp. 490–497.
- 20 Yaashikaa P.R., Kumar P.S., Karishma S. Bio-derived catalysts for production of biodiesel: A review on feedstock, oil extraction methodologies, reactors and lifecycle assessment of biodiesel. *Fuel*. 2022. vol. 316. pp. 123379.

Сведения об авторах

Виктор Г. Сотников ассистент, кафедра переработки древесных материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса 68, г. Казань, 420015, Россия, vcvvcv12345678@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6202-5487>

Рушан Г. Сафин д.т.н., профессор, кафедра переработки древесных материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса 68, г. Казань, 420015, Россия, safin@kstu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6202-5486>

Айдар Н. Загиров инженер, кафедра переработки древесных материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса 68, г. Казань, 420015, Россия, aidarzagirov98@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9804-4236>

Наиль Ф. Тимербаев д.т.н., профессор, кафедра переработки древесных материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса 68, г. Казань, 420015, Россия, cpekgeu@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9804-4235>

Денис А. Гурьянов аспирант, кафедра переработки древесных материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса 68, г. Казань, 420015, Россия, vcvvcv12345@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6202-5488>

Альмира Р. Хабибуллина к.т.н., доцент, кафедра переработки древесных материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса 68, г. Казань, 420015, Россия, almira-h@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6202-5489>

Вклад авторов

Виктор Г. Сотников написал основной текст статьи, выполнил расчёты

Рушан Г. Сафин консультация в ходе проведения расчетов, руководил общим написанием статьи, корректировал её до подачи в редакцию

Айдар Н. Загиров обзор литературных источников, написание основного текста статьи, выполнение расчетов

Наиль Ф. Тимербаев консультация в ходе проведения расчетов

Денис А. Гурьянов обзор литературных источников по исследуемой теме

Альмира Р. Хабибуллина несёт ответственность за антиплагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Victor G. Sotnikov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, processing of wood materials department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx 68, Kazan, 420015, Russia, vcvvcv12345678@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6202-5487>

Rushan G. Safin Dr. Sci. (Engin.), professor, processing of wood materials department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx 68, Kazan, 420015, Russia, safin@kstu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6202-5486>

Aidar N. Zagirov engineer, processing of wood materials department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx 68, Kazan, 420015, Russia, aidarzagirov98@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9804-4236>

Nail F. Timerbaev Dr. Sci. (Engin.), professor, processing of wood materials department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx 68, Kazan, 420015, Russia, cpekgeu@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9804-4235>

Denis A. Guryanov graduate student, processing of wood materials department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx 68, Kazan, 420015, Russia, vcvvcv12345@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6202-5488>

Almira R. Khabibullina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, processing of wood materials department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx 68, Kazan, 420015, Russia, almira-h@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6202-5489>

Contribution

Victor G. Sotnikov wrote the main text of the article and performed the calculations

Rushan G. Safin consultation during the calculations, supervised the overall writing of the article, corrected it before submission to the editor

Aidar N. Zagirov review of literature sources, writing the main text of the article, performing calculations

Nail F. Timerbaev consultation during calculations

Denis A. Guryanov review of literary sources on the topic under study

Almira R. Khabibullina is responsible for anti-plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/07/2024	После редакции 06/08/2024	Принята в печать 28/08/2024
Received 18/07/2024	Accepted in revised 06/08/2024	Accepted 28/08/2024

Прогнозирование развития технологических процессов на примере ведущего оборудования линии производства конфет «Птичье молоко»

Юлия В. Устинова	¹	yul48888048@yandex.ru	 0000-0002-1649-889X
Максим В. Просин	¹	prosinmv@yandex.ru	 0000-0002-4615-5628
Дмитрий М. Бородулин	¹	borodulin@rgau-msha.ru	 0000-0003-3035-0354
Денис В. Дonya	¹	doniadv@rambler.ru	 0000-0002-5818-0804

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

Аннотация. Одной из неотъемлемых стадий большинства технологических процессов является стадия разделения продукта или полуфабриката на отдельные порции. Разделение как правило происходит резанием, хотя могут применяться и ряд других способов разделения. Технологическая линия производства конфет «Птичье молоко» оптимизирована для максимального использования сырья и минимизации отходов, что дает высокое качество итогового изделия. При изготовлении применяется способ непрерывной разливки конфетного пласта на конвейерную ленту, с последующей ускоренной выстойкой, делением массы на порционные корпуса, глазированием и упаковкой. Проведено научно-техническое прогнозирование, с целью проанализировать целесообразности изменений в конструкции машины. Для этого составлена модель «черного ящика» операции резки конфетного пласта «Птичье молоко». Для удобства структурирования и оценки значимости факторов использован метод экспертного оценивания, результаты представлены в виде матрицы рангов. Исследование характеристик, оказывающих воздействие на операцию резки кондитерской массы, было выполнено с использованием четырех различных параметров, которые являлись управляющими, управляемые, возмущающие и наблюдаемые, а сам технологический процесс резания выполнялся в комбинированной машине, предназначенной для резки конфетного пласта. Выявленных показателей, оказывающих влияние на качество обработки полуфабриката, оказалось 17. В результате проведенных исследований было установлено, что в технологическом процессе разделения конфетной массы в линии производства конфет «Птичье молоко» к существенным факторам можно отнести следующие пять факторов: жесткость ножа, скорость перемещения для гильотинного ножа и транспортной ленты, плотность разрезаемой массы, частота вращения и число дисковых ножей.

Ключевые слова: разделение, нож, резание, конфетная масса, «черный ящик».

Forecasting the development of technological processes using the example of the leading equipment of the "Bird's Milk" candy production line

Yuliya V. Ustinova	¹	yul48888048@yandex.ru	 0000-0002-1649-889X
Maksim V. Prosin	¹	prosinmv@yandex.ru	 0000-0002-4615-5628
Dmitry M. Borodulin	¹	borodulin@rgau-msha.ru	 0000-0003-3035-0354
Denis V. Donya	¹	doniadv@rambler.ru	 0000-0002-5818-0804

¹ Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskay St., 49, 127434, Moscow, Russia

Abstract. One of the integral stages of most technological processes is the stage of dividing a product or semi-finished product into separate portions. Separation usually occurs by cutting, although a number of other separation methods can be used. The technological production line of "Bird's Milk" candies is optimized for maximum use of raw materials and minimization of waste, which gives high quality of the final product. In the manufacture, a method of continuous pouring of the candy layer onto a conveyor belt is used, followed by accelerated proofing, dividing the mass into portion cases, glazing and packaging. Scientific and technical forecasting was carried out in order to analyze the feasibility of changes in the design of the machine. For this purpose, a model of the "black box" operation of cutting the "Bird's Milk" candy layer has been compiled. For the convenience of structuring and evaluating the significance of factors, the expert assessment method was used, the results are presented in the form of a rank matrix. The study of the characteristics affecting the cutting operation of the confectionery mass was performed using four different parameters, which were control, controlled, disturbing and observable, and the cutting process itself was performed in a combined machine designed for cutting a candy layer. There were 17 identified indicators that affect the quality of semi-finished product processing. As a result of the conducted research, it was found that in the technological process of separating the candy mass in the "Bird's Milk" candy production line, the following five factors can be attributed to significant factors: the rigidity of the knife, the speed of movement for the guillotine knife and conveyor belt, the density of the cut mass, the rotation frequency and the number of disc knives

Keywords: Separation, knife, cutting, candy mass, "black box".

Для цитирования

Устинова Ю.В., Просин М.В., Бородулин Д.М., Дonya Д.В. Прогнозирование развития технологических процессов на примере ведущего оборудования линии производства конфет «Птичье молоко» // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 37–43. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-37-43

For citation

Ustinova Yu.V., Prosin M.V., Borodulin D.M., Donya D.V. Forecasting the development of technological processes using the example of the leading equipment of the "Bird's Milk" candy production line. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 37–43. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-37-43

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

Введение

На данный момент пищевая и перерабатывающая промышленность насчитывает более 40 тыс. предприятий, на которых трудятся около 1,3 млн человек [1, 2]. В данной сфере народного хозяйства формируется около 40% финансовых ресурсов бюджета и свыше 50% розничного товарооборота Российской Федерации. Средняя номинальная заработная плата в пищевой перерабатывающей промышленности – 81065,9 руб./мес (данные на 2022 г.) [2].

В России в 2021 году было получено свыше 4 млн тонн продукции в кондитерской отрасли. Московская область стала главным регионом – производителем в сфере кондитерского производства. В начале 2022 года было выпущено 12,6% от общего объема. На втором месте Воронежская область, где доля производительности – 7,8% от производимых сладостей по России. На третьем – Владимирская область, в которой пришлось 6% кондитерской продукции, выпущенной в РФ [2, 3].

Несмотря на то, что кондитерская промышленность в 2021 году проявила положительные показатели, из-за возникнувшей геополитической и экономической обстановки возникли весомые сдвиги на рынке.

Во втором квартале большое количество иностранных производителей прекратили поставки в РФ своих товаров. К ним относятся: Lindt & Sprungli (Швейцария), Nestle замораживает продажи KitKat и Nesquik. Mars [4].

Сформировавшееся положение провоцирует проблемы, оказывающих влияние на замену и ремонт эксплуатируемых установок. При этом местные предприниматели поэтапно стали осуществлять замену иностранных машин отечественными. Например, в 2019 году, «Рот Фронт», ввел в эксплуатацию цех по переработке какао-бобов, оборудованный техникой российского производства [5]. В результате всего вышеперечисленного, наблюдается тенденция увеличения цен на десерты и сладости. Таким образом, современный характер техники и технологии, возрастающая сложность производства объективно диктуют необходимость повышения качества продукции.

Одной из неотъемлемых стадий большинства технологических процессов является стадия разделения продукта или полуфабриката на отдельные порции [6, 7]. Разделение как правило происходит резанием, хотя могут применяться и ряд других способов разделения. Так, например, резание широко применяется при разделении как туши, так и крупного куска мяса на более мелкие; разделение тестовой заготовки на отдельные, более мелкие порции; разделка рыбы,

а именно, отделение головы, плавников и ее порционирование и т. д. [6, 15]. В сфере общественного питания резание является неотъемлемой частью технологического процесса, так как необходимо производить нарезку овощей, фруктов, хлеба, мясных и колбасных изделий, сыра и т. д. [7, 12] Поэтому можно сказать, что процесс резания является неотъемлемой и весьма важной частью для большинства технологических процессов производств в пищевой промышленности.

Материалы и методы

Технологическая линия производства конфет «Птичье молоко» оптимизирована для максимального использования сырья и минимизации отходов, что дает высокое качество итогового изделия. При изготовлении применяется способ непрерывной разливки конфетного пласта на конвейерную ленту, с последующей ускоренной выстойкой, делением массы на порционные корпуса, глазированием и упаковкой [6].

Студнеобразная структура этих изделий обусловлена наличием агара, причем присутствие жира вызывает ослабление связей в каркасе, являющийся основной структурой студня [8]. Такое ослабление контактов студнеобразователя приводит к понижению прочности конфетной массы после охлаждения и возникновению деформаций корпусов при резке и глазировании.

Результаты

Таким образом, конфетная масса «Птичье молоко» обладает меньшей пластической прочностью и меньшим придельным напряжением сдвига, чем сбивные массы типа «Суфле». Рассчитанная критическая высота формоустойчивости даже при температуре, близкой к температуре студнеобразования агара (37–39 °C) меньше, чем требуемая высота корпуса конфет (12 мм) [9].

С другой стороны, введение жира в рецептуру сбивных конфет приводит к снижению липкости и облегчает такие технологические процессы, как резка пластов и отделение корпусов от материала, на который наносят массу при формировании.

Таким образом, оптимальным для конфетной массы и «Птичье молоко» является способ размазного формования. Также, проведено научно-техническое прогнозирование, с целью проанализировать целесообразности изменений в конструкции машины. Для этого составлена модель «черного ящика» операции резки конфетного пласта «Птичье молоко». Для удобства структурирования и оценки значимости факторов использован метод экспертного оценивания, результаты отображены в виде матрицы рангов [5, 8, 10].

Исследование характеристик, оказывающих воздействие на операцию резки кондитерской массы, было выполнено с использованием четырех различных параметров, которые являлись управляющими, управляемые, возмущающие и наблюдаемые, а сам технологический процесс резания выполнялся в комбинированной машине, предназначенной для резки конфетного

пласта. Выявленных показателей, оказывающих влияние на качество обработки полуфабриката, оказалось 17, которые представлены на рисунке 1. На рисунке представлена модель «черного ящика», примененного для подсистемы образования промежуточного продукта, характеризующегося заданными технологическими параметрами качества.

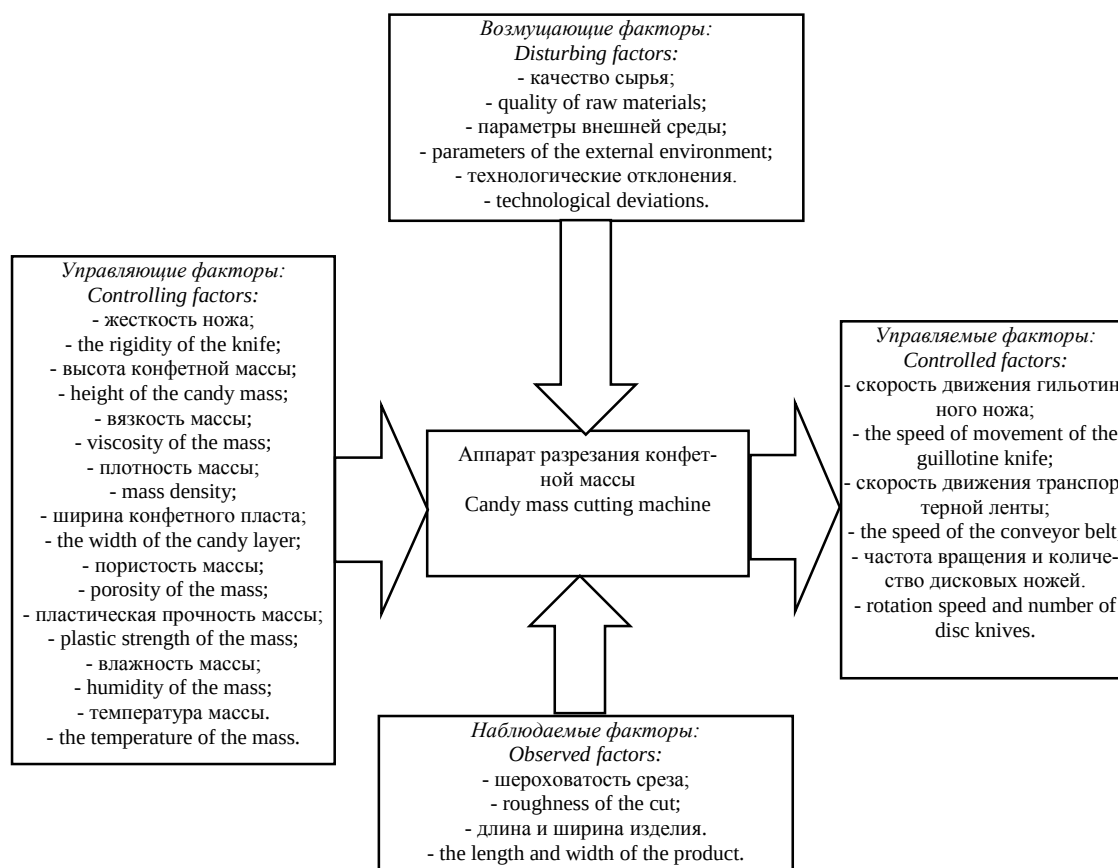


Рисунок 1. Модель «черного ящика» подсистемы получения промежуточного продукта

Figure 1. The "black box" model of the subsystem for obtaining an intermediate product

К управляющим параметрам рассматриваемого технологического процесса можно отнести следующие параметры:

- жесткость ножа;
- высота конфетной массы;
- вязкость массы;
- плотность массы;
- ширина конфетного пласта;
- пористость массы;
- пластическая прочность массы;
- влажность массы;
- температура массы.

К управляемым параметрам рассматриваемого технологического процесса можно отнести следующие параметры:

- скорость движения гильотинного ножа;
- скорость движения транспортной ленты;
- частота вращения и количество дисковых ножей.

К возмущающим параметрам рассматриваемого технологического процесса можно отнести следующие параметры:

- качество сырья;
- параметры внешней среды;
- технологические отклонения.

К наблюдаемым параметрам рассматриваемого технологического процесса можно отнести следующие параметры:

- шероховатость среза;
- длина и ширина изделия.

Сбивная кондитерская масса «Птичье молоко» представляет собой очень восприимчивую среду как к внешним характеристикам, влияющим на продукт, так и к механизмам, протекающим в исследуемом аппарате [5, 13]. Как на качество обработки, так и на качество

конечного продукта в кондитерской промышленности оказывают влияние разнообразные факторы. Процесс выявления и оценки значимости этих факторов воспользуемся методом экспертного оценивания.

Опираясь на модель «черного ящика» [3, 9, 10] технологического процесса деления кондитерского пласта выполнено априорное ранжирование факторов. Итоги экспертного опроса представлены в виде матрицы рангов (таблица 1).

Таблица 1.

Результаты экспертного опроса

Table 1.

The results of the expert survey

Фактор The factor	Эксперты Experts										Сумма рангов Sum of the ranks	Отклонения Deviations	Квадрат отклонений Square of deviations	Среднее значение суммы рангов The average value of the sum of the ranks	Ранг Rank
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Жесткость ножа The rigidity of the knife	17	16	15	17	17	16	16	17	16	17	164	73,88	5458,6	16,4	1
Высота конфетной массы Height of the candy mass	12	12	10	9	11	12	10	8	12	12	108	17,88	319,78	10,8	6
Вязкость конфетной массы Viscosity of the candy mass	10	11	12	12	9	8	9	10	11	9	101	10,88	118,43	10,1	8
Плотность конфетной массы The density of the candy mass	16	15	16	154	16	15	13	13	13	14	145	54,88	3012,07	14,5	3
Ширина конфетной массы The width of the candy mass	7	7	6	7	6	6	6	7	7	6	65	25,12	630,9	6,5	11
Пористость конфетной массы Porosity of the candy mass	5	3	5	6	7	5	7	6	6	7	57	33,12	1096,78	5,7	12
Пластическая прочность конфетной массы The plastic strength of the candy mass	1	2	3	1	1	4	4	4	4	5	29	61,12	3735,37	2,9	16
Влажность конфетной массы Humidity of the candy mass	11	8	11	11	8	9	12	11	10	11	102	11,88	141,19	10,2	7
Температура конфетной массы The temperature of the candy mass	2	6	1	5	5	7	5	5	5	4	45	45,12	2035,6	4,5	13
Шероховатость режущей поверхности Roughness of the cutting surface	8	10	8	8	12	10	8	12	8	8	92	1,88	3,54	9,2	10
Размеры конечного изделия Dimensions of the final product	9	9	9	10	10	11	11	9	9	10	97	6,88	47,37	9,7	9
Качество исходного сырья The quality of the feedstock	6	4	4	4	4	3	2	3	1	1	32	58,12	3377,66	3,2	15
Параметры внешней среды Parameters of the external environment	4	5	7	3	2	2	3	2	2	3	33	57,12	3262,43	3,3	14
Технологические отклонения Technological deviations	3	1	2	2	3	1	1	1	3	2	19	71,12	5057,72	1,9	17
Скорость движения ножа The speed of movement of the knife	14	17	17	16	15	17	17	15	17	15	160	69,88	4883,54	16	2
Скорость движения транспортной ленты The speed of the conveyor belt	15	13	14	13	14	13	16	16	14	16	144	53,88	2903,31	14,4	4
Частота вращения и количество дисковых ножей Rotation speed and number of disc knives	13	14	13	15	13	14	15	14	15	13	139	48,88	2389,5	13,9	5

Десяти опрошенным экспертам было предложено оценить 17 факторов, оказывающих влияние на разделение конфетной массы в агрегате для резки конфетной массы. Выявление значимости весомости этих критериев осуществлялось по 17-бальной шкале, в которой наиболее значимый показатель приравнивается единице [11].

Расчет параметров для полученных факторов [12, 14]:

– сумма рангов S_i

$$S_i = \sum_{j=1}^m a_{ij}, \quad (1)$$

– среднее значение сумм рангов L

$$L = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i, \quad (2)$$

– сумма квадратов отклонений S

$$S = \sum_{i=1}^n (S_i - L)^2, \quad (3)$$

– коэффициент конкордации W

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}. \quad (4)$$

Обсуждение

В результате расчетов был получен коэффициент конкордации, равный 0,94. Однако, при полной согласованности мнений экспертов в части выявления значимости влияния факторов данный коэффициент должен быть равен единице [13, 15].

В связи с тем, что число экспертов превышает 7, для последующего расчета воспользуемся критерием Пирсона [16], X_p^2 . В результате расчетов получили $X_p^2 = 6,03$, что является больше чем табличное $X_p^2 = 5,81$, следовательно условия удовлетворяются и не вызывают сомнений в единстве мнений экспертов. Наглядное отображение ранжирования мнений экспертов представлено в виде гистограммы на рисунке 2.

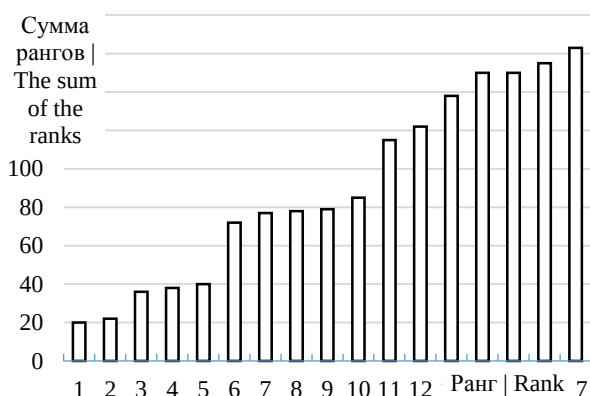


Рисунок 2. Гистограмма рангов

Figure 2. A histogram of ranks

Присвоим порядковый номер для каждой суммы рангов, при этом нумерацию будем осуществлять по возрастанию. Таким образом, получим, что чем выше сумма ранга, тем более

значимое влияние оказывается на технологический процесс разрезания конфетной массы. Анализируя полученную гистограмму на рисунке 2 видно, что все рассмотренные факторы условно делятся на четыре группы, первая группа: факторы с 1 по 5; вторая – с 6 по 10; третья – с 11 по 13; четвертая – с 14 по 17.

Для определения единых групп воспользовались критерием Линка–Уоллеса [17], $K_{\text{ур}}$. В результате вычислений получили, что нет возможности объединения первой и второй групп, а также третьей и четвертой, в связи с тем, что для первой группы факторов расчетный критерий $K_{\text{ур}}$ равен 0,84, при том, что табличное значение равно 0,98, а это больше расчетного. Следовательно, факторы с 1 по 5 являются одной общей группой. Для второй группы факторов критерий Линка–Уоллеса равен 1,56 и факторы с 6 по 10 невозможно включить в общую группу.

Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что в технологическом процессе разделения конфетной массы в линии производства конфет «Птичье молоко» к существенным факторам можно отнести следующие пять факторов: жесткость ножа, скорость перемещения для гильотинного ножа и транспортной ленты, плотность разрезаемой массы, частота вращения и число дисковых ножей.

Литература

- 1 Антипов С.Т., Журавлев А.В., Панфилов В.А., Шахов С.В. Развитие инженерии техники пищевых технологий: учебник. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 448 с.
- 2 Прогноз научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года. М.: НИУ ВШЭ, 2017. 140 с.
- 3 Школьников М.Н., Аверьянова Е.В., Доня Д.В., Хлопотов И.В. Разработка состава и технологии получения таблетированной формы концентрата безалкогольного напитка // Техника и технология пищевых производств. 2017. № 3(46). С. 96–101.
- 4 Лешкевич Т.Г. Метафоры цифровой эры и black box problem // Философия науки и техники. 2022. № 1.
- 5 Bochkaryov P.Yu., Korolev R.D., Bokova L.G. Comprehensive Assessment of the Manufacturability of Products // Advanced Engineering Research. 2023. V. 23. № 2. P. 155–168. doi: 10.23947/2687–1653–2023–23–2–155–168
- 6 Базров Б.М. Обеспечение технологичности конструкций изделий // Научно-технические технологии в машиностроении. 2020. V. 8. № 110. P. 18–22. doi: 10.30987/2223–4608–2020–8–18–22
- 7 Чернецов А.Н. Методы технологического прогнозирования // Вестник науки. 2019. № 6 (15). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-tehnologicheskogo-prognozirovaniya>
- 8 Зеленов Н.Н. Роль и методы технологического прогнозирования в модернизации экономики // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2012. № 10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-i-metody-tehnologicheskogo-prognozirovaniya-v-modernizatsii-ekonomiki-1>
- 9 Горбачёв А.С., Дроговоз П.А. Прогнозирование как инструмент опережающего развития технологических компетенций в промышленности // КЭ. 2020. № 12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-kak-instrument-operezhayuschego-razvitiya-tehnologicheskikh-kompetentsiy-v-promyshlennosti>
- 10 Горький А.С. Система оценки и прогнозирования перспектив развития региональных промышленных систем с учетом инновационно-технологического фактора // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2023. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-otsenki-i-prognozirovaniya-perspektiv-razvitiya-regionalnyh-promyshlennyh-sistem-s-uchetom-innovatsionno-tehnologicheskogo>
- 11 Качанова Л.С. Методика прогнозирования и сценарии развития технологических процессов производства и применения органических удобрений в аграрном секторе экономики // Инновации и инвестиции. 2018. № 7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-prognozirovaniya-i-stsenarii-razvitiya-tehnologicheskikh-protsessov-proizvodstva-i-primeneniya-organicheskikh-udobreniy-v>

12 Сержаков Г.Н. Развитие методологических аспектов прогнозирования процессов развития нового технологического уклада экономики // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D. Экономические и юридические науки. 2018. № 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-metodologicheskikh-aspektov-prognozirovaniya-protssessov-razvitiya-novogo-tehnologicheskogo-uklada-ekonomiki>

13 Smolikhina P.M., Muratova E.I., Dvoretzky S.I. The study of structure formation processes in the confectionery mass // Advanced Materials & Technologies. 2016. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/the-study-of-structure-formation-processes-in-the-confectionery-mass>

14 Wagner L.P., Reinbold L.M., Kilthau M., Fay A. A systematic review of modeling approaches for flexible energy resources // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2023. V. 184. doi: 10.1016/j.rser.2023.113541

15 Shi Z., O'Brien W. Development and implementation of automated fault detection and diagnostics for building systems: A review // Automation in Construction. 2019. V. 104. P. 215–229. doi: 10.1016/j.autcon.2019.04.002

16 Habash R. Sustainability and health in intelligent buildings. Woodhead Publishing, 2022. doi: 10.1016/B978-0-323-98826-1.00006-5

17 Sacco R., Guidoboni G., Mauri A.G. A comprehensive physically based approach to modeling in bioengineering and life sciences. – Academic press, 2019. doi: 10.1016/B978-0-12-812518-2.00047-0

18 Hassija V., Chamola V., Mahapatra A. et al. Interpreting Black-Box Models: A Review on Explainable Artificial Intelligence // Cogn Comput. 2024. V. 16. P. 45–74. doi: 10.1007/s12559-023-10179-8

19 Nosal S., Staszek M. Failure frequency of candies packing line before and after introducing service strategy of Total Productive Maintenance (TPM) // Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. 2015. V. 60. № 2. P. 68-71.

20 de Avelar M.H.M., de Castilho Queiroz G., Efraim P. Sustainable performance of cold-set gelation in the confectionery manufacturing and its effects on perception of sensory quality of jelly candies // Cleaner Engineering and Technology. 2020. V. 1. P. 100005.

References

1 Antipov S.T., Zhuravlev A.V., Panfilov V.A., Shakhov S.V. Development of food technology engineering: textbook. St. Petersburg, Lan, 2022. 448 p. (in Russian).

2 Forecast of scientific and technological development of the agro-industrial complex of the Russian Federation for the period up to 2030. Moscow, National Research University Higher School of Economics, 2017. 140 p. (in Russian).

3 Shkolnikova M.N., Averyanova E.V., Donya D.V., Khlopotov I.V. Development of the composition and technology for obtaining a tablet form of soft drink concentrate. Food production equipment and technology. 2017. no. 3 (46). pp. 96–101. (in Russian).

4 Leshkevich T.G. Metaphors of the digital era and the black box problem. Philosophy of Science and Technology. 2022. no. 1. (in Russian).

5 Bochkaryov P.Yu., Korolev R.D., Bokova L.G. Comprehensive Assessment of the Manufacturability of Products. Advanced Engineering Research. 2023. vol. 23. no. 2. pp. 155–168. doi: 10.23947/2687-1653-2023-23-2-155-168

6 Bazrov B.M. Ensuring the Manufacturability of Product Designs. Science-Intensive Technologies in Mechanical Engineering. 2020. vol. 8. no. 110. pp. 18–22. doi: 10.30987/2223-4608-2020-8-18-22 (in Russian).

7 Chernetsov A.N. Methods of Technological Forecasting. Science Bulletin. 2019. no. 6 (15). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-tehnologicheskogo-prognozirovaniya> (in Russian).

8 Zelenov N.N. The Role and Methods of Technological Forecasting in Economic Modernization // MIR (Modernization. Innovation. Development). 2012. no. 10. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-i-metody-tehnologicheskogo-prognozirovaniya-v-modernizatsii-ekonomiki> 1 (in Russian).

9 Gorbachev A.S., Drogovoz P.A. Forecasting as a tool for advanced development of technological competencies in industry. KE. 2020. no. 12. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-kak-instrument-operezhayushchego-razvitiya-tehnologicheskikh-kompetentsiy-v-promyshlennosti> (in Russian).

10 Gorky A.S. System for assessing and forecasting the development prospects of regional industrial systems taking into account the innovation and technological factor. Bulletin of Samara University. Economics and Management. 2023. no. 3. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-otsenki-i-prognozirovaniya-perspektiv-razvitiya-regionalnyh-promyshlennyh-sistem-s-uchetom-innovatsionno-tehnologicheskogo> (in Russian).

11 Kachanova L.S. Methodology for forecasting and scenarios for the development of technological processes for the production and use of organic fertilizers in the agricultural sector of the economy. Innovations and Investments. 2018. no. 7. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-prognozirovaniya-i-stsenarii-razvitiya-tehnologicheskikh-protssessov-proizvodstva-i-primeneniya-organicheskikh-udobreniy-v> (in Russian).

12 Seryakov G.N. Development of methodological aspects of forecasting the processes of development of a new technological structure of the economy. Bulletin of Polotsk State University. Series D. Economic and legal sciences. 2018. no. 6. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-metodologicheskikh-aspektov-prognozirovaniya-protssessov-razvitiya-novogo-tehnologicheskogo-uklada-ekonomiki> (in Russian).

13 Smolikhina P.M., Muratova E.I., Dvoretzky S.I. The study of structure formation processes in the confectionery mass. Advanced Materials & Technologies. 2016. no. 2. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/the-study-of-structure-formation-processes-in-the-confectionery-mass>

14 Wagner L.P., Reinbold L.M., Kilthau M., Fay A. A systematic review of modeling approaches for flexible energy resources. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2023. vol. 184. doi: 10.1016/j.rser.2023.113541

15 Shi Z., O'Brien W. Development and implementation of automated fault detection and diagnostics for building systems: A review. Automation in Construction. 2019. vol. 104. pp. 215–229. doi: 10.1016/j.autcon.2019.04.002

16 Habash R. Sustainability and health in intelligent buildings. Woodhead Publishing, 2022. doi: 10.1016/B978-0-323-98826-1.00006-5

17 Sacco R., Guidoboni G., Mauri A.G. A comprehensive physically based approach to modeling in bioengineering and life sciences. Academic press, 2019. doi: 10.1016/B978-0-12-812518-2.00047-0

18 Hassija V., Chamola V., Mahapatra A. et al. Interpreting Black-Box Models: A Review on Explainable Artificial Intelligence. Cogn Comput. 2024. vol. 16. pp. 45–74. doi: 10.1007/s12559-023-10179-8

19 Nosal S., Staszek M. Failure frequency of candies packing line before and after introducing service strategy of Total Productive Maintenance (TPM). Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. 2015. vol. 60. no. 2. pp. 68-71.

20 de Avelar M.H.M., de Castilho Queiroz G., Efraim P. Sustainable performance of cold-set gelation in the confectionery manufacturing and its effects on perception of sensory quality of jelly candies. Cleaner Engineering and Technology. 2020. vol. 1. pp. 100005.

Сведения об авторах

Юлия В. Устинова к.т.н., доцент, кафедра технологии хранения и переработки продуктов животноводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, г. Москва, 127434, Россия, yul48888048@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1649-889X>

Максим В. Просин к.т.н., доцент, кафедра процессов и аппаратов перерабатывающих производств, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, г. Москва, 127434, Россия, prosinmv@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4615-5628>

Дмитрий М. Бородулин д.т.н., профессор, зав.кафедрой, кафедра технологии хранения и переработки продуктов животноводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, г. Москва, 127434, Россия, borodulin@rgau-msha.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3035-0354>

Денис В. Дonya к.т.н., доцент, кафедра процессов и аппаратов перерабатывающих производств, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, г. Москва, 127434, Россия, doniadv@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5818-0804>

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

Yuliya V. Ustinova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of storage and processing of animal products department, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskay St., 49, Moscow, 127434, Russia, yul48888048@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1649-889X>

Maksim V. Prosin Cand. Sci. (Engin.), associate professor, processes and devices of processing industries department, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskay St., 49, Moscow, 127434, Russia, prosinmv@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4615-5628>

Dmitry M. Borodulin Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of storage and processing of livestock products department, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskay St., 49, Moscow, 127434, Russia, borodulin@rgau-msha.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3035-0354>

Denis V. Donya Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of storage and processing of livestock products department, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskay St., 49, Moscow, 127434, Russia, doniadv@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5818-0804>

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 29/07/2024	После редакции 15/08/2024	Принята в печать 30/08/2024
Received 29/07/2024	Accepted in revised 15/08/2024	Accepted 30/08/2024

Пищевая биотехнология Food biotechnology

DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2024-3-44-50>

Оригинальная статья / Research article

УДК 664.664

Open Access

Available online at vestnik-vsuet.ru

Разработка рецептуры оладий на основе растительных аналогов молока

Светлана М. Корпачева¹evtechova@mail.ru 0000-0001-8005-4364Анастасия И. Молчанова¹molchanovae1971@mail.ru¹ Новосибирский государственный технический университет, пр-т Карла Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия

Аннотация. В современном мире популяризируется использование растительных аналогов молока. Это связано с вегетарианским и веганским течениями, аллергиями на животный белок, а также с распространением непереносимости лактозы. На фоне чего на рынок стремительно выходит все больше производителей растительных напитков не только за рубежом, но и в России. Этому способствует богатство сырьевой базы: овес, рис, гречиха и другие культуры. В настоящее время растительные альтернативы молока можно встретить во многих полуфабрикатах, изделиях и блюдах и особенно значима такая замена в мучных кулинарных изделиях, при приготовлении которых в тесто вместо привычного молока добавляются растительные аналоги. В статье рассматривается целесообразность введения растительных аналогов молока в рецептуру приготовления одних из наиболее распространенных мучных изделий – оладий. Проиллюстрирована технологическая схема изготовления данных изделий с использованием растительных напитков торговой марки «Nemoloko» на основе сырья отечественного происхождения. Приведены результаты органолептической оценки классических оладий (контрольный образец) и оладий с растительными аналогами молока (экспериментальные образцы), а также определена их пищевая ценность. Результаты анализа органолептической оценки показали, что образцы не имеют ярко выраженных отличительных особенностей. Замена животного молока в рецептуре приготовления оладий не приводит к ухудшению качества готовых изделий. Также при подсчете пищевой ценности выявились незначительные отклонения в витаминно-минеральной составляющей. При этом показатели энергетической ценности остаются неизменными. По результатам анализа разработанных образцов можно отметить, что оладьи на основе растительных аналогов молока являются полноценной заменой классических оладий. Они предотвращают появление аллергических реакций у людей, страдающих непереносимостью лактозы, что позволяет им разнообразить пищевой рацион. Использование растительных напитков при приготовлении блюд и изделий способствует расширению перечня доступной к приобретению продукции в сфере индустрии питания.

Ключевые слова: растительное молоко, мучные изделия, оладьи, лактоза, лактазная недостаточность.

Development of a recipe for fritters based on vegetable analogues of milk

Svetlana M. Korpacheva¹evtechova@mail.ru 0000-0001-8005-4364Anastasia I. Molchanova¹molchanovae1971@mail.ru¹ Novosibirsk State Technical University, Karl Marx Av., 20 Novosibirsk, 630073, Russia

Abstract. The use of plant-based milk analogues is popularized in the modern world. This is due to the vegetarian and vegan trends, allergies to animal protein, as well as the spread of lactose intolerance. Against this background, more and more manufacturers of vegetable drinks are rapidly entering the market, not only abroad, but also in Russia. This is facilitated by the richness of the raw material base: oats, rice, buckwheat and other crops. Currently, vegetable alternatives to milk can be found in many semi-finished products, dishes, and such a replacement is especially significant in flour culinary products, when cooking which vegetable analogues are added to the dough instead of the usual milk. The article considers the expediency of introducing vegetable analogues of milk into the recipe for cooking one of the most common flour products – fritter. The technological scheme of manufacturing these products using vegetable beverages of the Nemoloko trademark based on raw material of domestic origin is illustrated. The results of the organoleptic evaluation of classic fritters (control sample) and fritters with vegetable analogues of milk (experimental samples) are presented, and their nutritional value is determined. The results of the analysis if the organoleptic evaluation showed that the samples do not have pronounced distinctive features. Replacing animal milk in the recipe for making fritters does not lead to a deterioration in the quality of finished products. Also, when calculating the nutritional value, minor deviations in the vitamin and mineral component were revealed. At the same time, the energy value indicators remain unchanged. Based on the results of the analysis of the developed samples, it can be noted that fritters based on vegetable milk analogues are a full-fledged replacement for classic fritters. They prevent the appearance of allergic reactions in people suffering from lactose intolerance, which allows them to diversify their diet. The use of vegetable beverages in the preparation of dishes and products contributes to the expansion of the list of products available for purchase in the food industry.

Keywords: plant milk, flour products, pancakes, lactose, lactase deficiency.

Для цитирования

Корпачева С.М., Молчанова А.И. Разработка рецептуры оладий на основе растительных аналогов молока // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 44–50. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-44-50

For citation

Korpacheva S.M., Molchanova A.I. Development of a recipe for fritters based on vegetable analogues of milk. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 44–50. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-44-50

Введение

Современное поколение потребителей все чаще беспокоится о состоянии своего здоровья и окружающей экологической обстановке, напрямую оказывающей влияние на качество потребляемой пищи. Параллельно с этим появляются новые тенденции в развитии продуктов питания, которые охватывают продовольственный рынок и сферу общественного питания. Значительные изменения происходят в молочной индустрии, где растительные аналоги молока постепенно вытесняют животные [1].

Растительный напиток представляет собой пищевой продукт, получаемый соединением измельченного сырья и воды, который содержит комплекс питательных веществ – белки, жиры, углеводы, аминокислоты, витамины и минеральные вещества [2]. Рост рынка молочных альтернатив связан с позиционированием таких их особенностей и характеристик: отсутствие сахара, более низкое содержание жира, наличие перечня витаминов, минералов и других пищевых компонентов. Также отмечается отсутствие в растительных аналогах гормонов и антибиотиков, которые могут встречаться в животном молоке. Потребление такого напитка благоприятно влияет на пищеварение, очищает кишечник от шлаков за счет наличия пищевых волокон, помогает ускорить обменные процессы в организме [3]. Выбор растительных альтернатив молока обуславливается и религиозными канонами, например, во время Великого поста. Такой напиток играет важную роль в рационе веганов, вегетарианцев и флекситарианцев, для которых немислимо включение в пищу продуктов животного происхождения, а также для приверженцев здорового образа жизни [1]. Замена животного молока на растительные аналоги, в особенности, необходима для людей, страдающих лактозной непереносимостью. Лактоза – это углевод группы дисахаридов, который переваривается при помощи кишечного фермента лактазы [5]. Ее уровень может снижаться в организме на протяжении жизни и вызывать лактазную недостаточность. Подобное явление приводит к болезненным ощущениям в животе, диарее, тошноте и метеоризмам. Финская молочно-промышленная компания «Valio» в 2023 году провела в России исследование о непереносимости лактозы среди 7100 опрошенных. По данным проведенного анкетирования 46% людей отметили у себя как минимум один симптом, наблюдающийся при не усвоении лактозы, а каждый третий анкетированный сообщил о наличии аллергии на молочный сахар

у своих знакомых и родственников. При этом около 41% опрошиваемых не знали о возможности замены продуктов с содержанием лактозы на аналог [6]. Также выяснилось, что лактазная недостаточность встречается примерно у 65% взрослого населения по всему миру [7].

Как известно, для продления срока годности животное молоко и растительные напитки подвергают пастеризации – однократный нагрев, приводящий к микробиологической стабильности продукции [7]. При этом, если пастеризованное молоко продлевает свой срок хранения до 14 суток, то растительный аналог пригоден к использованию вплоть до 1 года при условии соблюдения требований хранения, что является одной из причиной широкого применения растительных напитков в пищевой индустрии. Их добавляют в супы, каши, соусы, десерты, напитки, а также мучные кулинарные изделия [8]. В связи с этим, в данной работе рассматривается приготовление ассортимента оладий на основе растительных напитков: овсяный, рисовый и гречишный. Приводится технологическая схема их изготовления, а также органолептическая оценка качества и подсчет пищевой ценности в сравнении с изделиями, содержащими животное молоко.

Цель работы – проведение органолептической оценки качества оладий на основе растительных аналогов молока и анализ пищевой ценности ассортимента оладий из растительных напитков в сравнении с классическими изделиями данного вида.

Материалы и методы

Исследование опытных образцов оладий было организовано на кафедре технологии и организации пищевых производств Новосибирского государственного технического университета. С целью исключения лактозы из готовых изделий коровье молоко было заменено на растительные аналоги, а в качестве жира для жарения использовано растительное масло (подсолнечное). Объектами исследования выступили оладьи: образец № 1 – оладьи на основе коровьего молока (контрольный образец); образец № 2 – оладьи на основе овсяного напитка; образец № 3 – оладьи на основе рисового напитка; образец № 4 – оладьи на основе гречневого напитка.

За контрольный образец была взята рецептура из Сборника рецептов блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания (1996) [9].

Технология приготовления оладий включает в себя замес дрожжевого теста, брожение, сопровождаемое перемешиванием (обминками), и жарение изделий. Технологическая схема изготовления оладий представлена на рисунке 1.

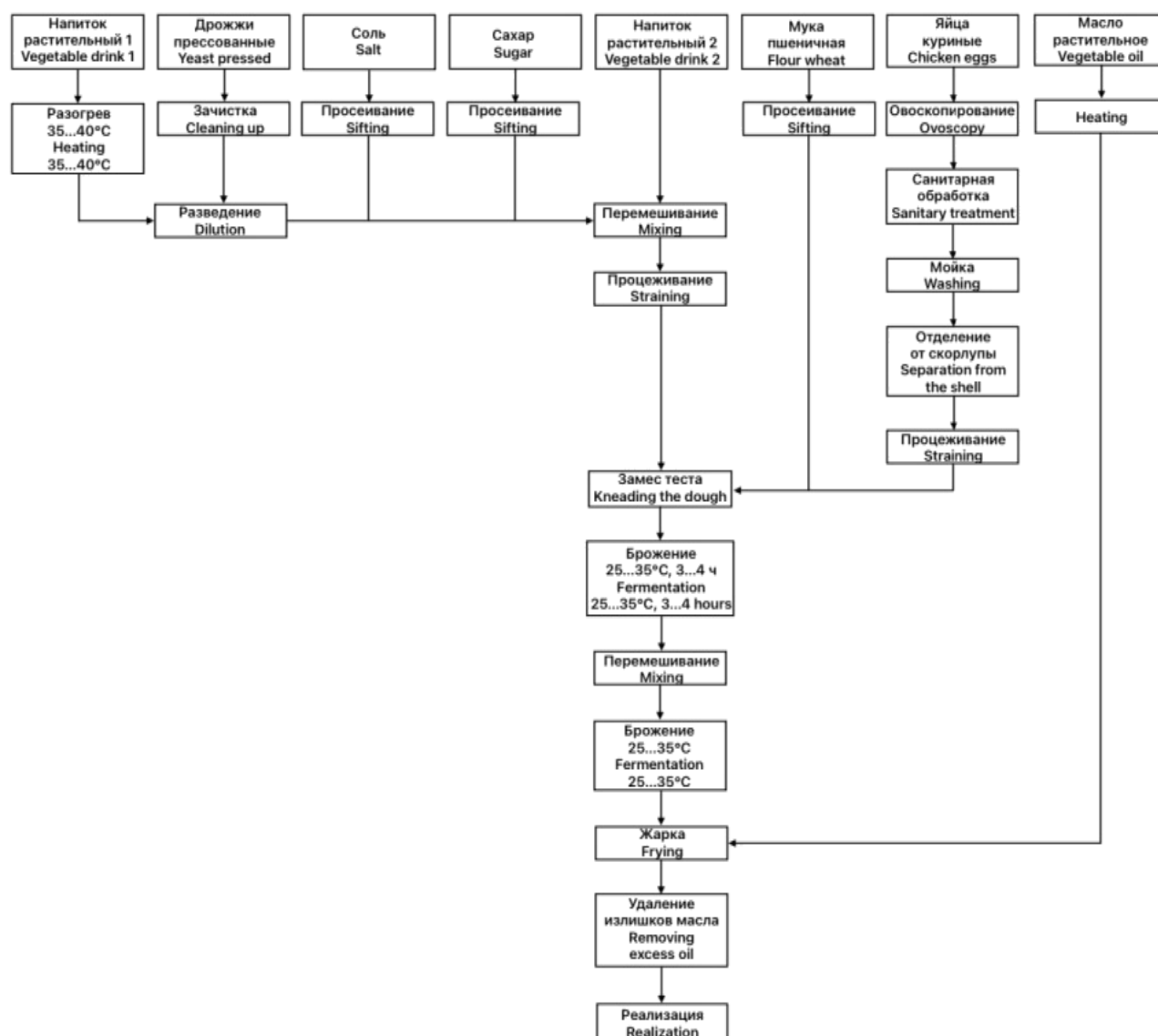


Рисунок 1. Технологическая схема приготовления оладий на основе растительных аналогового молока

Figure 1. Technological scheme of making pancakes based on vegetable analog milk

Результаты и обсуждение

Органолептическая оценка образцов проводилась на основе данных таблицы 1, отражающих требования к изделиям по различным показателям качества.

В дегустации приняли участие преподаватели и студенты. По ее результатам была создана диаграмма, отражающая органолептические оценки качества опытных образцов (рисунок 3).

Выявлено, что образцы на основе растительных аналогов молока от торговой марки «Nemoloko» не имеют ярко-выраженных органолептических отличий от контрольного образца. Особенностью экспериментальных образцов выступила более упругая консистенция, которая не оказывает значительного влияния на показатели качества. Данный фактор объясняется

отсутствием лактозы и меньшим содержанием животных белков в оладьях на альтернативных видах молока. Так, животные белки и сложный углевод поглощают воду, замедляя ее испарение из изделий, что делает их более мягкими и эластичными [10].

Несколько больше отличительных черт имеют оладьи на гречишном молоке. При анализе выяснилось, что они темнее рассматриваемых образцов, а также имеют отдаленно напоминающие медовые вкусовые оттенки.

Образцы разработанного ассортимента оладий представлены на рисунке 4 в соответствующем порядке: образец № 2, образец № 3, образец № 4.

Таблица 1.

Органолептические показатели качества оладий

Table 1.

Organoleptic indicators of the quality of fritters

Показатель Indicator	Характеристика Characteristic	
	Контрольный образец Control sample	Экспериментальные образцы Experimental samples
Внешний вид Appearance	Форма округлая, изделия толщиной 5–6 мм. Допускается наличие на боковой поверхности полосы более светлого цвета The shape is rounded, the products are 5–6 mm thick. It is allowed to have a lighter-colored stripe on the side surface	Форма округлая, изделия толщиной 5–6 мм. Допускается наличие на боковой поверхности полосы более светлого цвета The shape is rounded, the products are 5–6 mm thick. It is allowed to have a lighter-colored stripe on the side surface
Цвет Colour	Равномерный, поверхности – золотисто-желтый, в разрезе – от белого до светло-желтого Uniform, the surface is golden yellow, in section – from white to light yellow	Равномерный, поверхности – от золотисто-желтого до светло-коричневого, в разрезе – от белого до светло-кремового Uniform, surfaces – from golden yellow to light brown, in section – from white to light cream
Консистенция (состояние мякиша) Consistency (crumb condition)	Развитая пористость, мягкая, эластичная, без следов непромеса, хорошо прожаренные Developed porosity, soft, elastic, without traces of poor kneading, well-fried	Развитая пористость, слегка плотноватая, эластичная, без следов непромеса, хорошо прожаренные Developed porosity, slightly dense, elastic, without traces of poor kneading, well-fried
Запах Smell	Жареного дрожжевого теста Fried yeast dough	Для изделий на основе гречневого напитка – жареного дрожжевого теста, едва ощутимый гречишный аромат, для других изделий – жареного дрожжевого теста For products based on buckwheat drink – fried yeast dough, barely noticeable buckwheat flavor, for other products – fried yeast dough
Вкус Taste	Жареного дрожжевого теста, умеренно сладко-соленый Fried yeast dough, moderately sweet and salty	Для изделий на основе гречневого напитка – жареного дрожжевого теста с гречишным привкусом, для других изделий – жареного дрожжевого теста. Умеренно сладко-соленый For products based on buckwheat drink – fried yeast dough with buckwheat flavor, for other products – fried yeast dough. Moderately sweet and salty

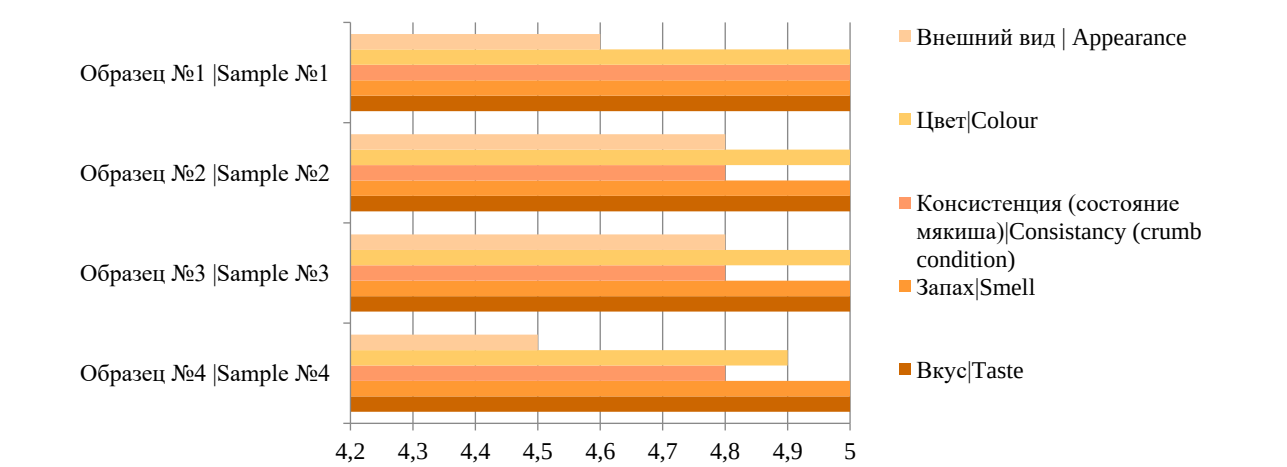


Рисунок 2. Результаты органолептической оценки опытных образцов

Figure 2. Results of organoleptic evaluation of experimental samples



Рисунок 3. Ассортимент образцов разработанных оладий на растительных аналогах молока

Figure 3. Assortment of samples of developed fritters based on vegetable milk analogues

С целью обоснования функциональной направленности разработанных образцов мучных кулинарных изделий была определена их пищевая ценность (таблица 2). Результаты представлены с учетом рекомендуемых норм потребления пищевых веществ для женщин возраста 18–29 лет 1-ой группы физической активности в соответствии с МР 2.3.1.0253–21.

Анализ результатов подсчета показал, что замена животного молока на растительные аналоги не влияет на энергетическую ценность изделий. Наблюдается снижение белков по массе,

в среднем, на 15,3% в экспериментальных образцах. Изделия на овсяном и гречневом напитках содержат более 15% пищевых волокон от рекомендуемой нормы. Во всех образцах наличие натрия превышает 30%, а доля кальция оста-

ется неизменной. Также в экспериментальных образцах на 41% по массе меньше содержания калия, фосфора – на 35% и витамина В₂ – на 16% в сравнении с контрольным. Однако, в изделиях с овсяным напитком присутствует более 15% витаминов В₁ и РР.

Таблица 2.

Пищевая ценность исследуемых образцов оладий

Table 2.

Nutritional value of the studied samples of fritters

Показатель Indicator	Суточная потребность Daily requirement	Образец Sample							
		1		2		3		4	
		Содержание в 1 порции Content in 1 serving	% суточной потребности % of daily requirement	Содержание в 1 порции Content in 1 serving	% суточной потребности % of daily requirement	Содержание в 1 порции Content in 1 serving	% суточной потребности % of daily requirement	Содержание в 1 порции Content in 1 serving	% суточной потребности % of daily requirement
Белки, г Proteins, g	67	7,85	11,72	6,79	10,13	6,36	9,49	6,79	10,13
Жиры, г Fats, g	63	5,94	9,43	6,21	9,86	6,21	9,86	6,21	9,86
Углеводы, г Carbo- hydrates, g	266	38,95	14,64	39,82	14,97	39,92	15,01	39,82	14,97
Пищевые волокна, г Dietary fiber, g	20	2,03	10,15	3,27	16,35	2,24	11,2	3,08	15,4
Энерге- тическая ценность, ккал Energy value, kcal	1900	234,92	12,36	234,92	12,36	242,29	12,75	234,92	12,36
Минеральные вещества, мг Mineral substances, mg									
Na	1300	428,99	33	413,27	31,79	401,89	30,91	456,1	35,08
K	3500	158,54	4,53	94,33	2,7	80,88	2,31	104,1	2,97
Ca	1000	80,51	8,05	80,51	8,05	80,51	8,05	80,51	8,05
Mg	420	17,63	4,2	19,2	4,57	11,13	2,65	21,27	5,06
P	700	107,7	15,39	75,79	10,83	60,7	8,67	73,35	10,48
Fe	18	0,91	5,06	1,03	5,72	0,87	4,83	1,03	5,72
Витамины, мг Vitamins, mg									
β-каротин β-carotene	5	0,001	0,02	0,001	0,02	0,001	0,02	0,001	0,02
В ₁	1,5	0,12	8	0,25	16,67	0,1	6,67	0,1	6,67
В ₂	1,8	0,12	6,67	0,1	5,56	0,1	5,56	0,1	5,56
РР	20	0,88	4,4	3,14	15,7	1,1	5,5	1,1	5,5

Заключение

Выявлено, что оладьи на основе растительных аналогов молока можно считать функционально направленным продуктом по наличию натрия. Изделия, включающие овсяный напиток, являются источником повышенного содержания не только натрия, но и фосфора, витаминов В₁ и РР, а также пищевых волокон. Данные показатели достигаются за счет дополнительного обогащения растительных альтернатив витаминами и минералами при производственном процессе [11–20].

Основываясь на данных исследования, можно сделать вывод о том, что замена животного молока на растительные напитки: овсяный,

рисовый и гречневый от торговой марки «Nemoloko» в значительной степени не оказывает влияние как на органолептические показатели качества, так и на пищевую ценность. По этой причине оладьи на основе растительных аналогов молока могут быть включены в рацион питания людей с непереносимостью лактозы.

В связи с активным развитием рынка альтернатив натурального молока и их популяризацией среди людей, актуально продолжить изучение направлений применения данных напитков в индустрии питания с целью расширения ассортимента продукции.

Литература

- 1 Читава Э.К. Растительные напитки. Обзор-ВЭД Растительные-напитки. АГРОЭКСПОРТ. 2023. URL: https://aemcx.ru/wp-content/uploads/2023/06/Обзор-ВЭД_Растительные-напитки.pdf
- 2 Меренкова С.П., Тесалова Д.Г. Анализ эффективности методов экстракции для получения растительных напитков с оптимальными свойствами // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2021. Т. 9. № 1. С. 48–56. doi: 10.14529/food210106
- 3 Федорова М.А. Состояние рынка альтернативных молочных продуктов в России // Социально-экономический и гуманитарный журнал. 2022. № 3. С. 42–55. doi: 10.36718/2500–1825–2022–3–42–55
- 4 Алексеев А.Л., Владимирова Е.П. Разработка рецептур продуктов на основе растительного молока // Академическая публицистика. 2021. Т. 2. № 11. С. 14–17.
- 5 Богданова Н.М. Лактазная недостаточность и непереносимость лактозы: основные факторы развития и принципы диетотерапии // Медицина: теория и практика. 2020. Т. 4. № 1. С. 62–70.
- 6 Доказательная медицина. Результаты всероссийского исследования о непереносимости лактозы и потреблении молочных продуктов в 2023 году. URL: <https://con-pharm.ru/articles/dokazatelnaya-meditsina/rezultaty-vserossiyskogo-issledovaniya-o-neperenosimosti-laktozy-i-potreblenii-molochnykh-produktov/>
- 7 Bocker R., Keven Silva E. Innovative technologies for manufacturing plant-based non-dairy alternative milk and their impact on nutritional, sensory and safety aspects // Future Foods. 2022. № 5. pp. 1–12.
- 8 Лазарев В.А., Тихонов С.Л., Ворошкевич И.А. Растительное молоко – альтернативное сырье для производства напитков // Наука, образование, инновации. 2022. С. 42–45.
- 9 Васюкова А. и др. Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий кухонь народов России для предприятий общественного питания. М., 2020. 208 с.
- 10 Low M. Functions of Milk: Do plant-based varieties stack up? // Science Meets Food. 2019.
- 11 Feyza Aydar E., Tutuncu S., Ozcelik B. Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects // Journal of Functional Foods. 2020. P. 1–15.
- 12 Silva A.R.A., Silva M.M.N., Ribeiro B.D. Plant-based milk products // Future Foods. Academic Press, 2022. P. 233-249.
- 13 Sethi S., Tyagi S.K., Anurag R.K. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review // Journal of food science and technology. 2016. V. 53. P. 3408-3423.
- 14 Mäkinen O.E., Wanhalinna V., Zannini E., Arendt E.K. Foods for special dietary needs: Non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products // Critical reviews in food science and nutrition. 2016. V. 56. №. 3. P. 339-349.
- 15 Paul A.A., Kumar S., Kumar V., Sharma R. et al. Milk Analog: Plant based alternatives to conventional milk, production, potential and health concerns // Critical reviews in food science and nutrition. 2020. V. 60. №. 18. P. 3005-3023.
- 16 Rasika D.M.D., Vidanarachchi J.K., Rocha R.S., Balthazar C.F. et al. Plant-based milk substitutes as emerging probiotic carriers // Current Opinion in Food Science. 2021. V. 38. P. 8-20.
- 17 Vogelsang-O'Dwyer M., Zannini E., Arendt E.K. Production of pulse protein ingredients and their application in plant-based milk alternatives // Trends in Food Science & Technology. 2021. V. 110. P. 364-374.
- 18 Silventoinen-Vejalainen P. et al. Influence of oat flour characteristics on the physicochemical properties of oat-based milk substitutes // Food Hydrocolloids. 2024. V. 147. P. 109402.
- 19 Montemurro M., Verni M., Rizzello C.G., Pontonio E. Design of a plant-based yogurt-like product fortified with hemp flour: Formulation and characterization // Foods. 2023. V. 12. №. 3. P. 485.
- 20 Rincon L., Botelho R.B.A., de Alencar E.R. Development of novel plant-based milk based on chickpea and coconut // Lwt. 2020. V. 128. P. 109479.

References

- 1 Chitava E.K. Plant-based drinks. Review-VED Plant-based drinks. AGROEXPORT. 2023. Available at: https://aemcx.ru/wp-content/uploads/2023/06/Review-VED_Plant-based-drinks.pdf (in Russian).
- 2 Merenkova S.P., Tesalova D.G. Analysis of the efficiency of extraction methods for obtaining plant-based drinks with optimal properties. Bulletin of SUSU. Series "Food and Biotechnology". 2021. vol. 9. no. 1. pp. 48–56. doi: 10.14529/food210106 (in Russian).
- 3 Fedorova M.A. State of the alternative dairy products market in Russia. Socio-economic and humanitarian journal. 2022. no. 3. pp. 42–55. doi: 10.36718/2500–1825–2022–3–42–55 (in Russian).
- 4 Alekseev A.L., Vladimirova E.P. Development of recipes for products based on plant milk. Academic journalism. 2021. vol. 2. no. 11. pp. 14–17. (in Russian).
- 5 Bogdanova N.M. Lactase deficiency and lactose intolerance: the main factors of development and principles of diet therapy. Medicine: theory and practice. 2020. vol. 4. no. 1. pp. 62–70. (in Russian).
- 6 Evidence-based medicine. Results of the all-Russian study on lactose intolerance and consumption of dairy products in 2023. Available at: <https://con-pharm.ru/articles/dokazatelnaya-meditsina/rezultaty-vserossiyskogo-issledovaniya-o-neperenosimosti-laktozy-i-potreblenii-molochnykh-produktov/> (in Russian).
- 7 Bocker R., Keven Silva E. Innovative technologies for manufacturing plant-based non-dairy alternative milk and their impact on nutritional, sensory and safety aspects. Future Foods. 2022. no. 5. pp. 1–12. (in Russian).
- 8 Lazarev V.A., Tikhonov S.L., Voroshkevich I.A. Plant milk – alternative raw material for beverage production. Science, education, innovation. 2022. pp. 42–45. (in Russian).
- 9 Vasyukova A. et al. Collection of recipes for dishes and culinary products of the cuisines of the peoples of Russia for catering establishments. Moscow, 2020. 208 p. (in Russian).

- 10 Low M. Functions of Milk: Do plant-based varieties stack up? *Science Meets Food*. 2019.
- 11 Feyza Aydar E., Tutuncu S., Ozcelik B. Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects. *Journal of Functional Foods*. 2020. pp. 1–15.
- 12 Silva A.R.A., Silva M.M.N., Ribeiro B.D. Plant-based milk products. *Future Foods*. Academic Press, 2022. pp. 233-249.
- 13 Sethi S., Tyagi S.K., Anurag R.K. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *Journal of food science and technology*. 2016. vol. 53. pp. 3408-3423.
- 14 Mäkinen O.E., Wanhalinna V., Zannini E., Arendt E.K. Foods for special dietary needs: Non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2016. vol. 56. no. 3. pp. 339-349.
- 15 Paul A.A., Kumar S., Kumar V., Sharma R. et al. Milk Analog: Plant based alternatives to conventional milk, production, potential and health concerns. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2020. vol. 60. no. 18. pp. 3005-3023.
- 16 Rasika D.M.D., Vidanarachchi J.K., Rocha R.S., Balthazar C.F. et al. Plant-based milk substitutes as emerging probiotic carriers. *Current Opinion in Food Science*. 2021. vol. 38. pp. 8-20.
- 17 Vogelsang-O'Dwyer M., Zannini E., Arendt E.K. Production of pulse protein ingredients and their application in plant-based milk alternatives. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. vol. 110. pp. 364-374.
- 18 Silventoinen-Veijalainen P. et al. Influence of oat flour characteristics on the physicochemical properties of oat-based milk substitutes. *Food Hydrocolloids*. 2024. vol. 147. pp. 109402.
- 19 Montemurro M., Verni M., Rizzello C.G., Pontonio E. Design of a plant-based yogurt-like product fortified with hemp flour: Formulation and characterization. *Foods*. 2023. vol. 12. no. 3. pp. 485.
- 20 Rincon L., Botelho R.B.A., de Alencar E.R. Development of novel plant-based milk based on chickpea and coconut. *Lwt*. 2020. vol. 128. pp. 109479.

Сведения об авторах

Светлана М. Корпачева к.т.н., доцент, кафедра технологии и организации пищевых производств, Новосибирский государственных технический университет, пр-т Карла Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия, evtechova@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-8005-4364>

Анастасия И. Молчанова студент, направление подготовки 19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания, Новосибирский государственный технический университет, пр-т Карла Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия, molchanovae1971@mail.ru

Information about authors

Svetlana M. Korpacheva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology and organization of food production department, Novosibirsk State Technical University, Karl Marx Av., 20 Novosibirsk, 630073, Russia, evtechova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8005-4364>

Anastasia I. Molchanova student, technology of products and organization of public catering department, Novosibirsk State Technical University, Karl Marx Av., 20 Novosibirsk, 630073, Russia, molchanovae1971@mail.ru

Вклад авторов

Светлана М. Корпачева консультация при приготовлении исследованных образцов и написании рукописи

Анастасия И. Молчанова написание рукописи, корректировка ее до подачи в редакцию, несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

Svetlana M. Korpacheva consultation during the preparation of the studied samples and writing of the manuscript

Anastasia I. Molchanova writing a manuscript, correcting it before submitting it to the editorial office, is responsible for the responsibility

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 09/07/2024	После редакции 12/08/2024	Принята в печать 29/08/2024
Received 09/07/2024	Accepted in revised 12/08/2024	Accepted 29/08/2024

Влияние рациона питания на состав кишечной микробиоты

Татьяна С. Ковалева	¹	tanyakova2501@gmail.com	 0000-0002-3531-3811
Ольга Н. Крюкова	¹	ol.cok.3@mail.ru	 0000-0002-3955-5287
Алла В. Ежова	²	gonav@mail.ru	 0000-0002-6889-6451
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

² Воронежская государственная академия спорта, ул. Карла Маркса, 59, г. Воронеж, Россия

Аннотация. Микробиота кишечника человека представляет собой сложную экосистему, состоящую из триллионов микроорганизмов, которые симбиотически обитают в кишечнике человека. Посредством производства ряда метаболитов они выполняют многие важные метаболические функции, которые дополняют активность ферментов млекопитающих и играют существенную роль в пищеварении. Межиндивидуальная изменчивость структуры микробиоты и, следовательно, экспрессии ее генов (микробиома) в значительной степени объясняется рационом питания. Питание влияет на состав и функции микробиоты с краткосрочными и долгосрочными эффектами. Несмотря на наличие обширного ряда исследований, молекулярные механизмы, лежащие в основе этих эффектов, до сих пор остаются не до конца изученными. В статье мы обобщили и конкретизировали имеющиеся данные о влиянии рациона питания на состав микробиоты кишечника. Питание оказывает краткосрочные и долгосрочные влияния на микробные колонии, совершая глубокое воздействие на здоровье человека. Фактически изменения микробиоты, вызванные питанием, постепенно ассоциируются не только с физиологией человека, но и с хроническими заболеваниями, включая ожирение, иммунные, метаболические и воспалительные заболевания кишечника. Взаимосвязь между здоровьем человека, кишечной микробиотой и питанием представляет собой одну из наиболее перспективных и сложных тем для исследователей. Действительно, микробиота представляет собой динамичное сообщество, претерпевающее изменения в соответствии с пищевыми привычками на протяжении всей жизни человека, и обладает большим метаболическим потенциалом, способным воздействовать на фармакологические мишени и биологически активные соединения.

Ключевые слова: микробиота кишечника, микробиом, рацион питания, здоровье, пищевые привычки.

Effect of dietary intake on the composition of the intestinal microbiota

Tatiana S. Kovaleva	¹	tanyakova2501@gmail.com	 0000-0002-3531-3811
Olga N. Kryukova	¹	ol.cok.3@mail.ru	 0000-0002-3955-5287
Alla V. Ezhova	²	gonav@mail.ru	 0000-0002-6889-6451
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

² Voronezh State Academy of Sports, st. Karla Marksa, 59, Voronezh, Russia

Abstract. The human gut microbiota is a complex ecosystem consisting of trillions of microorganisms that symbiotically inhabit the human gut. Through the production of a number of metabolites, they perform many important metabolic functions that complement mammalian enzyme activity and play an essential role in digestion. Interindividual variability in the structure of the microbiota and hence the expression of its genes (microbiome) has been largely explained by diet. Nutrition affects the composition and function of the microbiota with short- and long-term effects. Although an extensive number of studies are available, the molecular mechanisms underlying these effects still remain incompletely understood. In this article, we summarized and concretized the available data on the effects of diet on the composition of the gut microbiota. Nutrition has short- and long-term effects on microbial colonies, accomplishing a profound impact on human health. In fact, diet-induced changes in the microbiota are progressively associated not only with human physiology but also with chronic diseases, including obesity, immune, metabolic and inflammatory bowel diseases. The relationship between human health, gut microbiota and nutrition represents one of the most promising and challenging topics for researchers. Indeed, the microbiota is a dynamic community undergoing changes according to dietary habits throughout the human lifespan and has a great metabolic potential to act on pharmacological targets and bioactive compounds.

Keywords: intestinal microbiota, microbiome, dietary intake, health, eating habits.

Для цитирования

Ковалева Т.С., Крюкова О.Н., Ежова А.В., Яковлева С.Ф. Влияние рациона питания на состав кишечной микробиоты // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 51–58. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-51-58

For citation

Kovaleva T.S., Kryukova O.N., Ezhova A.V., Yakovleva S.F. Effect of dietary intake on the composition of the intestinal microbiota. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 51–58. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-51-58

Введение

Существует 10–100 триллионов микробов, которые живут в симбиозе с людьми, образуя экосистему из бактерий, вирусов, архей и грибов [1–3]. В совокупности эти микроскопические организмы образуют микробиоту человека, которая находится на коже, во рту, кишечнике и на других поверхностях слизистых оболочек. Аналогичным образом, термин «микробиом» относится и к генам, которые содержат эти клетки, число которых примерно в 100 раз больше, чем в геноме человека [4–7]. Компонент микробиоты, который представляет наибольший интерес исследователей – это желудочно-кишечный тракт, на сегодняшний день интенсивно изучаемый из-за его глубокой связи с различными аспектами развития и жизни индивида, такими как созревание иммунной системы, интеллектуальное развитие и возникновение различных патологий. Метагеномный анализ на основе последовательности всего генома и секвенирование гена 16S рРНК (рибонуклеиновая кислота) позволили установить богатство и разнообразие видов бактерий, а несколько вычислительных инструментов были использованы для описания и сравнения микробных сообществ [8–11].

Микробиота кишечника млекопитающих заметно отличается от других свободноживущих сообществ, не связанных со средой обитания животных, что свидетельствует о сильном избирательном воздействии на структуру микробиоты млекопитающих [12]. У людей доминирующими типами являются *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Actinobacteria*, *Proteobacteria*, *Fusobacteria* и *Verrucomicrobia*, причем два типа, *Firmicutes* и *Bacteroidetes*, – составляют 90% микробиоты кишечника [2, 13]. К типу *Firmicutes* относятся более 200 различных родов, включая *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Enterococcus* и *Ruminococcus*, к актинобактериям – род *Bifidobacteria*. Между тем, к типу протеобактерий относятся энтеробактерии (*Escherichia coli* и другие родственные виды).

Микробиота кишечника варьируется в зависимости от анатомических областей кишечника. У здоровых взрослых людей пищевод имеет лишь незначительное бактериальное загрязнение, а желудок практически стерилен при pH <3,0. Однако в некоторых ситуациях, как, например, в связи с очень частым использованием в настоящее время препаратов-ингибиторов протонной помпы (ИПП), наблюдается распространение *Helicobacter pylori*, энтерококка, стрептококка, стафилококка и потенциально патогенной кишечной палочки *Escherichia coli* [13]. В двенадцатиперстной кишке концентрация бактерий поддерживается на низком уровне благодаря бактерицидному действию желчи. Примерно в 50% случаев натошак эта концентрация

может незначительно снизиться. Флора состоит в основном из кишечной палочки и других энтеробактерий, энтерококков, стрептококков, стафилококков, лактобацилл и бифидобактерий. В подвздошной кишке концентрация повышается; наиболее распространены лактобациллы и бифидобактерии, появляются бактериоиды и клостридии. Толстый кишечник, характеризующийся медленной скоростью кровотока и pH от нейтрального до слабокислого, на сегодняшний день является местом обитания самого большого микробного сообщества, в котором преобладают облигатные анаэробные бактерии [3]. Хотя зрелая микробиота достаточно устойчива, ее богатство и состав могут варьироваться в зависимости от физиологических условий, в ответ как на внутренние, так и на внешние раздражители, в зависимости от возраста, этнической принадлежности, образа жизни, употребления наркотических веществ, режима питания, а также при ряде кишечных и внекишечных заболеваний [14–16].

Несмотря на вариабельность состава кишечной микробиоты, функциональные гены весьма схожи у разных индивидуумов, что было подчеркнуто серией исследований с участием очень больших популяций [5, 15]. Основные функции кишечной микробиоты включают центральные метаболические пути и пути, участвующие в важных функциях кишечника, включая метаболизм углеводов и аминокислот. Не все пути представлены в ядре, и группировка генов по широким функциональным категориям может маскировать значимые межиндивидуальные различия в функциях, которые происходят в более мелких масштабах. Различные функции, ограниченные видом или штаммом, включая островки патогенности, катаболизм витаминов и лекарственных препаратов, подвижность и перенос питательных веществ, являются значимыми целями для индивидуальных программ питания и терапевтических стратегий. Многие гены экспрессируются только при определенных условиях. Например, гены, участвующие в углеводном метаболизме и выработке энергии, выражены на более высоких уровнях, чем предсказывалось по данным метагенома, что подчеркивает важность этих процессов в кишечнике [17].

В западных странах за последние двадцать лет внимание исследователей было сосредоточено не на патогенных бактериях, а на микробиоте внешне здоровых людей, поскольку к настоящему времени стало ясно, что правильное функционирование кишечной системы, удаление токсичных веществ и правильное использование питательных веществ зависят от кишечной микробиоты. Более того, наличие оси кишечник – мозг определяет благополучие организма в целом [18].

Влияние рациона питания на микробиоту кишечника человека

Питание оказывает краткосрочные и долгосрочные влияния на микробные колонии, совершая глубокое воздействие на здоровье человека. Фактически изменения микробиоты, вызванные питанием, постепенно ассоциируются не только с физиологией человека, но и с хроническими заболеваниями, включая ожирение, иммунные, метаболические и воспалительные заболевания кишечника [19–21]. Вышеуказанные изменения могли бы частично объяснить и предсказать межиндивидуальную изменчивость реакции на питание [22]. В настоящее время взаимодействие рациона питания и микробиоты начинает рассматриваться с целью построения индивидуальных режимов питания для лечения и профилактики некоторых расстройств или, проще говоря, для обеспечения здорового образа жизни [23].

Взаимодействие рациона питания с микробиотой человека возникает при рождении, когда младенцам вводят олигосахариды грудного молока [24]. Было обнаружено, что энтеробактерии появляются в первые месяцы жизни (3–14 месяцев), еще ранее – у младенцев, находящихся на искусственном вскармливании, и остаются до 3–4-летнего возраста [25]. Аналогичным образом, *Bifidobacterium* более многочисленны в микробиоте кишечника детей, чем у взрослых, и могут постепенно уменьшаться в зрелом возрасте [26]. В Африке, где детей часто преждевременно отлучают от груди, детская микробиота очень похожа на микробиоту взрослых, рацион которых, как известно, беден животным белком. В течение первых нескольких лет микробиота кишечника влияет на созревание иммунной системы, усвоение питательных веществ и метаболизм, а также предотвращает колонизацию патогенами [26]. На протяжении всей жизни разнообразие микробиоты существенно увеличивается при введении твердой пищи, в то время как с возрастом оно, напротив, снижается, главным образом у пациентов, находящихся на длительном лечении, с выраженной слабостью и сопутствующими заболеваниями, вероятно, из-за уменьшения разнообразия рациона. Кроме того, среди пожилых людей наблюдалась большая вариабельность состава микробиоты, что делает его эффективным биомаркером старения [27–29].

Питательные вещества могут непосредственно влиять на микробиоту кишечника, стимулируя или ингибируя рост микроорганизмов, косвенно влияющих на метаболизм человека и

его иммунную систему (таблица 1) или пассивно присоединяя к микробиоте определенных представителей, получаемых из пищи, таких как грибы *Candida*, *Penicillium* и бактерии, продуцирующие молочную кислоту [30,31]. Сообщалось, что потребление макронутриентов может изменить структуру микробиоты в течение дня, демонстрируя тем самым, что она способна очень быстро реагировать на пищевые вмешательства. Однако эта реакция оказалась временной, поскольку вызванные питанием микробные изменения исчезают сразу после прекращения приема пищи [21, 32, 33]. В этом контексте фундаментальную роль играют не только сроки приема пищи и компоненты, но и циркадные колебания микробиома кишечника и пищевые привычки [34–37]. В экспериментах по неограниченному высокожировому питанию мышей выявилось, что отсутствие суточных колебаний относительной численности *Bacteroidetes* и *Firmicutes* и доступ к пище с высоким содержанием жиров в темную фазу лишь частично восстанавливают микробные колебания [34, 36]. Более того, ограничение питания либо светлой фазой, либо темной фазой спасает от флуктуаций микробного состава кишечника мышей с нокаутом *Per1* и *Per2*, отражая, таким образом, зависящий от времени метаболический профиль и своевременную доступность питательных веществ для бактерий [38]. В нескольких исследованиях сообщалось, что обычное питание оказывает большее влияние на микробиоту кишечника, чем стратегии острого приема пищи. Эффективным примером являются различия в составе микробиоты между африканскими детьми из деревни Burkina Faso, где преобладает рацион с высоким содержанием клетчатки, и городскими европейскими детьми, которые питаются по западному образцу, богатому животными белками / жирами. Африканцы продемонстрировали обогащение *Bacteroidetes* и истощение *Firmicutes* с уникальным избытком бактерий из рода *Prevotella* и *Xylanibacter*, содержащих гены, гидролизующие целлюлозы и ксиланы, полностью отсутствующие у европейцев. Кроме того, энтеробактерии (*Shigella* и *Escherichia*) были значительно «недопредставлены» у африканцев. Эти данные свидетельствуют о том, что микробиота кишечника развивалась параллельно с обогащенным полисахаридами рационом питания африканцев, позволяя им получать максимальную энергию из клетчатки [39].

Структурные и когортные исследования также сообщили о влиянии питания на микробиоту в зависимости от географической локализации, урбанизации и сезонного цикла [40, 41].

Обзор отдельных родов и видов бактерий кишечника, на которые обычно влияет рацион питания

Таблица 1.

Table 1.

An overview of the individual genera and species of gut bacteria that are commonly affected by diet

Бактерии Bacteria	Основные характеристики Main characteristics	Сопутствующие физиологические изменения Associated physiological changes	Сопутствующие болезненные состояния Associated painful conditions
1	2	3	4
<i>Bifidobacterium spp.</i>	Грамположительный облигатный анаэроб, разветвленный, неподвижный Gram-positive obligate anaerobe, branched, immobile	Выработка короткоцепочечных жирных кислот (КЦЖК), улучшение барьера слизистой оболочки кишечника, снижение уровня кишечного липополисахарида (ЛПС) Production of short-chain fatty acids (SCFAs), improvement of intestinal mucosal barrier, reduction of intestinal lipopolysaccharide (LPS) levels	Снижение распространенности ожирения Reducing the prevalence of obesity
<i>Lactobacillus spp.</i>	Грамположительный факультативный анаэроб палочковидной формы Gram-positive facultative anaerobe, bacilliform, variable motility	Производство КЦЖК, противовоспалительная и противоопухолевая активности SCFAs production, anti-inflammatory and antitumor activities	Уменьшение воспалительных заболеваний кишечника (ВЗК) Decrease in inflammatory bowel disease (IBD)
<i>Bacteroides spp.</i>	Грамотрицательный облигатный анаэроб палочковидной формы, изменчивой подвижности Gram-negative obligate anaerobe, bacilliform, variable motility	Активация CD4 + T -клеток: клеток иммунной системы, которые еще не встречались с антигеном (любое вещество или микроорганизм, которые организм рассматривает как чужеродное или потенциально опасное) Activation of CD4+ T cells: immune system cells that have not yet encountered an antigen (any substance or microorganism that the body views as foreign or potentially harmful)	Повышение распространенности ВЗК Increased prevalence of IBD
<i>Alistipes spp.</i>	Грамотрицательный облигатный анаэроб палочковидной формы, устойчивый к желчи и продуцирующий пигмент Gram-negative obligate bacilliform anaerobe, resistant to bile and producing pigment		Обнаружен в тканях при остром аппендиците, периректальных абсцессах и абсцессах головного мозга Found in tissues from acute appendicitis, perirectal abscesses and brain abscesses
<i>Bilophila spp.</i>	Грамотрицательный облигатный анаэроб, положительный к уреазе, резистентный к желчи, положительный к каталазе Gram-negative obligate anaerobe, urease positive, bile resistant, catalase positive	Способствует развитию провоспалительного иммунитета Th1 (вида Т-клеток, которые выполняют функции регулирования процессов работы других клеток иммунной системы) Promotes Th1 pro-inflammatory immunity (a type of T-cell that functions to regulate the processes of other immune system cells)	<i>Bilophila wadsworthia</i> наблюдается при колите, перфоративном и гангренозном аппендиците, абсцессах печени и мягких тканей, холецистите, эмпиеме, остеомиелите и др. <i>Bilophila wadsworthia</i> is seen in colitis, perforative and gangrenous appendicitis, liver and soft tissue abscesses, cholecystitis, empyema, osteomyelitis, etc.
<i>Clostridium spp.</i>	Грамположительный облигатный анаэроб палочковидной формы, спорообразующий Gram-positive obligate anaerobe, bacilliform, spore-forming	Способствует выработке Th17-клеток (являются важнейшими участниками борьбы с внеклеточными паразитами и играют ключевую роль в течении ряда патологий) Promotes the production of Th17 cells (they are the most important participants in the fight against extracellular parasites and play a key role in the course of a number of pathologies).	Некоторые виды являются патогенными, вызывая столбняк, ботулизм, газовую гангрену или псевдомембранозный колит Some species are pathogenic, causing tetanus, botulism, gas gangrene or pseudomembranous colitis
<i>Roseburia spp.</i>	Грамположительный облигатный анаэроб изогнутой палочковидной формы, подвижный Gram-positive obligate anaerobe, curved bacilliform, motile	Производство КЦЖК Production of SCFAs	Снижение распространенности ВЗК Reducing the prevalence of IBD

Продолжение таблицы 1 | Continuation of table 1

1	2	3	4
<i>Eubacterium spp.</i>	Грамположительный облигатный анаэроб палочковидной формы Gram-positive obligate bacilliform anaerobe, spore-forming	Производство КЦЖК, образует полезные фенольные кислоты Production of SCFAs, forms beneficial phenolic acids	Снижение распространенности ВЗК Decrease in the prevalence of IBD
<i>Enterococcus spp.</i>	Грамположительные факультативно-анаэробные кокки Gram-positive facultative anaerobic cocci		Несколько видов являются патогенами, вызывающими инфекции мочевыводящих путей (ИМП), эндокардит или бактериемию Several species are pathogens causing urinary tract infections (UTIs), endocarditis or bacteremia
<i>Faecalibacterium prausnitzii</i>	Грамположительный облигатный анаэроб палочковидной формы, неподвижный Gram-positive obligate bacilliform anaerobe, immobile	Производство КЦЖК, противовоспалительные эффекты SCFAs production, anti-inflammatory effects	Снижение распространенности ВЗК и ожирения Reducing the prevalence of IBD and obesity
<i>Akkermansia muciniphila</i>	Грамотрицательный облигатный анаэроб овальной формы, неподвижный Gram-negative obligate anaerobe oval-shaped, immobile	Противовоспалительные эффекты Anti-inflammatory effects	Снижение распространенности ВЗК, ожирения и псориатического артрита Decreased prevalence of IBD, obesity and psoriatic arthritis
<i>Escherichia coli</i>	Грамотрицательный факультативный анаэроб палочковидной формы Gram-negative facultative anaerobe, bacilliform, immobile	Активация толл-подобных рецепторов (класса клеточных рецепторов с одним трансмембранным фрагментом, которые распознают консервативные структуры микроорганизмов и активируют клеточный иммунный ответ) Activation of toll-like receptors (a class of cellular receptors with a single transmembrane fragment that recognize conserved microbial structures and activate the cellular immune response)	Повышение распространенности ВЗК при гастроэнтерите, ИМП и менингите Increased prevalence of IBD with gastroenteritis, UTIs, and meningitis
<i>Helicobacter pylori</i>	Грамотрицательные микроаэрофильные спиралевидные, подвижные Gram-negative microaerophilic, spiral-shaped, motile		Гастрит, язва, лимфома желудка Gastritis, ulcer, gastric lymphoma
<i>Streptococcus spp.</i>	Грамположительные факультативно-анаэробные кокки Gram-positive facultative anaerobic cocci		Некоторые виды являются патогенными, вызывая менингит, пневмонию и эндокардит Some species are pathogenic, causing meningitis, pneumonia, and endocarditis

В широком спектре исследований в области питания сообщалось о влиянии на состав и функцию микробиоты кишечника микро- и макронутриентов, таких как углеводы, новые пищевые компоненты, пищевые добавки, а также рационов питания с высоким содержанием жира/ клетчатки; с низким содержанием жира/клетчатки; с высоким содержанием клетчатки; с высоким или низким содержанием белков, фруктов и овощей [20–23, 42]. Расщепление углеводов является предпочтительным источником энергии для кишечной микробиоты, количество углеводного питания зависит от многих факторов, таких как размер порции, химическая структура, пищевая матрица и способ приготовления, форма пищи, скорость переваривания, кишечный транзит, наличие ингибиторов ферментов (например, дубильных веществ) [43]. Некоторые виды бактерий связаны с потреблением углеводов, о чем свидетельствует тот факт, что низкое содержание углеводов приводит к прогрессирующему снижению количества бифидобактерий у лиц, страдающих ожирением [44]. Употребление витамина D у людей было связано со снижением уровня циркулирующего бактериального липополисахарида и обилием копрококков и бифидобактерий, а также с увеличением количества *Prevotella* [22, 45]. Добавление к рациону питания Омега-3 полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) вызывает снижение *Faecalibacterium*, часто ассоциируется с увеличением *Bacteroidetes* и продуцирующих бутират бактерий, принадлежащих к семейству *Lachnospiraceae*, а также с увеличением выработки противовоспалительных соединений, таких как короткоцепочечные жирные кислоты [46]. Пищевые белки служат основным источником азота для роста колоний микроорганизмов в толстой кишке, необходимы для усвоения углеводов бактериями и производства полезных продуктов, включая короткоцепочечные жирные кислоты. Кетогенная диета изменяет таксоны бактерий, их богатство и разнообразие, тем самым оказывая нейтропротекторное действие, влияет на потерю веса, увеличивая продолжительность жизни и уменьшая возникновение различных заболеваний [47]. Диета с высоким содержанием жиров у здоровых людей связана с повышением и снижением уровней *Alistipes*, *Bacteroidetes* и *Faecalibacterium* соответственно, а также с изменениями, связанными с сердечно-сосудистыми и метаболическими заболеваниями [23].

Средиземноморская диета преимущественно ассоциируется с низким соотношением *Firmicutes*: *Bacteroidetes* и с высокой выработкой короткоцепочечных жирных кислот [48]. У веганов и вегетарианцев значительно выше количество определенных таксономических

единиц, связанных с *Bacteroidetes*, по сравнению со всеядными [49]. Клетчатка более последовательно увеличивает количество молочнокислых бактерий, таких как *Ruminococcus*, *E. rectale* и *Roseburia*, и уменьшает численность видов *Clostridium* и *Enterococcus*. В частности, было обнаружено, что диета на основе цельнозерновой пшеницы в течение 12 недель повышала уровень пропионата в плазме крови натошак, что было связано с низкими концентрациями инсулина после приема пищи [50]. Несколько исследований продемонстрировали увеличение разнообразия и / или изобилия микробиоты после употребления цельнозерновых волокон с эффектом от 24 ч до 52 недель [51,52]. У крыс с ожирением добавление к питанию рисовых отрубей, обогащенных гамма-аминомасляной кислотой (ГАМК), способствовало увеличению массы тела и резистентности к инсулину, вызванные диетой с высоким содержанием жиров, а также нарушением энергетического обмена. Питание, содержащее обогащенные ГАМК рисовые отруби, стимулировало выработку бутирата и пропионата, способствуя развитию *Anaerostipes*, *Anaerostipes* sp. [53]. Полифенолы, содержащиеся в основном во фруктах, овощах, злаках, увеличивают количество бифидо- и лактобацилл, обеспечивая таким образом антипатогенный и противовоспалительный эффекты и защиту сердечно-сосудистой системы [22, 23, 54]. Наконец, нездоровая пища или, в любом случае, продукты промышленного производства, богатые консервантами, добавками, сахарами и солью, но бедные растворимой и нерастворимой клетчаткой, негативно влияют на микробиоту [22, 55, 56].

Заключение

Взаимосвязь между здоровьем человека, кишечной микробиотой и питанием представляет собой одну из наиболее перспективных и сложных тем для исследователей. Действительно, микробиота представляет собой динамичное сообщество, претерпевающее изменения в соответствии с пищевыми привычками на протяжении всей жизни человека и обладает большим метаболическим потенциалом, способным взаимодействовать на фармакологические мишени и биологически активные соединения.

Достоверные и уникальные биомаркеры здоровой микробиоты все еще не идентифицированы. Действительно, общепринятое во всем мире определение «модели здоровой микробиоты», которое связывает всю информацию о структуре микробиоты, факторах окружающей среды, рационе питания человека и метаболизме, все еще отсутствует. В будущих исследованиях следует рассмотреть эффективность и применение нескольких подходов, включая потенциальные

эффекты трансплантации пребиотиков, пробиотиков, метабиотиков и фекальной микробиоты. Однако, несмотря на заманчивость, перспективность вышеуказанных подходов все еще ограничена пробелами в литературе, которые еще не углубили причинно-следственные связи

между микробиотой кишечника и заболеваниями на молекулярном уровне и не подтвердили их безопасность, поскольку они могут оказывать как полезные, так и негативные эффекты в зависимости от клинического контекста и индивидуальных различий.

References

- 1 Sommer F., Bäckhed F. The gut microbiota – masters of host development and physiology. *Nat. Rev. Genet.* 2013. vol. 11. pp. 227–238.
- 2 Hollister E.B., Gao C., Versalovic J. Compositional and functional features of the gastrointestinal microbiome and their effects on human health. *Gastroenterol.* 2014. vol. 146. pp. 1449–1458.
- 3 Thursby E., Juge N. Introduction to the human gut microbiota. *Biochem. J.* 2017. vol. 474. pp. 1823–1836.
- 4 Qin J., Li R., Raes J., Arumugam M. et al. A human gut microbial gene catalogue established by metagenomic sequencing. *Nature* 2010. vol. 464. pp. 59–65.
- 5 Huttenhower C., Gevers D., Knight R. et al. The Human Microbiome Project Consortium. Structure, function and diversity of the healthy human microbiome. *Nature*. 2012. vol. 486. pp. 207–214.
- 6 Ursell L.K., Metcalf J.L., Parfrey L.W., Knight R. Defining the human microbiome. *Nutr. Rev.* 2012. vol. 70. pp. S38–S44.
- 7 Heintz-Buschart A., Wilmes P. Human Gut Microbiome: Function Matters. *Trends Microbiol.* 2018. vol. 26. pp. 563–574.
- 8 Andersson A.F., Lindberg M., Jakobsson H., Bäckhed F. et al. Comparative Analysis of Human Gut Microbiota by Barcoded Pyrosequencing. *PLOS ONE*. 2008. no. 3. pp. e2836.
- 9 Schloss P.D., Westcott S.L., Ryabin T., Hall J.R. et al. Introducing mothur: Open-Source, Platform-Independent, Community-Supported Software for Describing and Comparing Microbial Communities. *Appl. Environ. Microbiol.* 2009. vol. 75. pp. 7537–7541.
- 10 Hartman A.L., Riddle S., McPhillips T., Ludäscher B. et al. Introducing W.A.T.E.R.S.: A Workflow for the Alignment, Taxonomy, and Ecology of Ribosomal Sequences. *BMC Bioinform.* 2010. vol. 11. pp. 317.
- 11 Caporaso J.G., Kuczynski J., Stombaugh J., Bittinger K. et al. QIIME allows analysis of high-throughput community sequencing data. *Nat. Methods*. 2010. vol. 7. pp. 335–336.
- 12 Ley R.E., Lozupone C.A., Hamady M., Knight R. et al. Worlds within worlds: Evolution of the vertebrate gut microbiota. *Nat. Rev. Genet.* 2008. vol. 6. pp. 776–788.
- 13 Rinninella E., Raoul P., Cintoni M., Franceschi F. et al. What is the Healthy Gut Microbiota Composition? A Changing Ecosystem across Age, Environment, Diet, and Diseases. *Microorganisms*. 2019. vol. 7. no. 14.
- 14 Sekirov I., Russell S.L., Antunes L.C.M., Finlay B.B. Gut Microbiota in Health and Disease. *Physiol. Rev.* 2010. vol. 90. pp. 859–904.
- 15 Ehrlich S.D. The MetaHIT Consortium MetaHIT: The European Union Project on Metagenomics of the Human Intestinal Tract. *Metagenomics Hum. Body*. 2010. vol. 15. pp. 307–316.
- 16 Le Chatelier E., Nielsen T., Qin J., Prifti E. et al. Richness of human gut microbiota correlates with metabolic markers. *Nature*. 2013. vol. 500. pp. 541–546.
- 17 Lozupone C.A., Jesse I., Stombaugh J.I., Gordon J.I. et al. Diversity, stability and resilience of the human gut microbiota. *Nature*. 2012. vol. 489. pp. 220–230.
- 18 Osadchiy V., Martin C.R., Mayer E.A. The Gut–Brain Axis and the Microbiome: Mechanisms and Clinical Implications. *Clin. Gastroenterol. Hepatol.* 2019. vol. 17. pp. 322–332.
- 19 Flint H.J., Duncan S.H., Scott K.P., Louis P. Links between diet, gut microbiota composition and gut metabolism. *Proc. Nutr. Soc.* 2014. vol. 74. pp. 13–22.
- 20 Gentile C.L., Weir T.L. The gut microbiota at the intersection of diet and human health. *Science*. 2018. vol. 362. pp. 776–780.
- 21 Leeming E., Johnson A.J., Spector T.D., Le Roy C.I. et al. Effect of Diet on the Gut Microbiota: Rethinking Intervention Duration. *Nutrients*. 2019. vol. 11. pp. 2862.
- 22 Zmora N., Suez J., Elinav E. You are what you eat: Diet, health and the gut microbiota. *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.* 2018. vol. 16. pp. 35–56.
- 23 Kolodziejczyk A.A., Zheng D., Elinav E. Diet–microbiota interactions and personalized nutrition. *Nat. Rev. Genet.* 2019. vol. 17. pp. 742–753.
- 24 Charbonneau M.R., O'Donnell D., Blanton L.V., Totten S.M. et al. Sialylated Milk Oligosaccharides Promote Microbiota-Dependent Growth in Models of Infant Undernutrition. *Cell*. 2016. vol. 164. pp. 859–871.
- 25 Milani C., Duranti S., Bottacini F., Casey E. et al. The First Microbial Colonizers of the Human Gut: Composition, Activities, and Health Implications of the Infant Gut Microbiota. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 2017. vol. 81. pp. e00036–e00117.
- 26 Derrien M., Alvarez A.-S., De Vos W.M. The Gut Microbiota in the First Decade of Life. *Trends Microbiol.* 2019. vol. 27. pp. 997–1010.
- 27 Claesson M.J., Jeffery I.B., Conde S., Power S.E. et al. Gut microbiota composition correlates with diet and health in the elderly. *Nature*. 2012. vol. 488. pp. 178–184.
- 28 García-Peña C., Álvarez-Cisneros T., Quiroz-Baez R., Friedland R.P. Microbiota and Aging. A Review and Commentary. *Arch. Med Res.* 2017. vol. 48. pp. 681–689.
- 29 Casati M., Ferri E., Azzolino D., Cesari M., Arosio B. Gut microbiota and physical frailty through the mediation of sarcopenia. *Exp. Gerontol.* 2019. vol. 124. pp. 110639.
- 30 A Segre J. Microbial growth dynamics and human disease. *Science* 2015, 349, 1058–1059.
- 31 David L., Materna A.C., Friedman J., Campos-Baptista M.I. et al. Host lifestyle affects human microbiota on daily timescales. *Genome Biol.* 2014. vol. 15. pp. R89.
- 32 David L.A., Maurice C.F., Carmody R.N., Gootenberg D. et al. Diet rapidly and reproducibly alters the human gut microbiome. *Nature*. 2013. vol. 505. pp. 559–563.
- 33 Zarrinpar A., Chaix A., Yooseph S., Panda S. Diet and feeding pattern affect the diurnal dynamics of the gut microbiome. *Cell Metab.* 2014. vol. 20. pp. 1006–1017.
- 34 Thaïs, C.A.; Zeevi, D.; Levy, M.; Segal, E.; Elinav, E. A day in the life of the meta-organism: Diurnal rhythms of the intestinal microbiome and its host. *Gut Microbes*. 2015. vol. 6. pp. 137–142.
- 35 Liang X., Fitzgerald G.A. Timing the Microbes: The Circadian Rhythm of the Gut Microbiome. *J. Biol. Rhythm.* 2017. vol. 32. pp. 505–515.

- 36 Kaczmarek J.L., Musaad S.M., Holscher H. Time of day and eating behaviors are associated with the composition and function of the human gastrointestinal microbiota. *Am. J. Clin. Nutr.* 2017. vol. 106. no. 5. pp. 1220-1231.
- 37 Kaczmarek J.L., Thompson S.V., Holscher H. Complex interactions of circadian rhythms, eating behaviors, and the gastrointestinal microbiota and their potential impact on health. *Nutr. Rev.* 2017. vol. 75. pp. 673-682.
- 38 De Filippo C., Cavalieri D., Di Paola M., Ramazzotti M. et al. Impact of diet in shaping gut microbiota revealed by a comparative study in children from Europe and rural Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2010. vol. 107. pp. 14691-14696.
- 39 Gupta V.K., Paul S., Dutta C. Geography, Ethnicity or Subsistence-Specific Variations in Human Microbiome Composition and Diversity. *Front. Microbiol.* 2017. vol. 8. pp. 1162.
- 40 Zuo T., Kamm M.A., Colombel J.-F., Ng S.C. Urbanization and the gut microbiota in health and inflammatory bowel disease. *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.* 2018. vol. 15. pp. 440-452.
- 41 Fragiadakis G.K., Smits S.A., Sonnenburg E.D., Van Treuren W. et al. Links between environment, diet, and the hunter-gatherer microbiome. *Gut Microbes*. 2018. vol. 10. pp. 216-227.
- 42 Markowiak P., Slizewska K. Effects of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics on Human Health. *Nutrients*. 2017. vol. 9. pp. 1021.
- 43 Wilson K., Situ C. Systematic Review on Effects of Diet on Gut Microbiota in Relation to Metabolic Syndromes. *J. Clin. Nutr. Metab.* 2017. vol. 1. no. 2.
- 44 Hold G., Schwierz A., Aminov R., Blaut M. et al. Oligonucleotide Probes That Detect Quantitatively Significant Groups of Butyrate-Producing Bacteria in Human Feces. *Appl. Environ. Microbiol.* 2003. vol. 69. pp. 4320-4324.
- 45 Luthold R.V., Fernandes G.D.R., De Moraes A., Folchetti L.G. et al. Gut microbiota interactions with the immunomodulatory role of vitamin D in normal individuals. *Metabolism*. 2017. vol. 69. pp. 76-86.
- 46 Costantini L., Molinari R., Farinon B., Merendino N. Impact of Omega-3 Fatty Acids on the Gut Microbiota. *Int. J. Mol. Sci.* 2017. vol. 18. pp. 2645.
- 47 Paoli A., Mancin L., Bianco A., Thomas E. Ketogenic Diet and Microbiota: Friends or Enemies? *Genes*. 2019. vol. 10. pp. 534.
- 48 De Filippis F., Pellegrini N., Vannini L., Jeffery I.B. et al. High-level adherence to a Mediterranean diet beneficially impacts the gut microbiota and associated metabolome. *Gut*. 2015. vol. 65. pp. 1812-1821.
- 49 Tomova A., Bukovsky I., Rembert E., Yonas W. The Effects of Vegetarian and Vegan Diets on Gut Microbiota. *Front. Nutr.* 2019. vol. 6. pp. 47.
- 50 Vetrani C., Costabile G., Luongo D., Naviglio D. et al. Effects of whole-grain cereal foods on plasma short chain fatty acid concentrations in individuals with the metabolic syndrome. *Nutrients*. 2016. vol. 32. pp. 217-221.
- 51 Kovatcheva-Datchary P., Nilsson A.C., Akrami R., Lee Y.S. Dietary Fiber-Induced Improvement in Glucose Metabolism Is Associated with Increased Abundance of *Prevotella*. *Cell Metab.* 2015. vol. 22. pp. 971-982.
- 52 Jefferson A., Adolphus K. The Effects of Intact Cereal Grain Fibers, Including Wheat Bran on the Gut Microbiota Composition of Healthy Adults: A Systematic Review. *Front. Nutr.* 2019. vol. 6. no. 33.
- 53 Si X., Shang W., Zhou Z., Shui G. et al. Gamma-aminobutyric Acid Enriched Rice Bran Diet Attenuates Insulin Resistance and Balances Energy Expenditure via Modification of Gut Microbiota and Short-Chain Fatty Acids. *J. Agric. Food Chem.* 2018. vol. 66. pp. 881-890.
- 54 Rinninella E., Cintoni M., Raoul P., Lopetuso L.R. et al. Food Components and Dietary Habits: Keys for a Healthy Gut Microbiota Composition. *Nutrients*. 2019. vol. 11. pp. 2393.
- 55 Chassaing B., Koren O., Goodrich J.K., Poole A. et al. Dietary emulsifiers impact the mouse gut microbiota promoting colitis and metabolic syndrome. *Nature*. 2015. vol. 519. pp. 92-96.
- 56 Laudisi F., Stolfi C., Monteleone G. Impact of Food Additives on Gut Homeostasis. *Nutrients*. 2019. vol. 11. pp. 2334.

Сведения об авторах

Татьяна С. Ковалева к.т.н., старший преподаватель, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tanyakova2501@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3531-3811>

Ольга Н. Крюкова к.п.н., кафедра физической культуры и спорта, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ol.cok.3@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3955-5287>

Алла В. Ежова к.п.н., доцент, кафедра теории и методики спортивных игр, Воронежская государственная академия спорта, ул. Карла Маркса, 59, г. Воронеж, Россия, gonav@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6889-6451>

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.), senior lecturer, technologies of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, tanyakova2501@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3531-3811>

Olga N. Kryukova Cand. Sci. (Ped.), physical education and sport department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ol.cok.3@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3955-5287>

Alla V. Ezhova Cand. Sci. (Ped.), associate professor, theory and methodology of sports games department, Voronezh State Academy of Sports, st. Karla Marksa, 59, Voronezh, Russia, gonav@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6889-6451>

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 10/07/2024	После редакции 02/08/2024	Принята в печать 21/08/2024
Received 10/07/2024	Accepted in revised 02/08/2024	Accepted 21/08/2024

Квалиметрическое прогнозирование качества мучных блюд с использованием растительных заменителей молока

Светлана М. Корпачева ¹	korpacheva@corp.nstu.ru	 0000-0001-8005-4364
Ольга В. Рогова ¹	rogova@corp.nstu.ru	 0000-0001-5553-6249
Святослав Д. Антипин ¹	antipin.svyatoslav@inbox.ru	 0009-0008-0757-4564

¹ Новосибирский государственный технический университет, пр. К. Маркса 20, Новосибирск, 630073, Россия

Аннотация. Мучные блюда имеют простую технологию производства и пользуются спросом у различных групп населения. Для прогнозирования качества мучных блюд с использованием растительных заменителей молока разработана квалиметрическая модель. Данный инструмент оценки качества продукции предоставляет возможность измерить в числовой форме достигнутый результат, учитывая характеристики и свойства продукта, а также обосновать результаты объективностью анализируемых параметров, так как они поддаются точной количественной оценке объективными инструментальными методами исследования. Целью представленного в работе исследования является разработка модели квалиметрического прогнозирования и оценки качества пищевой продукции на примере мучных блюд с использованием растительных заменителей молока. Актуальность применения растительных заменителей молока в рецептуре мучных блюд определяется следующими причинами: непереносимость лактозы у потребителей, религиозные посты и ограничения. Растительные заменители молока имеют мягкий и нежный вкус, который позволяет использовать их в различных блюдах, не перебивая другие вкусы, они легко усваиваются организмом благодаря своему натуральному составу и отсутствию холестерина, что делает их идеальным выбором для людей, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями. При формировании качества мучных блюд с растительными заменителями молока учитывается 9 показателей потребительских предпочтений и 7 измеряемых показателей. Так же проведено сравнение с 3 аналогами и подобраны целевые значения количественно измеряемых показателей и единицы измерения. Результаты настоящего исследования можно использовать для оценки качества мучных блюд с использованием растительных аналогов молока. Это предоставит возможность пополнить ассортимент пищевой продукции на рынке Российской Федерации, обеспечить её качество, конкурентоспособность и безопасность для потребителей.

Ключевые слова: мучные блюда, растительное молоко, квалиметрическая модель, потребительские свойства, показатель качества.

Improving the quality of flour dishes using vegetable milk analogues based on the development of a qualimetric model

Svetlana M. Korpacheva ¹	korpacheva@corp.nstu.ru	 0000-0001-8005-4364
Olga V. Rogova ¹	rogova@corp.nstu.ru	 0000-0001-5553-6249
Svyatoslav D. Antipin ¹	antipin.svyatoslav@inbox.ru	 0009-0008-0757-4564

¹ Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Ave., Novosibirsk, 630073, Russia

Abstract. Flour dishes have a simple production technology and are in demand among various groups of the population. A qualimetric model has been developed to predict the quality of flour dishes using vegetable milk substitutes. This product quality assessment tool provides an opportunity to measure the achieved result in numerical form, taking into account the characteristics and properties of the product, as well as to justify the results by the objectivity of the analyzed parameters, since they can be accurately quantified by objective instrumental research methods. The purpose of the research presented in this paper is to develop a model of qualimetric forecasting and assessment of food quality on the example of flour dishes using vegetable milk substitutes. The relevance of using plant-based milk substitutes in the recipe of flour dishes is determined by the following reasons: lactose intolerance among consumers, religious fasts and restrictions. Plant-based milk substitutes have a soft and delicate taste; they are easily absorbed by the body due to their natural composition and the absence of cholesterol. This makes them an ideal choice for people suffering from cardiovascular diseases. When forming the quality of flour dishes with vegetable milk substitutes, 9 indicators of consumer preferences and 7 measured indicators are taken into account. A comparison was also made with 3 analogues and target values of quantitatively measured indicators and units of measurement were selected. The results of this study will presumably be able to be used to assess the quality of flour dishes using vegetable analogues of milk. This will provide an opportunity to replenish the range of food products on the market of the Russian Federation, to ensure its quality, competitiveness and safety for consumers.

Keywords: flour dishes, plant milk, qualimetric model, consumer properties, quality indicator.

Для цитирования

Корпачева С.М., Рогова О.В., Антипин С.Д. Квалиметрическое прогнозирование качества мучных блюд с использованием растительных заменителей молока // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 59–66. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-59-66

For citation

Korpacheva S.M., Rogova O.V. Antipin S.D. Improving the quality of flour dishes using vegetable milk analogues based on the development of a qualimetric model. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 59–66. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-59-66

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

Введение

Согласно данным Института иммунологии Федерального медико-биологического агентства, непереносимость некоторых продуктов отмечается у 65% страдающих аллергическими заболеваниями, а 16–18% всех людей на планете страдают непереносимостью лактозы и других животных белков. Аллергия на животный белок – явление довольно часто встречающееся, проявляющееся в виде реакции на молочные продукты. Потребители все чаще отдают предпочтение растительным заменителям молока ввиду непереносимости лактозы, влиянии религиозных постов и ограничений.

Растительные заменители молока имеют мягкий и нежный вкус, который позволяет использовать их в различных блюдах, не перебивая другие вкусы. Кроме того, они легко усваиваются организмом благодаря своему натуральному составу и отсутствием холестерина, что делает их идеальным выбором для людей, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями.

Растительная замена молока – это выжимка из орехов, различных злаковых культур или смеси из семян и воды, которую при производстве промышленным способом могут обогатить поваренной солью, сахаром-рафинадом, разнообразными растительными маслами (в том числе и из экзотического сырья) и широким спектром добавок с ярко выраженным ароматом, например корицей или ванилью.

Наиболее часто встречающиеся растительные заменители молока: миндальное, соевое, овсяное, рисовое, кокосовое, из фундука, кешью, кунжута, кедровых орехов. Данные растительные заменители молока согласно источникам [1–4] богаты пищевыми волокнами, минералами и витаминами. Внешний вид отдельных видов растительных заменителей молока представлен на рисунке 1.

Растительные заменители молока, по сравнению с коровьим молоком имеют более продолжительный срок годности. При промышленном производстве растительных заменителей молока используется упаковка, соответствующая требованиям [5].

Использование растительных заменителей молока в кулинарии может быть великолепным выбором для людей, которые уделяют внимание своему здоровью и употребляют полезную, экологически чистую пищу. Молоко подходит для использования в различных блюдах, таких как супы, соусы, запеканки, каши, вегетарианские и веганские блюда, поскольку не содержит продуктов животного происхождения.



Рисунок 1. Отдельные виды растительных заменителей молока

Figure 1. Certain types of vegetable milk substitutes

Поэтому разработка современного ассортимента мучных блюд на основе продуктов, не содержащих молочного сахара (лактозы) может стать дополнением к рациону людей, страдающих аллергией, число которых с каждым годом в России возрастает.

Прогнозирование качества мучных блюд с помощью квалитметрии может помочь в разработке новых видов мучных блюд на основе растительных заменителей молока, а также для оптимизации их рецептур. Отсутствие лактозы в подобных мучных блюдах делает их привлекательными для потребителей с непереносимостью лактозы, вегетарианцев и веганов.

Качество в квалитметрии – это совокупность свойств продукта; каждый из них может получить разную значимость в общей оценке в зависимости от товарной группы и социальной значимости. Таким образом, квалитметрическая оценка качества конкретного объекта (продукции) направлена на поиск подхода к построению «дерева свойств», то есть определение интегрального показателя качества через формирование ансамбля и структуры отдельных свойств и его характеристик.

Критически важное значение имеет проектирование качества мучных блюд, поэтому целью исследования является разработка квалитметрической модели мучных блюд, в приготовлении которых используются растительные заменители молока.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. определить комплекс показателей, характеризующих качество мучных блюд, в приготовлении которых используются растительные заменители молока;
2. определить требования потребителей к подобным мучным блюдам и произвести ранжирование этих требований по важности;
3. построить матрицу взаимосвязи и оценить сложности реализации требований к качеству мучных блюд, в приготовлении которых используются растительные заменители молока;

4. построить матрицу «Дом качества мучных блюд, в приготовлении которых используются растительные заменители молока».

Материалы и методы

Объектом исследования являются мучные блюда, в приготовлении которых использовались растительные заменители молока.

Методы исследования: методология построения матрицы «Дома качества», состоящая из нескольких этапов:

1. выявление потребительских предпочтений и их ранжирование по результатам проводимого опроса;

2. определение измеряемых технологических показателей качества и вычисление их взаимосвязи с проранжированными потребительскими предпочтениями;

3. построение матрицы «Дома качества» с установлением попарных корреляций между показателями, полученными на первом и втором этапах.

Результаты и обсуждение

Качество в квалиметрии – это совокупность свойств продукта; каждый из них может получить разную значимость в общей оценке в зависимости от товарной группы и социальной значимости. Таким образом, квалиметрическая оценка качества конкретного объекта (продукции) направлена на поиск подхода к построению «дерева свойств», то есть определение интегрального показателя качества через формирование ансамбля и структуры отдельных свойств и его характеристик.

Прогнозирование качества мучных блюд с помощью квалиметрии может помочь в разработке новых видов мучных блюд на основе

растительных заменителей молока, а также для оптимизации их рецептур. Отсутствие лактозы в подобных мучных блюдах делает их привлекательными для потребителей с непереносимостью лактозы, вегетарианцев и веганов.

В данном исследовании в качестве объекта исследования выступали такие мучные блюда, как панкейки (традиционное мучное блюдо, употребляемое на завтрак в Канаде и США) [6]. Также панкейки получили распространение в других странах.

Панкейк (от англ. pancake: pan – противень или сковорода и cake – кекс, пирог или торт) – мучное блюдо округло-приплюснутой формы толщиной до 7 мм, которое выпекают на противне в духовом шкафу или на сковороде. Тесто изготавливается на основе смеси молока, крахмала и растопленного сливочного масла.

Перечень показателей качества панкейков представляет собой совокупность показателей, включающих требования действующих нормативных документов, регламентирующих качество и безопасность; показатели качества продукции с точки зрения потребителя. Важным дополнением к номенклатуре показателей качества проектируемого продукта являются показатели, определяемые экспертами в области оценки качества продукции [7–10].

В таблице 1 представлено ранжирование показателей предпочтений потенциальных потребителей панкейков, с содержанием в их рецептуре растительных заменителей молока.

Ранжирование было выполнено на основе результатов опроса потребителей, проведенного в г. Новосибирске. Число респондентов составило 100 человек (72%–женщины, 38% – мужчины).

Таблица 1.

Ранжирование показателей потребительских предпочтений

Table 1.

Ranking of consumer preference indicators

Группа основных показателей A group of key indicators	Показатели предпочтений потребителей Indicators of consumer preferences	Коэффициент вескости, % The weight ratio, %	Значимость показателя, B _m The significance of the indicator, B _m	Категория показателя Indicator category
Органолептические показатели Organoleptic parameters	Внешний вид Appearance	15,3	5	1
	Запах Smell	5,6	1,8	9
	Однородная консистенция Uniform consistency	9,5	3,1	5
	Цвет Colour	3	1	11
	Отсутствие примесей No impurities	12,7	4,2	3
Показатели состава Composition indicators	Отсутствие консервантов, ароматизаторов, красителей Absence of preservatives, flavorings, dyes	9,1	3	7
Экономические показатели Economic indicators	Стоимость Cost	7,5	2,5	8
Эргономические показатели Ergonomic indicators	Калорийность Calorie content	4,3	1,4	10
Показатели сроков годности Expiration date indicators	Срок хранения Shelf life	9,3	3	6

Из таблицы 1 следует, что наименьшую значимость в глазах потребителя будет иметь цвет, а наивысшую значимость будет иметь внешний вид.

Прочие показатели (всего 11, относящиеся к категориям: органолептика, состав, экономика, эргономика, годность) распределились между ними (внешний вид и цвет).

Количественно измеряемые параметры качества панкейков представлены в таблице 2.

Между потребительскими требованиями и количественно определяемыми показателями

позже будет составлена матричная диаграмма для определения силы (видимости) связей между показателями [11–15]. При этом используются условные обозначения следующего толка:

Для обозначения сильной связи между показателями используется символ – ● (вес в этом случае принимается равным девяти);

Для иллюстрирования связи средней силы используется символ – ○ (в этом случае эта связь имеет вес, равный трём);

Символом Δ обозначается слабая связь (значение равно единице).

Таблица 2.

Количественно измеряемые показатели качества продукции

Table 2.

Quantifiable indicators

Категории и подкатегории Categories and subcategories		Показатели Indicators
Количественно измеряемые показатели Quantifiable indicators	Показатели состава Composition indicators	Массовая доля сахара Mass fraction of sugar
	Содержание основных макронутриентов The content of the main micronutrients	Массовая доля белка Mass fraction of protein
	Энергетические показатели Energy indicators	Энергетическая ценность Energy value
	Физико-химические показатели Physico-chemical parameters	Кислотность Acidity
	Показатели хранимостпособности Storage capacity indicators	Влагосвязывающая способность Moisture binding capacity
	Экономические показатели Economic indicators	Срок годности Expiration date
		Стоимость Cost

Если между элементами связь отсутствует, то соответствующая ячейка будет пустой.

Согласно принятым параметрам, абсолютный вес можно будет определить по формуле, которая приведена ниже:

$$AB_i = \sum_{j=1}^j (B_m \times C_{ki}) \quad (1)$$

где AB_i – вес i -го показателя качества, который измеряется в количественных единицах с использованием индивидуальных единиц измерений; B_m – важность соответствующего показателя предпочтений потребителей, который берётся по таблице 1; C_{ki} – вес силы, связывающей k -й показатель предпочтений потребителей и i -ый показатель качества, который измеряется количественно.

Исходя из вышесказанного относительный вес показателей, измеряемых количественно, определяется по формуле, приведённой ниже:

$$OB_i = \frac{(100 \times AB_i)}{\sum_{j=1}^j AB_i} \quad (2)$$

где OB_i – относительный вес каждого i -го показателя качества, измеряемого количественно; $\sum_{j=1}^j AB_i$ – это сумма всех AB_i .

Результаты расчета по формулам (1) и (2) приведены в таблице 3. Для экономии места заменим названия параметров буквенно-цифровыми условными обозначениями, в противном

случае таблица не помещается на лист и воспринимать информацию в ней становится принципиально невозможно, из-за чего применяется подобное «компромиссное решение».

Принимаемые обозначения:

- П₁ – массовая доля сахара;
- П₂ – массовая доля белка;
- П₃ – энергетическая ценность;
- П₄ – кислотность;
- П₅ – влагосвязывающая способность;
- П₆ – срок годности;
- П₇ – стоимость;
- К₁ – внешний вид;
- К₂ – запах;
- К₃ – однородная консистенция;
- К₄ – цвет;
- К₅ – отсутствие примесей;
- К₆ – отсутствие консервантов, ароматизаторов, красителей;
- К₇ – стоимость;
- К₈ – калорийность;
- К₉ – срок хранения.

Из данных таблицы 3 следует, что сумма всех значений абсолютного веса рассчитываемых показателей составляет 346,2, а значения относительного веса рассчитываемых показателей находится в диапазоне 7,8–21,7%.

Следующий этап оценки качества панкейков с добавлением растительного заменителя молока предполагает проведение оценки качества продукции конкурентов и степень удовлетворенности этой продукции потребителями [16–20].

Таблица 3.

Значения абсолютного и относительного веса анализируемых показателей

Table 3.

Values of absolute and relative weights of indicators

	В _м	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅	П ₆	П ₇
K ₁	5	0	5	5	15	45	0	5
K ₂	1,8	5,4	0	0	16,2	5,4	1,8	16,2
K ₃	3,1	0	27,9	9,3	0	0	0	0
K ₄	1	0	3	0	0	1	0	0
K ₅	4,2	0	0	12,6	12,6	0	4,2	12,6
K ₆	3	9	0	3	0	9	0	0
K ₇	2,5	0	7,5	0	0	0	7,5	0
K ₈	1,4	12,6	0	12,6	4,2	4,2	0	1,4
K ₉	3	0	3	3	27	9	27	3
AB ₁	346,2	27	46,4	45,5	75	73,6	40,5	38,2
OB ₁	100	7,8	13,4	13,1	21,7	21,3	11,7	11,0

В ходе анализа продукции, представленного на маркетплейсах, пользующихся наибольшей популярностью у потребителей (СберМегаМаркет, Яндекс. Маркет, Wildberries, Ozon), было установлено, что готовых к употреблению панкейков

с добавлением растительного заменителя молока в продаже нет. Поэтому было принято решение в качестве анализируемых конкурентов выбрать сухие безлактозные смеси для приготовления панкейков (таблица 4).

Таблица 4.

Анализ продукции конкурентов

Table 4.

Analysis of competitors' products

Категория Category	Показатель Indicator	MOOGREEN MOOGREEN	Тестовъ Doughov	POLEZZNO POLEZZNO	Разрабатываемый продукт Developed product
Потребительские требования Consumer requirements	Внешний вид Appearance	4,33	4,60	4,47	5,00
	Запах Smell	4,20	3,80	4,40	4,40
	Однородная консистенция Uniform consistency	4,33	4,20	4,47	4,47
	Цвет Colour	3,93	4,13	4,20	4,20
	Отсутствие примесей No impurities	3,47	4,47	4,53	4,53
	Отсутствие консервантов, ароматизаторов, красителей Absence of preservatives, flavorings, dyes	4,07	4,27	4,33	4,33
	Стоимость Cost	2,76	3,34	3,09	4,00
	Низкая калорийность Low calorie content	4,27	4,40	4,47	4,47
Показатели, измеряемые количественно Quantifiable indicators	Срок хранения Shelf life	4,83	4,73	4,73	4,83
	Массовая доля сахара Mass fraction of sugar	3,9	4,1	3,9	4,1
	Массовая доля белка Mass fraction of protein	3,6	4,7	2,9	4,7
	Энергетическая ценность Energy value	4,2	4,5	2,3	4,5
	Кислотность Acidity	2,15	4,14	3,15	4,15
	Влагосвязывающая способность Moisture binding capacity	3,25	2,48	4,35	4,4
	Сроки годности Expiration dates	4,8	3,9	2,7	4,8
	Стоимость Cost	4,3	4,3	1,6	4,3

Анализ проводился по пятибалльной шкале студентами и преподавателями кафедры Технологии и организации пищевых производств, Новосибирского государственного технического университета (9 человек).

В качестве разрабатываемого продукта выступала безлактозная сухая смесь для приготовления панкейков, созданная на кафедре Технологии и организации пищевых производств.

Из данных таблицы 4 следует, что большинство показателей разрабатываемого продукта либо примерно равны 4, либо равны наибольшему значению среди конкурентов.

На следующем этапе необходимо установить целевые значения количественных показателей, а также единицы измерения (таблица 5).

При построении дома качества в графическом отображении, формулировки «не менее», «не более» будут заменены на «↑», «↓» соответственно. В остальных случаях будет поставлен «→».

Помимо этого, между показателями будет построена надстройка, известная как «крыша дома качества» с целью установления попарных корреляций между показателями (по одной для потребительских требований и показателей, которые измеряются количественно), где: ● – сильная положительная корреляция; ■ – сильная отрицательная корреляция; ○ – слабая положительная корреляция; □ – слабая отрицательная корреляция.

Показатели, которые измеряются количественно это:

- массовая доля сахара;
- массовая доля белка;
- энергетическая ценность;
- кислотность;
- влагосвязывающая способность;
- срок годности;
- стоимость.

На основании данных таблиц 1–5 получаем «Дом качества» (рисунок 2).

Таблица 5.
Целевые значения и единицы измерения
Table 5.
Target values and units of measurement

Показатели Indicators	Целевые значения показателей Target values of indicators
Массовая доля сахаров, % Mass fraction of sugars, %	≥34%
Массовая доля белка, % Mass fraction of protein, %	≥5%
Калорийность, ккал Calorie content, kcal	≤272,18
Кислотность, °T Acidity, °T	≤3,5
Влагосвязывающая способность, % Moisture capacity, %	≤32,4
Срок годности, ч Expiration date, hour	≥48
Стоимость, р. Cost, RUB	≤200

Из данных рисунка 2 следует, что дом качества составлен на совновании данных таблиц 1–5. При формировании качества мучных блюд с растительными заменителями (или аналогами) молока учитывается 9 показателей потребительских предпочтений (желаний) и 7 измеряемых показателей. Так же проведено сравнение с 3 аналогами. Так же подобраны целевые значения количественно измеряемых показателей и единицы измерения.

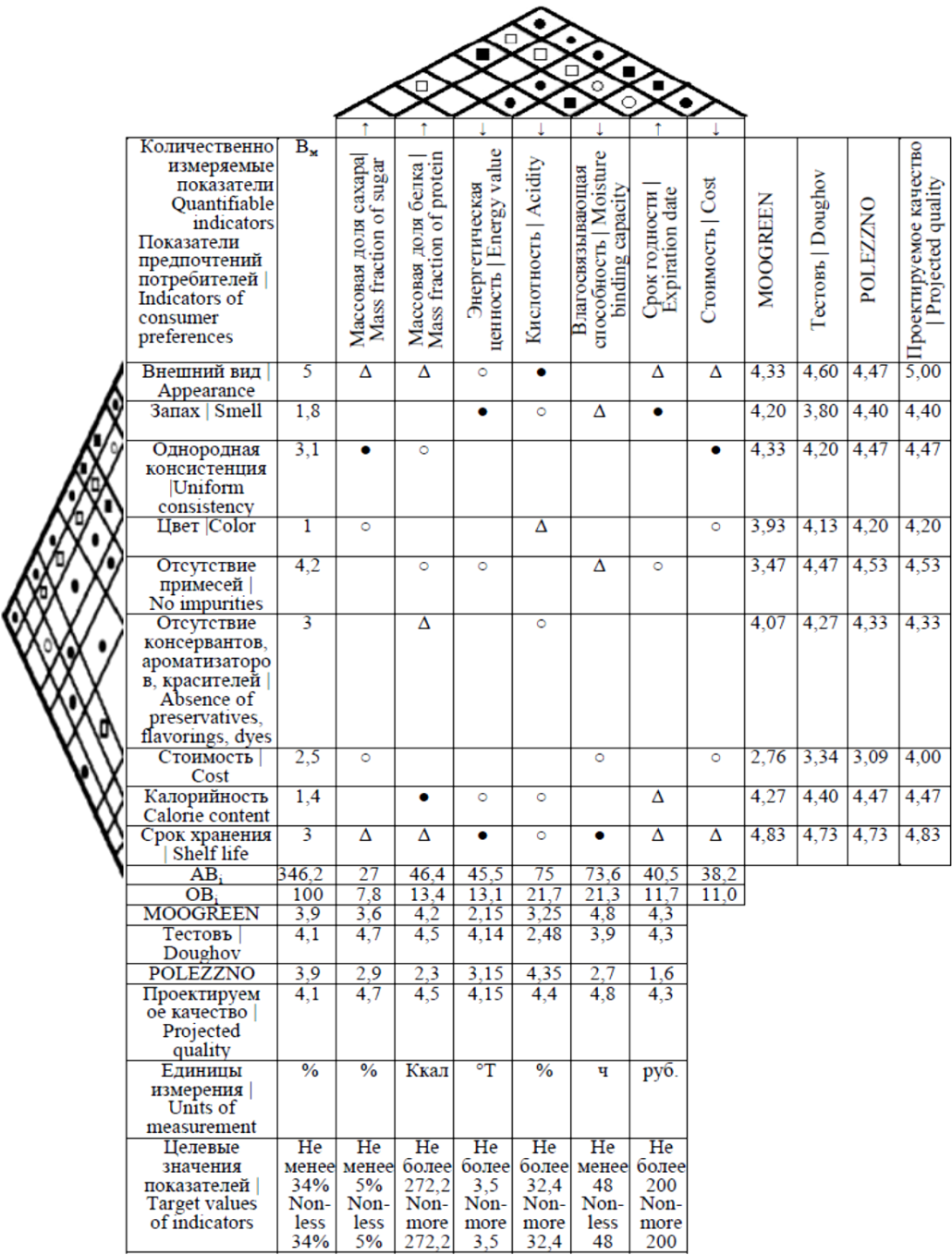


Рисунок 2. «Дом качества»
Figure 2. «Quality House»

Заключение

Следует отметить, что использование методов квалитетического прогнозирования и растительного заменителя молока является актуальным направлением в области пищевой промышленности.

Квалитетический подход позволяет оценить качество пищевой продукции и определить оптимальные параметры ее качества. Это особенно важно для производителей, так как позволяет им контролировать качество продукции и улучшать ее характеристики.

Использование растительного заменителя молока позволяет создавать продукты с высокой пищевой ценностью и низким содержанием

жира, что делает их более полезными и наиболее привлекательными для потребителей, следящих за своим здоровьем. Кроме того, использование растительных заменителей молока может снизить зависимость пищевой промышленности от традиционных источников молока, что является экологически обоснованным решением.

Для успешного использования растительных заменителей молока требуется проведение дополнительных исследований по созданию продуктов с оптимальными органолептическими свойствами и функциональностью. Также необходимо учитывать предпочтения потребителей и проводить исследования для определения их ожиданий и потребностей.

Литература

- 1 Ashkanani R. A Comparative Study of the Use of Cow's Milk and Plant-Based Alternatives Such as Almond Milk and Oat Milk on Diabetic Rats // *International Journal of Food Sciences*. 2023. V. 6. №. 5. P. 50 – 64. doi: 10.47604/ijf.2212
- 2 Maras R.T. Comparison of the Nutritional Value of Cow's Milk and Plant-Based Milks // *Black Sea Journal of Agriculture*. 2023. V. 6. №. 6. P. 734–741. doi: 10.47115/bsagriculture.1331725
- 3 Welna M., Szymczycha-Madeja A., Lesniewicz A., Pohl P. The Nutritional Value of Plant Drink against Bovine Milk – Analysis of the Total Concentrations and the Bio-Accessible Fraction of Elements in Cow Milk and Plant-Based Beverages // *Processes*. 2024. V. 12. №. 1. P. 231. doi: 10.3390/pr12010231
- 4 Daryani D., Pegua K., Aryaa S.S. Review of plant-based milk analogue: its preparation, nutritional, physicochemical, and organoleptic properties // *Food Science and Biotechnology*. 2024. V. 33. №. 5. P. 1–15. doi: 10.1007/s10068-023-01482-z
- 5 ТР ТС 033/2013. О безопасности молока и молочной продукции. М.: Стандартинформ, 2014. 192 с.
- 6 Yushchenko N.M., Shevchuk Yu. V. Scientific and practical justification of the use of non-traditional raw materials in the technology of pancakes for dietary nutrition // *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. 2024. V. 26. №. 101. P. 20–25. doi: 10.32718/nvvet-f10104
- 7 Дунченко Н.И., Янковская В.С. Управление качеством продукции. Пищевая промышленность для бакалавров: учебник. Санкт-Петербург: Лань, 2020. 303 с.
- 8 Yankovskaya V.S., Dunchenko N.I., Voloshina E.S., Kuptsova S.V. et al. Improving the quality of functional fish products based on management and qualimetry methods // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2021. V. 640. №. 6. P. 062001. doi: 10.1088/1755-1315/640/6/062001
- 9 Tkachenko A., Olkhovska O., Chernenko O., Chilikina T. et al. Improving the quality of cupcakes by optimizing the recipe using a mathematical modeling method // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. V. 6. №. 11. P. 120.
- 10 Reyes-Jurado F. et al. Plant-based milk alternatives: Types, processes, benefits, and characteristics // *Food Reviews International*. 2023. V. 39. №. 4. P. 2320-2351.
- 11 Aydar E. F., Tutuncu S., Ozcelik B. Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects // *Journal of Functional Foods*. 2020. V. 70. P. 103975.
- 12 McClements D.J. Development of next-generation nutritionally fortified plant-based milk substitutes: Structural design principles // *Foods*. 2020. V. 9. №. 4. P. 421.
- 13 Jeske S., Zannini E., Arendt E.K. Evaluation of physicochemical and glycaemic properties of commercial plant-based milk substitutes // *Plant Foods for Human Nutrition*. 2017. V. 72. P. 26-33.
- 14 Haas R., Schnepps A., Pichler A., Meixner O. Cow milk versus plant-based milk substitutes: A comparison of product image and motivational structure of consumption // *Sustainability*. 2019. V. 11. №. 18. P. 5046.
- 15 Rasika D.M.D., Vidanaratchi J.K., Rocha R.S., Balthazar C.F. et al. Plant-based milk substitutes as emerging probiotic carriers // *Current Opinion in Food Science*. 2021. V. 38. P. 8-20.
- 16 Zandona L., Lima C., Lannes S. Plant-based milk substitutes: factors to lead to its use and benefits to human health // *Milk Substitutes-Selected Aspects*. 2021. V. 1. P. 1-16.
- 17 Mäkinen O.E., Wanhälina V., Zannini E., Arendt E.K. Foods for special dietary needs: Non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products // *Critical reviews in food science and nutrition*. 2016. V. 56. №. 3. P. 339-349.
- 18 Silva A.R.A., Silva M.M.N., Ribeiro B.D. Plant-based milk products // *Future Foods*. Academic Press, 2022. P. 233-249.
- 19 Vojdani A., Turnpugh C., Vojdani E. Immune reactivity against a variety of mammalian milks and plant-based milk substitutes // *Journal of Dairy Research*. 2018. V. 85. №. 3. P. 358-365.
- 20 Fructuoso I., Romão B., Han H., Raposo A. et al. An overview on nutritional aspects of plant-based beverages used as substitutes for cow's milk // *Nutrients*. 2021. V. 13. №. 8. P. 2650.

References

- 1 Ashkanani R. A Comparative Study of the Use of Cow's Milk and Plant-Based Alternatives Such as Almond Milk and Oat Milk on Diabetic Rats. *International Journal of Food Sciences*. 2023. vol. 6. no. 5. pp. 50 – 64. doi: 10.47604/ijf.2212
- 2 Maras R.T. Comparison of the Nutritional Value of Cow's Milk and Plant-Based Milks. *Black Sea Journal of Agriculture*. 2023. vol. 6. no. 6. pp. 734–741. doi: 10.47115/bsagriculture.1331725

- 3 Welna M., Szymczycha-Madeja A., Lesniewicz A., Pohl P. The Nutritional Value of Plant Drink against Bovine Milk – Analysis of the Total Concentrations and the Bio-Accessible Fraction of Elements in Cow Milk and Plant-Based Beverages. *Processes*. 2024. vol. 12. no. 1. pp. 231. doi: 10.3390/pr12010231
- 4 Daryani D., Pegua K., Aryaa S.S. Review of plant-based milk analogue: its preparation, nutritional, physicochemical, and organoleptic properties. *Food Science and Biotechnology*. 2024. vol. 33. no. 5. pp. 1–15. doi: 10.1007/s10068-023-01482 z
- 5 TR CU 033/2013. On the safety of milk and dairy products. Moscow, Standartinform, 2014. 192 p. (in Russian).
- 6 Yushchenko N.M., Shevchuk Yu. V. Scientific and practical justification of the use of non-traditional raw materials in the technology of pancakes for dietary nutrition. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. 2024. vol. 26. no. 101. pp. 20–25. doi: 10.32718/nvlvet-f10104
- 7 Dunchenko N.I., Yankovskaya V.S. Product quality management. Food industry for bachelors: textbook. St. Petersburg, Lan, 2020. 303 p. (in Russian).
- 8 Yankovskaya V.S., Dunchenko N.I., Voloshina E.S., Kuptsova S.V. et al. Improving the quality of functional fish products based on management and qualimetry methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2021. vol. 640. no. 6. pp. 062001. doi: 10.1088/1755-1315/640/6/062001
- 9 Tkachenko A., Olkhovska O., Chernenko O., Chilikina T. et al. Improving the quality of cupcakes by optimizing the recipe using a mathematical modeling method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. vol. 6. no. 11. pp. 120.
- 10 Reyes-Jurado F. et al. Plant-based milk alternatives: Types, processes, benefits, and characteristics. *Food Reviews International*. 2023. vol. 39. no. 4. pp. 2320-2351.
- 11 Aydar E. F., Tutuncu S., Ozcelik B. Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects. *Journal of Functional Foods*. 2020. vol. 70. pp. 103975.
- 12 McClements D.J. Development of next-generation nutritionally fortified plant-based milk substitutes: Structural design principles. *Foods*. 2020. vol. 9. no. 4. pp. 421.
- 13 Jeske S., Zannini E., Arendt E.K. Evaluation of physicochemical and glycaemic properties of commercial plant-based milk substitutes. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2017. vol. 72. pp. 26-33.
- 14 Haas R., Schnepfs A., Pichler A., Meixner O. Cow milk versus plant-based milk substitutes: A comparison of product image and motivational structure of consumption. *Sustainability*. 2019. vol. 11. no. 18. pp. 5046.
- 15 Rasika D.M.D., Vidanarachchi J.K., Rocha R.S., Balthazar C.F. et al. Plant-based milk substitutes as emerging probiotic carriers. *Current Opinion in Food Science*. 2021. vol. 38. pp. 8-20.
- 16 Zandona L., Lima C., Lannes S. Plant-based milk substitutes: factors to lead to its use and benefits to human health. *Milk Substitutes-Selected Aspects*. 2021. vol. 1. pp. 1-16.
- 17 Mäkinen O.E., Wanhälina V., Zannini E., Arendt E.K. Foods for special dietary needs: Non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2016. vol. 56. no. 3. pp. 339-349.
- 18 Silva A.R.A., Silva M.M.N., Ribeiro B.D. Plant-based milk products. *Future Foods*. Academic Press, 2022. pp. 233-249.
- 19 Vojdani A., Turnpaugh C., Vojdani E. Immune reactivity against a variety of mammalian milks and plant-based milk substitutes. *Journal of Dairy Research*. 2018. vol. 85. no. 3. pp. 358-365.
- 20 Fructuoso I., Romão B., Han H., Raposo A. et al. An overview on nutritional aspects of plant-based beverages used as substitutes for cow's milk. *Nutrients*. 2021. vol. 13. no. 8. pp. 2650.

Сведения об авторах

Светлана М. Корпачева к.т.н., кафедра технологии и организации пищевых производств, Новосибирский государственный технический университет, пр-т Карла Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия, korpacheva@corp.nstu.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-8005-4364>

Ольга В. Рогова к.т.н., доцент, кафедра технологии и организации пищевых производств, Новосибирский государственный технический университет, пр-т Карла Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия, rogoval@corp.nstu.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5553-6249>

Святослав Д. Антипин магистрант, кафедра технологии и организации пищевых производств, кафедра технологии и организации пищевых производств, пр-т Карла Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия, antipin.svyatoslav@inbox.ru
 <https://orcid.org/0009-0008-0757-4564>

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 M. Korpacheva Cand. Sci. (Engin.), technology and organization of food production department, Novosibirsk State Technical University, Karl Marx Ave., 20, Novosibirsk, 630073, Russia, korpacheva@corp.nstu.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-8005-4364>

Olga V. Rogova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology and organization of food production department, Novosibirsk State Technical University, Karl Marx Ave., 20, Novosibirsk, 630073, Russia, rogoval@corp.nstu.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5553-6249>

Svyatoslav D. Antipin master student, technology and organization of food production department, Novosibirsk State Technical University, Karl Marx Ave., 20, Novosibirsk, 630073, Russia, antipin.svyatoslav@inbox.ru
 <https://orcid.org/0009-0008-0757-4564>

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 15/07/2024	После редакции 01/08/2024	Принята в печать 27/08/2024
Received 15/07/2024	Accepted in revised 01/08/2024	Accepted 27/08/2024

Изучение показателей качества обогащенного сметанного продукта

Ольга И. Долматова¹ olgadolmatova@rambler.ru  0000-0002-4450-8856
Ксения Ю. Панфилова¹ muhorkinasofa0406@gmail.com

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

Аннотация. В настоящее время ведутся разработки учеными в области улучшения состава и качества сметаны и сметанных продуктов. Основная часть указанных продуктов обладает функциональной направленностью за счет включения в состав дополнительных ингредиентов. Представляет интерес использование пищевых добавок, содержащих йод в технологии сметанных продуктов. Наиболее богата йодом морская капуста (ламинария). Помимо этого ламинария богата витаминами А, В, С, Е, Д и антиоксидантами, железом, магнием, бромом и др. В морской капусте есть энтеросорбенты - вещества, способные выводить из организма человека токсины; фукоксантин - ускоряет метаболизм, пищевые волокна. Сметанный продукт, полученный на кафедре Технологии продуктов животного происхождения ФГБОУ ВО «ВГУИТ» содержит следующие компоненты: сливки молочные, закваску для сметаны, порошок ламинарии. С целью установления оптимальной дозировки растительного компонента порошок ламинарии вносили на стадии заквашивания смеси в количестве от 0,5 до 2,0 %. Определена оптимальная дозировка 1,0-1,5 %. Добавление порошка морской капусты выше указанной дозировки приводило к ухудшению органолептических показателей продукта. Сметанный продукт получали по традиционной технологии. Особенностью являлись операции подготовки и внесения заквасочной культуры и порошка ламинарии. Установлено, что значительное влияние на качество сметанного продукта оказывает степень помола высушенного порошка морской капусты. Сметанный продукт обладал кисломолочным вкусом и запахом, имел белый с кремовым оттенком цвет с незначительными вкраплениями частиц ламинарии. В течение всего срока хранения определяли органолептические, физико-химические и микробиологические показатели. Установлена повышенная на 32 % вязкость опытного образца по сравнению с контрольным. Консистенция сметанного продукта при хранении стабильная. По результатам исследований у сметанного продукта определена прочная связь со сгустком. Добавление порошка ламинарии позволяет получить сметанный продукт с обогащенным витаминно-минеральным составом.

Ключевые слова: сметанный продукт, морская капуста, качество, ламинария, органолептические показатели, физико-химические показатели, микробиологические показатели.

Studying the quality indicators of the enriched sour cream product

Olga I. Dolmatova¹ olgadolmatova@rambler.ru  0000-0002-4450-8856
Ksenia Yu. Panfilova¹ muhorkinasofa0406@gmail.com

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

Abstract. Currently, scientists are developing in the field of improving the composition and quality of sour cream and sour cream products. The main part of these products has a functional orientation due to the inclusion of additional ingredients in the composition. The use of food additives containing iodine in the technology of sour cream products is of interest. Seaweed (kelp) is the most iodine-rich. In addition, kelp is rich in vitamins A, B, C, E, D and antioxidants, iron, magnesium, bromine, etc. Seaweed contains enterosorbents - substances capable of removing toxins from the human body; fucoxanthin - accelerates metabolism, dietary fiber. The product obtained at the Department of Technology of Animal Products of VGUIT contains the following components: milk cream, sour cream starter, kelp powder. In order to establish the optimal dosage of the vegetable component, kelp powder was introduced at the fermentation stage of the mixture in an amount from 0.5 to 2.0%. The optimal dosage of 1.0-1.5% has been determined. The addition of seaweed powder above the indicated dosage led to a deterioration in the organoleptic characteristics of the product. The sour cream product was obtained using traditional technology. A special feature was the operations of preparation and application of starter culture and kelp powder. It was found that the degree of grinding of dried seaweed powder has a significant effect on the quality of the sour cream product. The sour cream product had a sour-milk taste and smell, had a white with a cream tint with slight inclusions of kelp particles. During the entire storage period, organoleptic, physico-chemical and microbiological parameters were determined. The viscosity of the test sample increased by 32% compared to the control one was determined. The consistency of the sour cream product is stable during storage. According to the research results, the sour cream product has a strong connection with the clot. The addition of kelp powder makes it possible to obtain a sour cream product with an enriched vitamin and mineral composition.

Keywords: sour cream product, seaweed, quality, kelp, organoleptic indicators, physicochemical indicators, microbiological indicators.

Введение

В настоящее время ведутся разработки учеными в области улучшения состава и качества сметаны и сметанных продуктов. Основная часть указанных продуктов обладает функциональной направленностью за счет включения в состав дополнительных ингредиентов. Известны сметанные продукты с добавлением масла тыквенного, фруктозы и овощного сиропа; клетчатки и морковного пюре; пшеничных хлопьев и персикового пюре [1, 2].

Наряду с болезнями века: ожирением, сахарным диабетом и др. на территории РФ у людей, находящихся далеко от моря, можно наблюдать недостаток йода. Дефицит йода не имеет выраженного характера протекания заболевания. Однако, может привести к проблемам сердечно-сосудистой, костной, пищеварительных систем, неврологических нарушений и т. д.

В связи с вышеперечисленным, представляет интерес использование пищевых добавок,

Для цитирования

Долматова О.И., Панфилова К.Ю. Изучение показателей качества обогащенного сметанного продукта // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 67–72. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-67-72

For citation

Dolmatova O.I., Panfilova K.Yu. Studying the quality indicators of the enriched sour cream product. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 67–72. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-67-72

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

содержащих йод в технологии сметанных продуктов. Наиболее богата йодом морская капуста (ламинария). Всемирная организация здравоохранения рекомендует потреблять 120–150 мкг йода в сутки. По сведениям Роспотребнадзора, среднестатистический россиянин потребляет только 40–80 мкг элемента. Тогда как в 100 г. морской капусты содержится 300 мкг йода. Помимо этого, ламинария богата витаминами А, В, С, Е, Д и антиоксидантами, железом, магнием,

бромом (рисунок 1–3). В морской капусте есть энтеросорбенты – вещества, способные выводить из организма человека токсины; фукоксантин – ускоряет метаболизм, пищевые волокна. Морская капуста активно используется в качестве рецептурного компонента в ряде пищевых продуктов [3–8].

Дополнительно вносимые растительные компоненты способны придать продуктам функциональную направленность [9–17].

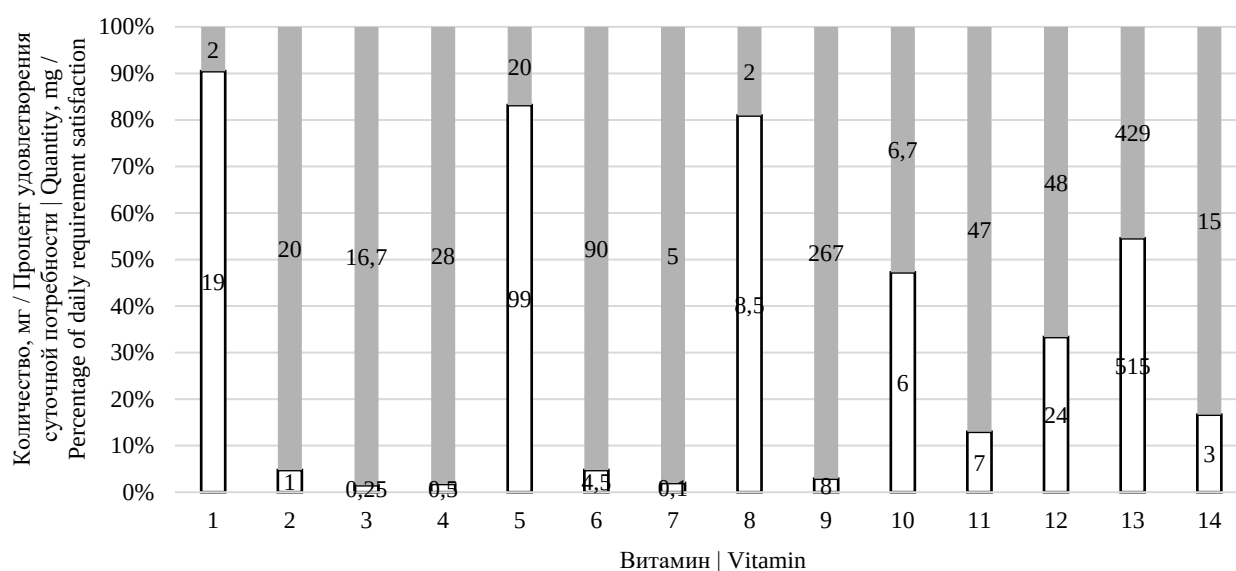


Рисунок 1. Витаминный состав порошка ламинарии: 1 – А; 2 – бета-каротин; 3 – В1; 4 – В2; 5 – В4; 6 – В5; 7 – В6; 8 – В9; 9 – В12; 10 – С; 11 – Е; 12 – Н; 13 – К; 14 – РР

Figure 1. Vitamin composition of kelp powder: 1 – A; 2 – beta-carotene; 3 – B1; 4 – B2; 5 – B4; 6 – B5; 7 – B6; 8 – B9; 9 – B12; 10 – C; 11 – E; 12 – H; 13 – K; 14 – PP

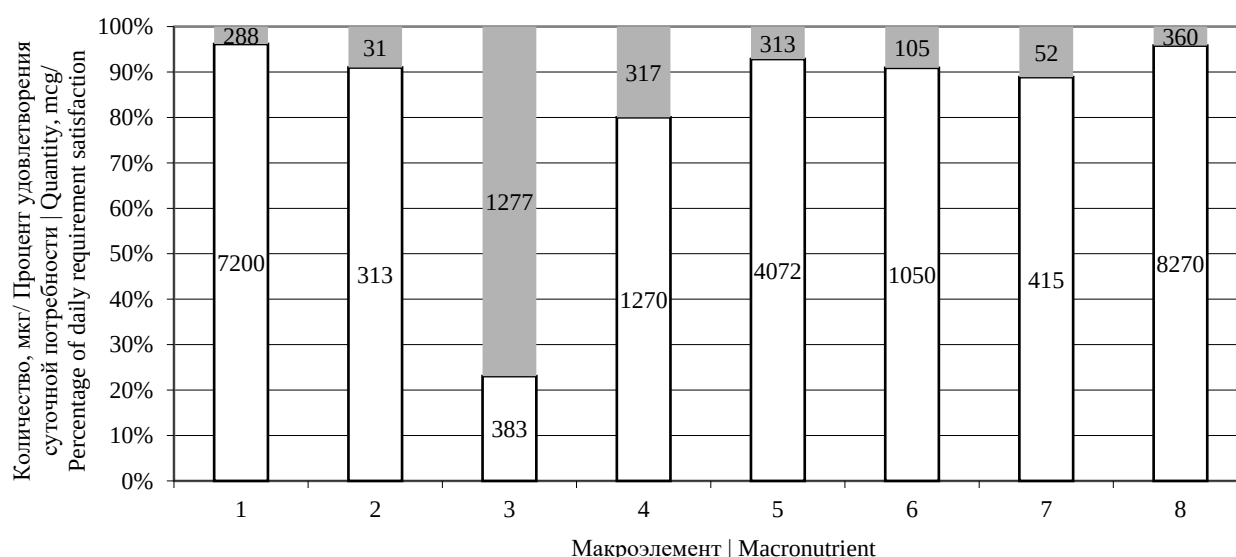


Рисунок 2. Состав макроэлементов порошка ламинарии: 1 – калий; 2 – кальций; 3 – кремний; 4 – магний; 5 – натрий; 6 – сера; 7 – фосфор; 8 – хлор

Figure 2. Composition of laminaria powder microelements: 1-potassium; 2 – calcium; 3-Silicon; 4-magnesium; 5-sodium; 6-sulfur; 7 – phosphorus; 8 – chlorine

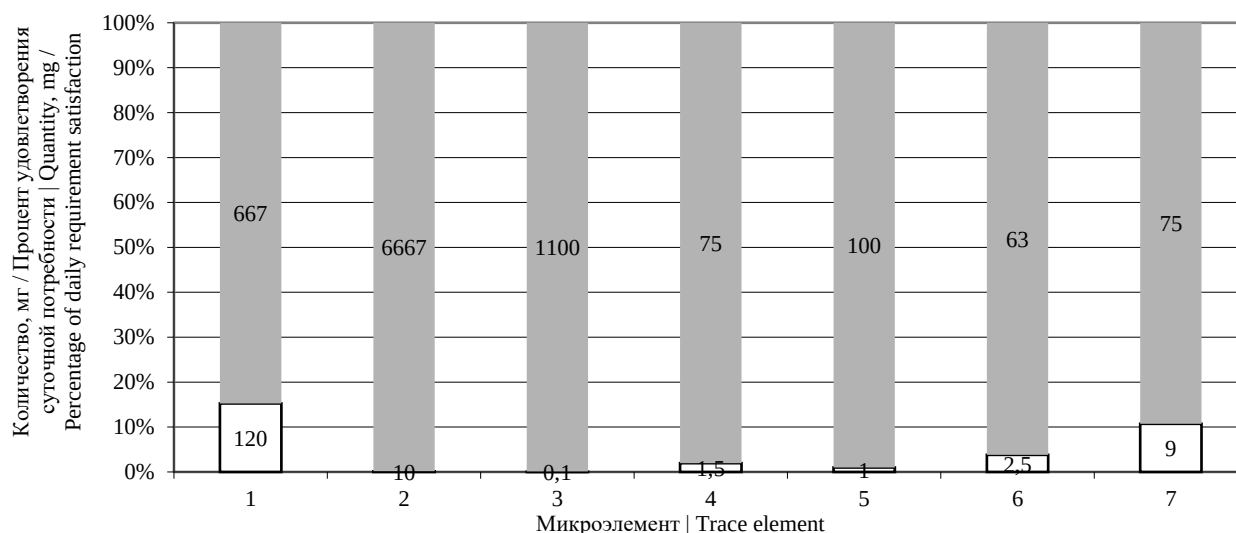


Рисунок 3. Состав микроэлементов порошка ламинарии: 1 – железо; 2 – йод; 3 – кобальт; 4 – марганец; 5 – медь; 6 – фтор; 7 – цинк

Figure 3. Composition of microelements of kelp powder: 1 – iron; 2 – iodine; 3 – cobalt; 4 – manganese; 5 – copper; 6 – fluorine; 7 – zinc

Аналитический обзор литературы показал, что известен способ производства сметаны с добавлением морской капусты [18, 19]. Однако не указано наименование, ее состав, вид добавки (натуральная морская капуста, порошок и т. д.). Поэтому требует уточнения установленная ранее авторами дозировка морской капусты и изучение изменений показателей качества готового продукта при хранении.

Целью работы является разработка рецептурно-компонентного решения сметанного продукта функциональной направленности, оценка его показателей качества.

Порошок морской капусты, используемый в качестве функционального ингредиента, имеет следующий состав (таблица 1).

Таблица 1.
Состав порошка морской капусты

Table 1.
The composition of seaweed powder

Компонент Component	Массовая доля, % Mass fraction, %
Белки Proteins	7,9
Жиры Fats	0,6
Углеводы Carbohydrates	55,0
Пищевые волокна Dietary fiber	4,8

Материалы и методы

Объектом исследования является сметанный продукт с добавлением порошка морской капусты, сырье для его производства.

Оценку качества готового продукта проводили в соответствии с требованиями ТР ТС 033/2013, ГОСТ 31452.

Вязкость определяли в лаборатории Центра стратегического развития научных исследований ВГУИТ на приборе вибровискозиметр «AND SV-10».

Влагоудерживающую способность сгустка определяли методом центрифугирования.

Результаты и обсуждение

Сметанный продукт, полученный на кафедре Технологии продуктов животного происхождения ФГБОУ ВО «ВГУИТ» содержит следующие компоненты: сливки молочные, закваску для сметаны, порошок ламинарии (рисунок 4). Соотношение рецептурно-ингредиентного состава подобрано опытным путем.

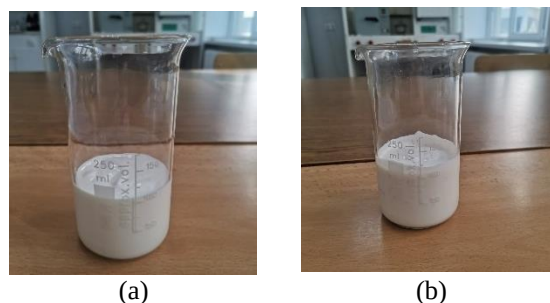


Рисунок 4. Фото продуктов: (а) – сметаны (контроль); (б) – сметанного продукта с добавлением порошка ламинарии (опыт)

Figure 4. Photos of products: (a) – sour cream (control); (b) – sour cream product with the addition of kelp powder (experience)

С целью установления оптимальной дозировки растительного компонента порошок ламинарии вносили на стадии заквашивания смеси в количестве от 0,5 до 2,0%. Результаты определяли по пятибальной шкале. Определена оптимальная дозировка 1,0–1,5%. Добавление порошка морской капусты выше указанной дозировки приводило к ухудшению органолептических показателей продукта. Отмечали наличие излишне-соленого вкуса, значительного количества вкраплений частиц ламинарии темного цвета, появление рыбного (морского) запаха.

Сметанный продукт получали по традиционной технологии. Особенностью являлись операции подготовки и внесения заквасочной культуры и порошка ламинарии. Установлено, что значительное влияние на качество сметанного продукта оказывает степень помола высушенного порошка морской капусты. Готовый сметанный продукт охлаждали и упаковывали. Хранили при температуре $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$. Сметанный продукт обладал кисломолочным вкусом и запахом, имел белый с кремовым оттенком цвет с незначительными вкраплениями частиц ламинарии.

В течение всего срока хранения определяли органолептические, физико-химические и микробиологические показатели.

На рисунке 5 представлены результаты изменения титруемой кислотности в контрольном и опытных образцах в процессе хранения. В свежеприготовленных образцах сметанного продукта показатель кислотности был выше на $10 \pm 1^\circ\text{T}$ по сравнению с контрольным образцом. Однако, при дальнейшем хранении расхождение показателей кислотности уменьшилось и уравнивалось на 6–9 сутки хранения.

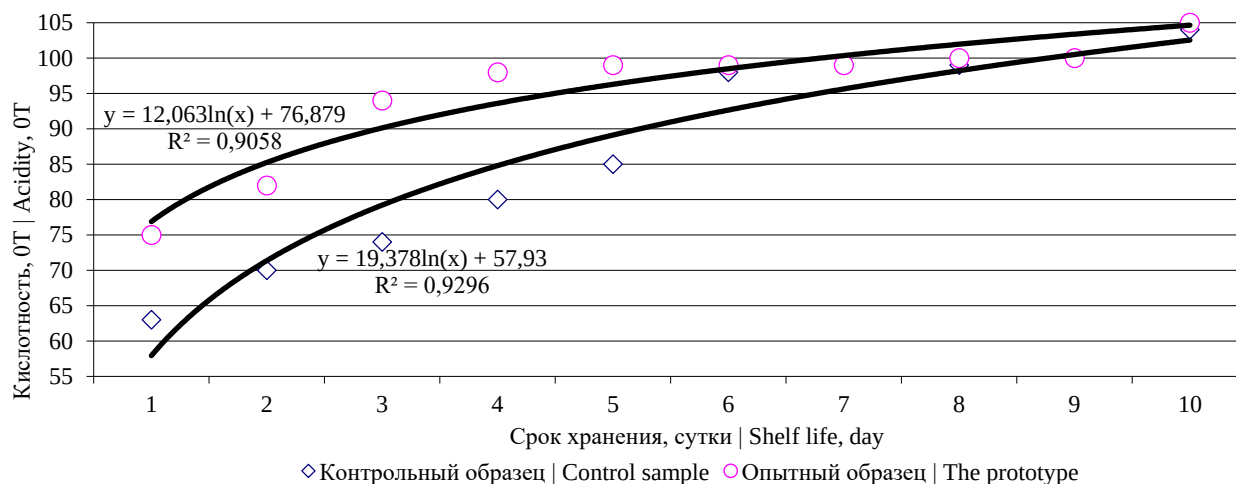


Рисунок 5. Динамика изменения титруемой кислотности при хранении сметаны (контрольный образец) и сметанного продукта (опытный образец)

Figure 5. Dynamics of changes in titrated acidity during storage of sour cream (control sample) and sour cream product (prototype)

Реологические свойства, наряду с органолептическими, играют важную роль при выборе потребляемого продукта населением. С целью установления влияния порошка ламинарии на консистенцию готового сметанного продукта и в процессе хранения изучали реологические свойства последнего. Показатель вязкости

определяли на вибровискозиметре в сметанном продукте с добавлением (опыт) и в сметане без добавления (контроль) порошка ламинарии (рисунок 6). Установлена повышенная на 32% вязкость опытного образца по сравнению с контрольным. Консистенция сметанного продукта при хранении стабильная.

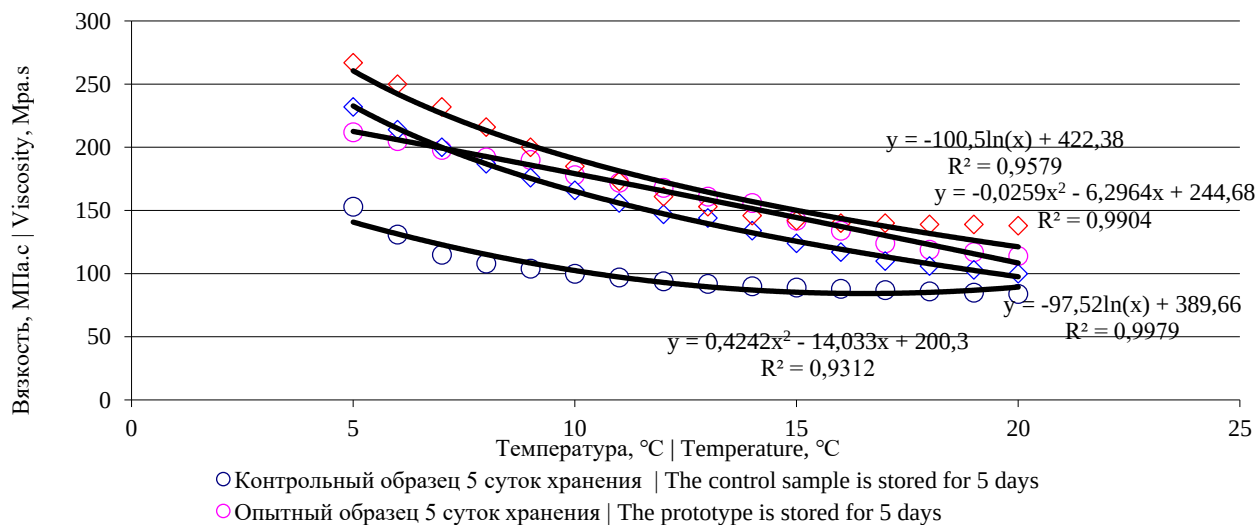


Рисунок 6. Динамика изменения вязкости при хранении сметаны (контрольный образец) и сметанного продукта (опытный образец)

Figure 6. Dynamics of viscosity changes during storage of sour cream (control sample) and sour cream product (prototype)

Степень синергизма является одним из показателей реологических свойств кисломолочных продуктов, так как определяет прочность сгустка, а, следовательно, их потребительские свойства [20].

По результатам исследований у сметанного продукта и сметаны установлена прочная связь со сгустком. Количество сыворотки, полученной в ходе эксперимента при центрифугировании, составило 0,2 мл при норме 0,3 мл.

Заключение

Определена повышенная на 32% вязкость опытного образца по сравнению с контрольным. Консистенция сметанного продукта при хранении стабильная. По результатам исследований у сметанного продукта установлена прочная связь со сгустком. Добавление порошка ламинарии позволяет получить сметанный продукт с обогащенным витаминно-минеральным составом.

Литература

- 1 Божкова С.Е., Пилипенко Д.Н. Новый комбинированный молочный продукт на основе сметаны // Пищевая индустрия. 2018, № 1 (35). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novyy-kombinirovanny-molochnyy-produkt-na-osnove-smetany>.
- 2 Долматова О.И., Дошина А.В. К вопросу об использовании пищевых волокон в сметанном продукте // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49. №. 2. С. 201–208.
- 3 Решетник Е.И., Держапольская Ю.И., Грибанова С.Л. Перспективы использования природных биорегуляторов в производстве плавящихся сыров и плавящихся сырных продуктов // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития. 2020. С. 101–101.
- 4 Кадиева Т.А., Алдатова Д.Г. Разработка рецептуры комбинированного молочно-растительного продукта // Перспективы развития АПК в современных условиях. 2020. С. 390–392.
- 5 Клочкова И.С., Чиркова А.А., Давидович В.В. Морские растения в технологии пищевых продуктов // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации. 2021. С. 238–241.
- 6 Тимшина Ю.А., Неверова О.П. Разработка кисломолочного продукта, обогащенного йодом // Молодежь и наука. 2021. №. 4.
- 7 Коденцова В.М., Рисник Д.В., Ладодо О.Б. Потребление витаминов: вклад отдельных пищевых продуктов и последствия различных диет // Медицинский оппонент. 2021. Т. 1. №. 13. С. 48.
- 8 Строева А.И., Рязанова Т.К. Использование йодказеина при производстве кисломолочного сыра из козьего молока // Пищевые инновации и биотехнологии. 2022. С. 327–329.
- 9 Chernjolskaya N., Gavrilova N., Rebezov M., Dolmatova I. et al. Biotechnology of specialized product for sports nutrition // International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. V. 8. № 4. P. 40–45.
- 10 Gavrilova N., Chernjolskaya N., Rebezov M., Moisejkina D. et al. Advanced biotechnology of specialized fermented milk product // International Journal of Recent Technology and Engineering. 2019. V. 8. № 2. P. 2718–2722.
- 11 Гаврилина А.Д., Шелагинова И.Р., Зобкова З.С. Кисломолочные продукты как составляющая функционального питания // Молочная промышленность. 2019. № 2. С. 44.
- 12 Ивкова И.А., Четвергова И.Г., Николаева Е.А., Толстогузова Т.Т. Разработка жировой основы эмульсионных продуктов питания функционального назначения // Переработка молока. 2020. № 4 (246). С. 34–37.
- 13 Danylenko S.G. et al. "The effects of thickeners upon the viscous properties of sour cream with a low fat content // Acta Sci. Pol. Technol. Aliment. 2020. V. 19. № 3. P. 359–368.
- 14 Danylenko S.G. et al. The effects of thickeners upon the viscous properties of sour cream with a low fat content // Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. 2020. V. 19. №. 3. P. 359–368.
- 15 Афонькина С.Р., Зеленковская Е.Е., Аллаярова Г.Р., Мусабилов Д.Э. и др. Анализ показателей качества и безопасности кисломолочного продукта: сметана // Новые концептуальные подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности в современных условиях: сборник научных статей VII Международной научно-практической конференции. Курск, 2020. С. 43–46.
- 16 Izsó T., Kasza G.Y., Somogyi L. Differences between fat-related characteristics of sour cream and sour cream analogues // Acta Alimentaria. 2020. V. 49. №. 4. P. 390–397.
- 17 Визгалина К.А. Определение качества сметаны. Сравнительный анализ // Интеллектуальный потенциал общества как драйвер инновационного развития науки. Уфа, 2019. С. 5–7.
- 18 Мамаев А.В. Сметана с морской капустой // Химические элементы-основа жизни. 2020. С. 109–113.
- 19 Сопина В.А., Мамаев А.В. Функциональная сметана с йодсодержащим растительным компонентом – морской капустой // Периодическая таблица химических элементов: теория и практика преподавания. 2019. С. 123–128.
- 20 Голубева Л.В., Долматова О.И., Губанова А.А., Гребенкина А.Г. Изучение процесса синергизма кисломолочных напитков // Пищевая промышленность. 2015. № 4. С. 42–43.

References

- 1 Bozhkova S.E., Pilipenko D.N. New combined dairy product based on sour cream. Food industry. 2018. no. 1 (35). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/novyy-kombinirovanny-molochnyy-produkt-na-osnove-smetany> (in Russian).
- 2 Dolmatova O.I., Doshina A.V. On the issue of using dietary fiber in a sour cream product. Equipment and technology of food production. 2019. vol. 49. no. 2. pp. 201–208. (in Russian).
- 3 Reshetnik E.I., Derzhapolskaya Yu.I., Gribanova S.L. Prospects for the use of natural bioregulators in the production of processed cheeses and processed cheese products. Agro-industrial complex: problems and development prospects. 2020. pp. 101–101. (in Russian).
- 4 Kadieva T.A., Aldatova D.G. Development of a recipe for a combined dairy-vegetable product. Prospects for the development of the agro-industrial complex in modern conditions. 2020. pp. 390–392. (in Russian).

- 5 Klochkova I.S., Chirkova A.A., Davidovich V.V. Marine plants in food technology. Innovative development of the fishing industry in the context of ensuring food security of the Russian Federation. 2021. pp. 238–241. (in Russian).
- 6 Timshina Yu.A., Neverova O.P. Development of a fermented milk product enriched with iodine // Youth and Science. 2021. no. 4. (in Russian).
- 7 Kodentsova V.M., Risnik D.V., Ladodo O.B. Vitamin consumption: the contribution of individual foods and the effects of different diets. Medical opponent. 2021. vol. 1. no. 13. pp. 48. (in Russian).
- 8 Stroeve A.I., Ryazaeva T.K. Use of iodine casein in the production of fermented milk cheese from goat's milk. Food innovations and biotechnology. 2022. pp. 327–329. (in Russian).
- 9 Chernjanskaya N., Gavrilova N., Rebezov M., Dolmatova I. et al. Biotechnology of specialized product for sports nutrition. International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. vol. 8. no. 4. pp. 40–45.
- 10 Gavrilova N., Chernjanskaya N., Rebezov M., Moisejkina D. et al. Advanced biotechnology of specialized fermented milk product. International Journal of Recent Technology and Engineering. 2019. vol. 8. no. 2. pp. 2718–2722.
- 11 Gavrilina A.D., Shelaginova I.R., Zobkova Z.S. Fermented milk products as a component of functional nutrition. Dairy industry. 2019. no. 2. pp. 44. (in Russian).
- 12 Ivkova I.A., Chetvergova I.G., Nikolaeva E.A., Tolstoguzova T.T. Development of a fat base for emulsion functional food products. Milk processing. 2020. no. 4 (246). pp. 34–37. (in Russian).
- 13 Danylenko S.G. et al. "The effects of thickeners upon the viscous properties of sour cream with a low fat content. Acta Sci. Pol. Technol. Aliment. 2020. vol. 19. no. 3. pp. 359–368.
- 14 Danylenko S.G. et al. The effects of thickeners upon the viscous properties of sour cream with a low fat content. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. 2020. vol. 19. no. 3. pp. 359–368.
- 15 Afon'kina S.R., Zelenkovskaya E.E., Allayarova G.R., Musabirov D.E. et al. Analysis of quality and safety indicators of a fermented milk product: sour cream. New conceptual approaches to solving the global problem of ensuring food security in modern conditions: collection of scientific articles of the VII International Scientific and Practical Conference. Kursk, 2020. pp. 43–46. (in Russian).
- 16 Izsó T., Kasza G.Y., Somogyi L. Differences between fat-related characteristics of sour cream and sour cream analogues. Acta Alimentaria. 2020. vol. 49. no. 4. pp. 390–397.
- 17 Vizgalina K.A. Determining the quality of sour cream. Comparative analysis. Intellectual potential of society as a driver of innovative development of science. Ufa, 2019. pp. 5–7. (in Russian).
- 18 Mamaev A.V. Sour cream with seaweed. Chemical elements are the basis of life. 2020. pp. 109–113. (in Russian).
- 19 Sopina V.A., Mamaev A.V. Functional sour cream with an iodine-containing plant component – seaweed. Periodic table of chemical elements: theory and teaching practice. 2019. pp. 123–128. (in Russian).
- 20 Golubeva L.V., Dolmatova O.I., Gubanova A.A., Grebenkina A.G. Study of the syneresis process of fermented milk drinks. Food industry. 2015. no. 4. pp. 42–43. (in Russian).

Сведения об авторах

Ольга И. Долматова к.т.н., доцент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, olgadolmatova@rambler.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4450-8856>

Ксения Ю. Панфилова студент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, muhorkinasofa0406@gmail.com

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 I. Dolmatova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, animal origin products technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, olgadolmatova@rambler.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4450-8856>

Ksenia Yu. Panfilova student, animal origin products technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, muhorkinasofa0406@gmail.com

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 16/07/2024	После редакции 05/08/2024	Принята в печать 22/08/2024
Received 16/07/2024	Accepted in revised 05/08/2024	Accepted 22/08/2024

Разработка технологии функциональных помадных конфет пребиотического действия с использованием порошка из жома топинамбура

Газибег О. Магомедов	¹	gazibek.magomedov@ya.ru	 0000-0002-7201-8387
Магомед Г. Магомедов	¹	mmg@inbox.ru	 0000-0003-2494-4973
Инесса В. Плотникова	¹	plotnikova_2506@mail.ru	 0000-0001-5959-6652
Татьяна А. Шевякова	¹	209777@mail.ru	 0000-0003-1166-2969
Виктор Е. Плотников	¹	viktor_plotnikov_1999@mail.ru	 0000-0001-6707-8337

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

Аннотация. Основным недостатком большинства помадных конфет является высокая сахароёмкость и калорийность, низкое содержание полезных эссенциально важных пищевых веществ, быстрый процесс высыхания и черствения при хранении. Актуальным является использование взамен сахара порошка из жома топинамбура, содержащего значительное количество пищевых волокон и минеральных веществ, обладающего высокими влагоудерживающими свойствами. Введение порошка из жома топинамбура в количестве от 5 до 9% способствует: ускорению структурообразования помадной массы за счет интенсификации процесса кристаллизации сахарозы; изменению реологических свойств помадной массы, а именно увеличению ее вязкости и пластической прочности; повышению дисперсности помадной массы, при этом доля кристаллов сахарозы размером менее 20 мкм в помадной массе увеличивается на 9–16%; сокращению процесса высыхания конфет при хранении; снижению сахароёмкости, калорийности и повышению пищевой ценности за счет увеличения содержания пищевых волокон и минеральных веществ. При использовании порошка из жома топинамбура в количестве 9% взамен сахара позволило получить помадные конфеты функционального назначения по содержанию растворимых пищевых волокон (31,5% от суточной потребности), которые оказывают пребиотический эффект. По сравнению с контрольным образцом, в опытном образце содержание углеводов снизилось – на 8,1%, калорийность понизилась – на 27 ккал, содержание калия повысилось – в 42,9 раза, кальция – в 3,5 раза, магния – в 4 раза, фосфора – в 12 раз, железа – в 8 раз. Следовательно, использование данного обогатителя является целесообразным и перспективным с точки зрения улучшения качества и повышения пищевой ценности изделия, разработанную технологию помадных конфет с использованием порошка из жома топинамбура можно рекомендовать для внедрения на кондитерских предприятиях.

Ключевые слова: помадные конфеты, жом топинамбура, реологические свойства, показатели качества, пищевая ценность.

Development of technology for functional prebiotic fondant candies using powder made of jerusalem artichoke pulp

Gazibeg O. Magomedov	¹	gazibek.magomedov@ya.ru	 0000-0002-7201-8387
Magomed G. Magomedov	¹	mmg@inbox.ru	 0000-0003-2494-4973
Inessa V. Plotnikova	¹	plotnikova_2506@mail.ru	 0000-0001-5959-6652
Tatiana A. Shevyakova	¹	209777@mail.ru	 0000-0003-1166-2969
Viktor E. Plotnikov	¹	viktor_plotnikov_1999@mail.ru	 0000-0001-6707-8337

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

Abstract. The main disadvantage of most fondant candies is high sugar content and calorie content, low content of useful essential nutrients, rapid drying and staling during storage. It is relevant to use jerusalem artichoke pulp powder instead of sugar, which contains a significant amount of dietary fiber and minerals with high moisture-retaining properties. The introduction of jerusalem artichoke pulp powder in an amount from 5 to 9% contributes to: acceleration of the structure formation of the fondant mass due to the intensification of the sucrose crystallization process; to change the rheological properties of the fondant, namely, to increase its viscosity and plastic strength; to increase the dispersion of the fondant, while the proportion of sucrose crystals less than 20 microns in size in the fondant increases by 9–16%; to reduce the drying process of sweets during storage; to reduce sugar content, calorie content and increase nutritional value by increasing the content of dietary fibers and mineral substances. When using jerusalem artichoke pulp powder in an amount of 9% instead of sugar, it allowed to obtain functional fondant candies in terms of the content of soluble dietary fiber (31.5% of the daily requirement), which have a prebiotic effect. Compared with the control sample, the carbohydrate content in the experimental sample decreased by 8.1%, the calorie content decreased by 27 kcal, the potassium content increased by 42.9 times, calcium by 3.5 times, magnesium by 4 times, phosphorus by 12 times, iron by 8 times. Therefore, the use of this concentrator is advisable and promising from the point of view of improving the quality and increasing the nutritional value of the product, the developed technology of fondant candies using jerusalem artichoke pulp powder can be recommended for implementation in confectionery enterprises.

Keywords: pomade candies, Jerusalem artichoke pulp, rheological properties, quality indicators, nutritional value.

Для цитирования

Магомедов Г.О., Магомедов М.Г., Плотникова И.В., Шевякова Т.А., Плотников В.Е. Разработка технологии функциональных помадных конфет пребиотического действия с использованием порошка из жома топинамбура // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 73–82. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-73-82

For citation

Magomedov G.O., Magomedov M.G., Plotnikova I.V., Shevyakova T.A., Plotnikov V.E. Development of technology for functional prebiotic fondant candies using powder made of jerusalem artichoke pulp. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 73–82. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-73-82

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

Введение

Выпускаемый ассортимент помадных конфет перенасыщен содержанием рафинированных сахаров, и в большей степени сахаром белым, который по химическому составу состоит из 99,75% сахарозы. Содержание в рецептуре помадных конфет сахара белого составляет от 60 до 90% [1]. Большое содержание сахарозы обуславливает высокую сахароёмкость и калорийность помадных конфет, в них практически отсутствуют полезные эссенциально важные пищевые вещества. Кроме того, недостатком помадных конфет из-за значительного количества сахарозы является быстрый процесс их высыхания и черствения при хранении за счет кристаллизации сахарозы и удаления свободной влаги [2].

Актуальным направлением повышения качества и пищевой ценности помадных конфет является снижение в их рецептуре содержания сахара белого и использования в виде альтернативной замены натурального недорогого обогатителя – порошка из жома топинамбура, богатого полезными растворимыми и нерастворимыми пищевыми волокнами (инулином, пектином, протопектином, гемицеллюлозой и др.), оказывающими пребиотическое действие, а также полноценным белком, минеральными веществами, нативными сахарами и витаминами (группы B, C) [3–6]. Кроме того, порошок из жома топинамбура имеет высокую влагоудерживающую способность, что позволит не только улучшить качество помадных конфет, но и продлить их свежесть, за счет повышения содержания в жидкой фазе связанной влаги и снижения свободной влаги [7].

Жом из топинамбура, как свекловичный жом, используется в России и за рубежом в основном для приготовления кормов в виде ценного кормового компонента из-за содержания полисахарида – инулина. Активными потребителями инулина в чистом виде являются российские производители пищевых продуктов, которые используют его в изделиях для здорового, диетического, специализированного и детского питания [8]. Инулин, содержащийся в порошке из жома топинамбура, как и пектиновые вещества, является важным структурным элементом, участвующим в развитии полезной микрофлоры пищеварительной системы, что поддерживает в норме работу кишечника и не дает развиваться патогенной микрофлоре, улучшает состав микробиоты, препятствует возникновению воспалительного процесса и снижает риск развития ряда заболеваний [9]. Кроме того, растворимые пищевые волокна проявляют пребиотический эффект, способствуют бактериальному синтезу витаминов B₂, B₆, PP, снижают уровень холестерина в крови, очищают организм от токсинов и

тяжелых металлов, замедляют усвоение углеводов, в результате чего они медленнее поступают в кровоток и не вызывают резкого скачка глюкозы, что стабилизирует сахар в крови (это особенно важно для диабетиков), усиливает чувство насыщения и делает его более длительным [10, 11]. Все это, в свою очередь, позволяет повысить активность иммунной системы организма, снизить риск возникновения ожирения [12], сердечно-сосудистых заболеваний (инфарктов, инсультов), онкологических заболеваний ЖКТ, сахарного диабета, метаболического синдрома и др. [13, 14].

Цель исследования – изучить возможность использования порошка из жома топинамбура (ПЖТ) в рецептуре помадных конфет взамен сахара и проанализировать его влияние на процесс структурообразования помадной массы, качество конфет после изготовления и в процессе хранения.

Объекты и методы

Объектами исследований являлся обогатитель в виде ПЖТ, который получали в научно-производственной лаборатории кафедры ТХКМЗП на базе «ВГУИТ». Технологический процесс получения ПЖТ состоит из следующих основных стадий подготовки и переработки клубней топинамбура отечественного сорта «Скороспелка», выращенного в Каширском районе Воронежской области, в порошкообразный полуфабрикат: мойка корнеплодов топинамбура и очистка их от кожицы, измельчение очищенных корнеплодов на кусочки размером 20–50 мм, получение сока и жома с помощью соковыжималки центробежного типа, высушивание влажного жома на конвективной сушилке при температуре 55–65 °C до влажности 4–5%, измельчение высушенного жома на лабораторной мельнице до размера частиц 5...30 мкм. Анализ показателей качества ПЖТ осуществляли в аналитическом центре «ВГУИТ» по следующим методикам: содержание сухого вещества по ГОСТ 31640–2012 методом высушивания до постоянной массы при температуре 105 °C; содержание белка по ГОСТ 10846–91; содержание жира по ГОСТ 29033–91; количественный и качественный состав углеводов – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ); микроэлементы – методом абсорбционной спектроскопии. В опытных образцах помадных масс и готовых конфет с различным содержанием ПЖТ, которые также являлись объектами исследования, оценивали структурно-механические и нормативные показатели качества. Эффективную вязкость помадных масс определяли на ротационном вискозиметре Воляровича марки РВ-8; соотношение твердой и жидкой фазы оценивали путем прессования помадной массы с помощью гидравлического пресса (ПГПР) при давлении 0,75–0,78 кПа до выделения из нее жидкой фазы, в которой

определяли массовую долю влаги с помощью рефрактометра; пластическую прочность помадных масс после их отливки в бюксы оценивали в процессе выстойки на структурометре марки С-1; дисперсный состав помадных корпусов определяли с помощью микроскопа марки БИОМЕД-2 (оптическая система которого смонтирована на базе цифровой фотокамеры CANON).

На первом этапе исследований определяли общий химический состав ПЖТ, результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1.
Химический состав ПЖТ
Table 1.

Chemical composition of PZT

Наименование Name	Содержание в 100 г продукта Content per 100 g of product
Вода, г Water, g	4,8
Белки, г Proteins, g	16,9
Жиры, г Fats, g	0,27
Углеводы, г, в том числе: Carbohydrates, g, including:	73,1
моносахариды: Monosaharid:	3,5
фруктоза fructose	2,8
глюкоза glucose	0,7
пищевые волокна: Fibre:	69,6
пектин pectin	4,1
протопектин Protopectin	23,8
целлюлоза cellulose	10,2
гемицеллюлоза hemicellulose	14,3
инулин inulin	17,2
Минеральные вещества, г, из них: Minerals, g, of which:	4,9
Калий, мг Potassium, mg	310,42
Кальций, мг Calcium, mg	210,64
Натрий, мг Sodium, mg	84,13
Магний, мг Magnesium, mg	212,73
Фосфор, мг Phosphorus, mg	387,49
Железо, мг Iron, mg	10,12
Витамины, мг Vitamins, mg:	
В ₁	0,065
В ₂	0,082
С	9,47

В состав ПЖТ входит значительное количество растворимых и нерастворимых полисахаридов, из которых 40% пектина и протопектина, 24,7% инулина и 35,2% целлюлозы и гемицеллюлозы. Растительные белки топинамбура являются полноценными и в них содержатся все незаменимые аминокислоты.

Органолептические и физико-химические показатели ПЖТ представлены в таблице 2.

Таблица 2.
Показатели качества ПЖТ
Table 2.

Quality indicators of railway transport

Показатель Indicator	Характеристика и полученные данные Characterisation and data obtained
Внешний вид Appearance	Порошок белого цвета White coloured powder
Вкус и запах Taste and smell	Свойственные топинамбуру, слегка сладковатый, без постороннего привкуса и запаха Typical topinambour, slightly sweet, no extraneous taste or odour
Цвет Color	Светло-коричневый Light brown
Консистенция Consistency	Сыпучая, сухая, на ощупь не липкая Bulky, dry, not sticky to the touch
Дисперсность частиц, мкм Particle dispersion, µm	5–30
Объемная масса, кг/м ³ Volumetric weight, kg/m ³	490–520
Угол естественного откоса, град. Angle of natural slope, deg.	46–52
Кислотность, град, не более Acidity, hail, not more than	10
Водоудерживающая способность, г воды/г сухого вещества Water retention capacity, g water/g dry matter	6,1–6,5

На следующем этапе работы готовили контрольный образец сахарной помадной массы по унифицированной технологии при соотношении рецептурного количества сахара белого и патоки крахмальной карамельной – 1:0,2. Опытные образцы помадных конфет с использованием ПЖТ получали при замене сахара белого на обогатитель в количестве от 5 до 9% (по сухому веществу). Для этого вначале готовили сахаро-патошный сироп по рецептурам, представленным в таблице 3.

Таблица 3.
Рецептуры опытных образцов помадных конфет

Table 3.
Recipes for experimental samples of fondant candies

Наименование Index	Массовая доля сухих веществ, % Mass fraction of dry substances, %	Расход сырья на 100 г. продукции, г					
		Контроль Control	Образцы с содержанием ПЖТ Samples containing RRT				
			5%	6%	7%	8%	9%
Сахар белый White sugar	99,85	82,89	78,02	77,07	76,12	75,17	74,22
Патока Treacle	78,00	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01
ПЖТ PZT	95,20	–	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
Итого Total	–	91,90	92,46	92,59	92,62	92,65	92,78
Выход Output	90,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Для этого сахар белый смешивали с водой (1/4 часть от массы сахара) и нагревали до полного растворения кристаллов сахарозы, после чего вносили предварительно подогретую до $t = 55 \pm 5$ °С патоку, полученную рецептурную смесь уваривали до $t = 111\text{--}112$ °С, что соответствует содержанию сухих веществ в помадном сиропе $88 \pm 1\%$. Полученные образцы помадного

сиропа далее выгружали в помадосбивальную ячейку, охлаждали до $t = 80 \pm 2$ °С и вносили определенное количество ПЖТ, после чего помадный сироп с обогатителем взбивали до получения помадной массы. В процессе взбивания помадного сиропа раствор из насыщенного переходит в пересыщенное состояние, при этом начинается процесс зарождения кристаллов сахарозы и их рост до более крупных размеров. В результате кристаллизации сахарозы образуется мелкокристаллическая помадная масса вязко-пластичной консистенции, которую после охлаждения до $t = 60\text{--}55$ °С можно формировать различными способами: либо отливкой в жесткие формы, либо методом выпрессовывания через фильеру матрицы в жгуты определенного сечения, либо размазкой (или раскаткой) в пласт с последующей поперечной и продольной резкой после выстойки на отдельные корпуса.

Результаты и их обсуждение

Опытные образцы помадных конфет с различным содержанием ПЖТ имели разный вкус и запах, цвет – от светло-кремового до светло-кофейного. Органолептические и физико-химические показатели качества полученных опытных образцов помадных конфет в сравнении с контрольным образцом представлены в таблице 4.

Таблица 4.
Органолептические и физико-химические показатели качества помадных конфет

Organoleptic and physicochemical quality indicators of fondant candies

Показатель качества	Контроль Control	Образцы Samples				
		5%	6%	7%	8%	9%
Вкус и запах Taste and smell	Сладкий, без постороннего вкуса и запаха Sweet, tasteless and odorless			Умеренно сладкий, с приятным тонким вкусом и запахом топинамбура Moderately sweet, with a pleasant delicate taste and smell of Jerusalem artichoke		
Цвет Color	Белый со светло-бежевым оттенком White with a light beige tint	Светло-кремовый Light cream		Кремовый Cream	Светло-кофейный Light Coffee	
Форма Form	Соответствует данному наименованию конфет, без деформаций Corresponds to the given name of candies, without deformations					
Поверхность Surface	Сухая, не липкая Dry, not sticky					
Массовая доля сухих веществ, % Mass fraction of dry substances, %	88,0	88,4	88,5	88,5	88,5	88,6
Массовая доля редуцирующих веществ, % Mass fraction of reducing substances, %	7,4	7,6	7,7	7,9	8,0	8,3
Соотношение твердой и жидкой фазы (Т/Ж), % Solid-liquid phase ratio (T/F), %	46,1/ 53,9	48,6/ 51,4	53,8/ 46,2	57,1/ 42,9	60,7/ 39,3	62,1/ 37,9

Введение в состав помадных конфет ПЖТ способствует изменению ее реологических свойств. С увеличением содержания ПЖТ эффективная вязкость помадных масс повышается от 5,2 до 37,4 Па·с (при скорости сдвига 30 с^{-1} , температуре $60 \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) (рисунок 1). Это объясняется большим внесением с обогатителем пищевых волокон, которые связывают влагу из-за своей высокой влагоудерживающей способности. В результате связывания влаги, толщина жидких прослоек и, соответственно, расстояние между молекулами частиц уменьшаются, при этом их взаимное притяжение возрастает, что способствует усилению межмолекулярного взаимодействия и обуславливает повышение эффективной вязкости помадных масс [15]. По зависимости изменения скорости сдвига от напряжения сдвига помадную массы можно отнести к категории упруго-вязко-пластичных тел Шведова-Бингама, для которых характерно сочетание упругой и пластической деформации (рисунок 2).

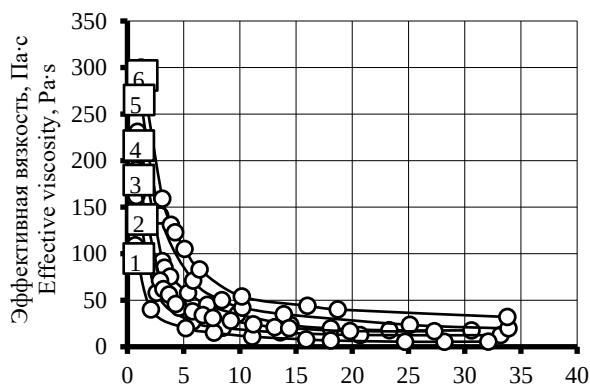


Рисунок 1. Зависимость изменения эффективной вязкости от скорости сдвига помадных масс (при $t = 60 \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) с массовой долей ПЖТ, %: 1 – 0 (контроль); 2 – 5; 3 – 6; 4 – 7; 5 – 8; 6 – 9

Figure 1. Dependence of the change in effective viscosity on the shear rate of fondant masses (at $t = 60 \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) with the mass fraction of RRT, %: 1 – 0 (control); 2 – 5; 3 – 6; 4 – 7; 5 – 8; 6 – 9

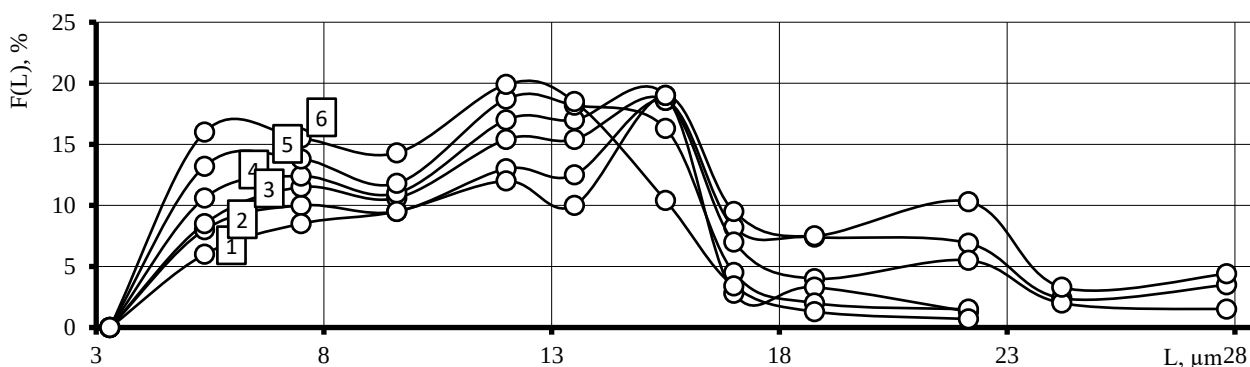


Рисунок 3. Дифференциальные кривые распределения кристаллов сахарозы по размерам в помадных конфетах с массовой долей ПЖТ, %: 1 – 0 (контроль); 2 – 5; 3 – 6; 4 – 7; 5 – 8; 6 – 9

Figure 3. Differential size distribution curves of sucrose crystals in fondant candies with a mass fraction of PJT, %: 1 – 0 (control); 2 – 5; 3 – 6; 4 – 7; 5 – 8; 6 – 9

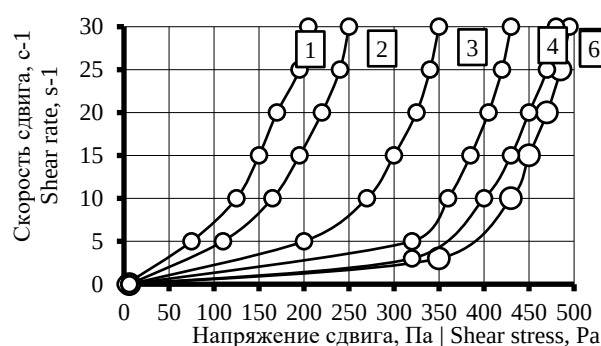


Рисунок 2. Зависимость изменения напряжения сдвига от скорости сдвига помадных масс (при $t = 60 \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) с массовой долей ПЖТ, %: 1 – 0 (контроль); 2 – 5; 3 – 6; 4 – 7; 5 – 8; 6 – 9

Figure 2. Dependence of shear stress change on the shear rate of fondant masses (at $t = 60 \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) with the mass fraction of PRT, %: 1 – 0 (control); 2 – 5; 3 – 6; 4 – 7; 5 – 8; 6 – 9

При внесении в помадный сироп ПЖТ параллельно происходят процессы адсорбции влаги и набухания высокомолекулярных соединений, при этом растет степень пересыщения раствора. В связи с этим, величина критического размера зародышей новой фазы уменьшается, центры кристаллизации образуются более легко и в большем количестве, следовательно, возрастает скорость образования центров новой фазы, в результате чего увеличивается суммарная поверхность кристаллов, на которых откладываются молекулы растворенной сахарозы.

Минеральные вещества, входящие в состав ПЖТ, снижают устойчивость пересыщенного раствора, что наряду с повышением концентрации сахарозы в растворе, сокращается величина латентного периода процесса кристаллизации и повышается его суммарную скорость. Все это способствует образованию более мелких кристаллов сахарозы, улучшению дисперсного состава и качества помады (рисунки 3, 4).

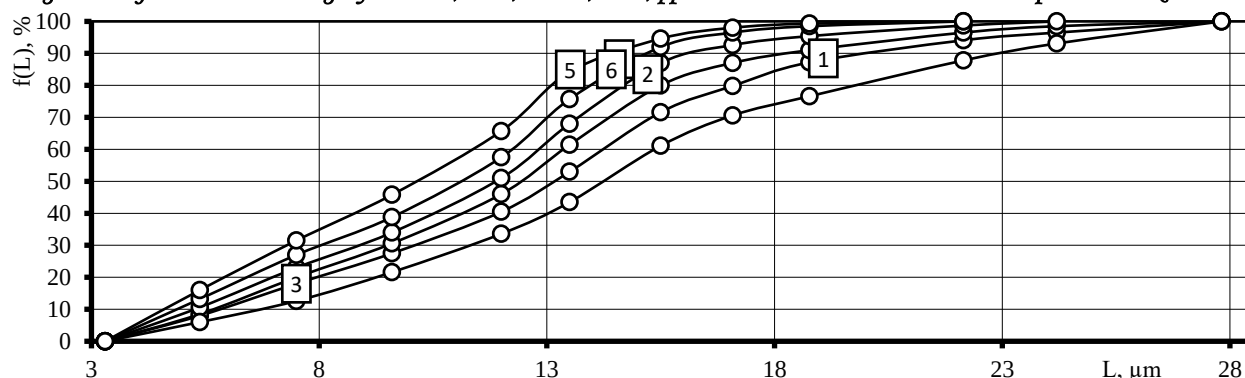


Рисунок 4. Интегральные кривые распределения кристаллов сахарозы по размерам в помадных конфетах с массовой долей ПЖТ, %: 1 – 0 (контроль); 2 – 5; 3 – 6; 4 – 7; 5 – 8; 6 – 9

Figure 4. Integral size distribution curves of sucrose crystals in fondant candies with a mass fraction of PJT, %: 1 – 0 (control); 2 – 5; 3 – 6; 4 – 7; 5 – 8; 6 – 9

В ходе исследований установлено, что добавление ПЖТ в количестве от 5% до 9%, доля кристаллов сахарозы размером менее 20 мкм в помадной массе относительно контрольного образца увеличивается на 9–16%.

В результате кристаллизации освобождается влага, участвовавшая ранее в образовании гидратных оболочек молекул сахарозы. Однако она связывается молекулами полисахаридов ПЖТ, что вместе со снижением влажности конфет приводит к увеличению массовой доли сухих веществ в жидкой фазе и снижению их до 36,4% в образце с массовой долей ПЖТ – 9% (рисунок 5).

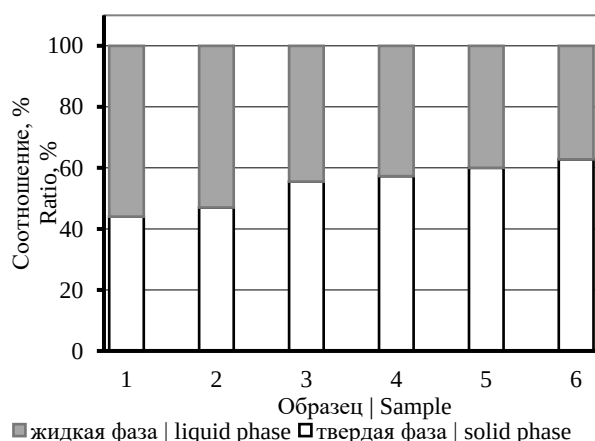


Рисунок 5. Соотношение твердой и жидкой фаз в помадных конфетах с массовой долей ПЖТ, %: 1 – 0 (контроль); 2 – 5; 3 – 6; 4 – 7; 5 – 8; 6 – 9

Figure 5. Ratio of solid and liquid phases in fondant sweets with a mass fraction of RRT, %: 1 – 0 (control); 2 – 5; 3 – 6; 4 – 7; 5 – 8; 6 – 9

Так как количество и состав межкристалльного раствора влияют на структурно-механические свойства помадной массы, то в работе исследовали зависимость изменения пластической прочности помадных корпусов

конфет с различным добавлением ПЖТ от продолжительности их выстойки (рисунок 6). Определения проводили на структурометре марки С-1.

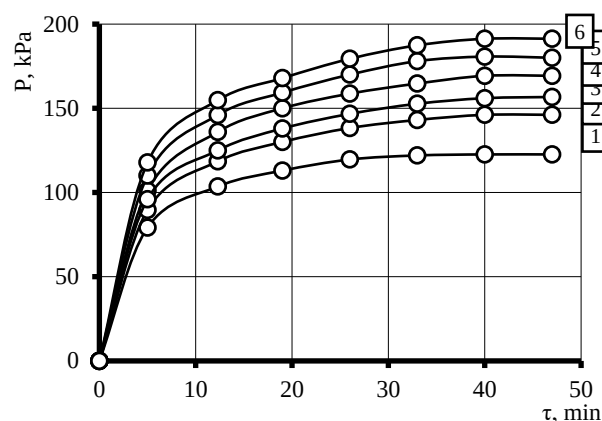


Рисунок 6. Зависимость изменения пластической прочности от продолжительности выстойки помадных корпусов конфет с массовой долей ПЖТ, %: 1 – 0 (контроль); 2 – 5; 3 – 6; 4 – 7; 5 – 8; 6 – 9

Figure 6. Dependence of the change in plastic strength on the duration of standing of fondant bodies of sweets with a mass fraction of PJT, %: 1 – 0 (control); 2 – 5; 3 – 6; 4 – 7; 5 – 8; 6 – 9

С увеличением массовой доли ПЖТ пластическая прочность образцов помадных корпусов возрастает, что объясняется снижением в них количества жидкой фазы, так как именно она обеспечивает пластичные свойства помаде. При этом структурообразование помадных корпусов конфет интенсифицируется. Образцы конфет с добавлением ПЖТ после 45 мин выстойки имеют большую пластическую прочность (145–183 кПа) по сравнению с контрольным образцом (123 кПа). Необходимая прочность для резки конфетного пласта на отдельные корпуса конфет без деформации составляет около 120 кПа, что достигается в исследуемых образцах уже через 10–15 мин выстойки.

С точки зрения повышения пищевой ценности конфет установлена рациональная дозировка ПЖТ – 9%. Введение ПЖТ более 9% затрудняет процесс перемешивания и равномерного распределения частиц порошка в помадной массе, при этом процесс кристаллизации помады происходит очень быстро, а из-за повышения вязкости формирование помадной массы затрудняется.

Известно, что в процессе хранения помадные конфеты подвержены быстрому высыханию, особенно это свойственно неглазированным корпусам конфет. Помадные массы являются дисперсными системами, которые обладают избытком свободной энергии, термодинамически неустойчивы и стремятся уменьшить дисперсность частиц путем рекристаллизации. Кристаллы сахарозы образуются в пересыщенном растворе неодновременно, поэтому твердая фаза помады полидисперсна, и ее частицы имеют разную растворимость. Различие растворимостей кристаллов приводит к тому, что дисперсионная среда оказывается пересыщенной относительно более крупных частиц и ненасыщенной относительно самых мелких. В результате при хранении помадных конфет происходит рекристаллизация, при которой одна часть кристаллов растворяется, а другая – растет. При этом на поверхности и в изломе можно наблюдать проявление белых пятен, которые являются скоплением кристаллов сахарозы, после чего наступает полное отвердевание конфет за счет интенсивного процесса кристаллизации сахарозы. Высыхание помадных конфет продолжается до установления в них равновесной влажности.

Срок хранения помадных конфет зависит от их качественного и количественного состава рецептурных компонентов, технологических параметров производства, используемого оборудования, санитарного состояния производства, вида упаковки и условий хранения. Скорость высыхания конфет зависит от многих факторов, основными из которых являются: начальная влажность конфетных корпусов, температура и относительная влажность воздуха, химический состав жидкой фазы, размер кристаллов твердой фазы, соотношение между твердой и жидкой фазой помады. Чем больше содержание жидкой фазы, тем быстрее процесс высыхания корпусов конфет. Чем выше содержание сухих веществ в помадных конфетах, тем меньше тенденция к их высыханию. Повышение температуры и снижение относительной влажности воздуха ускоряют процесс высыхания конфет [16–20].

Проводили исследования влияние содержания ПЖТ на процесс высыхания и рекристаллизацию помады в процессе хранения конфет. Конфеты хранили в сухом проветриваемом помещении при температуре $20 \pm 3^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 73–87%. Установлено, что скорость высыхания обратно пропорциональна массовой доле ПЖТ в изделиях. С повышением содержания ПЖТ в помадных конфетах потеря влаги через 57 сут хранения составила: для контрольного образца – 8,7%; для опытных образцов с содержанием ПЖТ – 5%, 6%, 7%, 8% и 9% соответственно 8,0%, 7,8%, 7,4%, 7,2% и 6,8% (рисунок 7). Следовательно, повышение содержания ПЖТ препятствует процессу высыхания конфет при хранении.

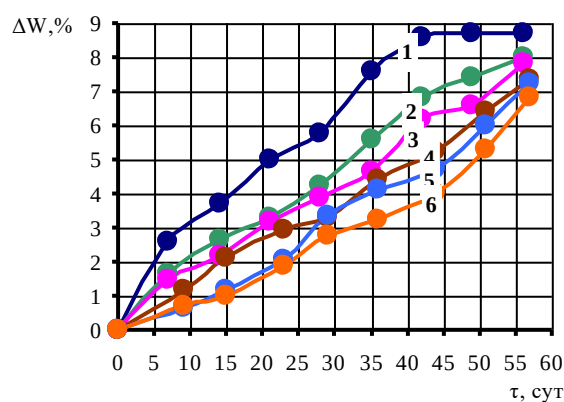


Рисунок 7. Изменение потери влаги в процессе хранения помадных конфет с массовой долей ПЖТ, %: 1 – 0 (контроль); 2 – 5; 3 – 6; 4 – 7; 5 – 8; 6 – 9

Figure 7. Change in moisture loss during storage of fondant candies with a mass fraction of PZT, %: 1 – 0 (control); 2 – 5; 3 – 6; 4 – 7; 5 – 8; 6 – 9

Проводили расчет пищевой ценности и степени удовлетворения суточной потребности в пищевых веществах при потреблении 100 г помадных конфет с добавлением ПЖТ – 9% (таблица 5).

Как видно из представленной выше таблицы, степень удовлетворения в пищевых волокнах при потреблении 100 г помадных конфет с добавлением ПЖТ – 9% составила 31,5%, следовательно, разработанный образец конфет можно отнести к группе функциональных продуктов по содержанию пищевых волокон. Кроме того, по сравнению с контрольным образцом, в опытном образце снизилось содержание углеводов – на 8,1%, понизилась калорийность – на 27 ккал, содержание калия повысилось в 42,9 раза, кальция – в 3,5 раза, магния – в 4 раза, фосфора – в 12 раз, железа – в 8 раз.

Пищевая ценность и степень удовлетворения в пищевых веществах при потреблении помадных конфет

Table 5.

Nutritional value and degree of satisfaction in nutrients from the consumption of fondant candies

Пищевые вещества	Суточная потребность в пищевых в-вах Daily requirement for nutrients	Контроль Control		Помадные конфеты с добавлением ПЖТ – 9%	
		содержание в 100 г content in 100 g	степень удовлетворения суточной потребности, % Degree of satisfaction of daily demand, %	содержание в 100 г content in 100 g	степень удовлетворения суточной потребности, % Degree of satisfaction of daily demand, %
Белки, г Proteins, g	80	–	–	0,12	0,15
Углеводы, г Carbohydrates, g	400	89,8	22,4	82,5	20,6
Жиры, г Fats, g	80	–	–	–	–
Органические кислоты, г Organic acids, g	2	–	–	0,05	2,5
Пищевые волокна, г Dietary fiber, g	20	–	–	6,3	31,5
Минеральные вещества, мг Minerals, mg					
К	3500	4,25	0,1	182,23	5,2
Na	2400	8,03	0,3	7,33	0,3
Ca	1000	3,08	0,3	10,8	1,1
Mg	400	1,17	0,3	4,64	1,2
P	800	4,32	0,5	52,0	6,5
Fe	15	0,18	1,2	1,44	9,6
Энергетическая ценность, ккал/кДж Energy value, kcal/kJ	250 / 1045	337 / 1409	13,5	310 / 1298	12,4

Заключение

Таким образом, использование в помадных конфетах взамен сахара порошка из жома топинамбура в количестве от 5 до 9% способствует: ускорению структурообразования помадной массы за счет интенсификации процесса кристаллизации сахарозы; изменению реологических свойств помадной массы, а именно увеличению ее вязкости и пластической прочности; повышению дисперсности помадной массы, при этом доля кристаллов сахарозы размером менее 20 мкм в помадной массе увеличивается на 9–16%; сокращению процесса высыхания конфет при хранении; снижению сахароемкости, калорийности и повышению пищевой ценности за счет

увеличения содержания пищевых волокон и минеральных веществ. При использовании порошка из жома топинамбура в количестве 9% взамен сахара позволило получить помадные конфеты функционального назначения по содержанию растворимых пищевых волокон, которые оказывают пребиотический эффект. Следовательно, использование данного обогатителя является целесообразным и перспективным с точки зрения улучшения качества и повышения пищевой ценности изделия, разработанную технологию помадных конфет с использованием порошка из жома топинамбура можно рекомендовать для внедрения на кондитерских предприятиях.

Литература

- 1 Магомедов Г.О., Плотникова И.В., Литвинова А.А., Магомедов М.Г. и др. Технологические аспекты приготовления жележного мармелада пониженной сахароемкости и калорийности с использованием натурального углеводосодержащего продукта // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 200–209. doi : 10.20914/2310–1202–2022–2–200–209
- 2 Plotnikova I.V., Magomedov G.O., Zharkova I.M., Miroshnichenko E.N. et al. Jelly formulated with different carbohydrate profiles: Quality evaluation // Foods and Raw Materials. 2022. V. 10. № 2. P. 262–273. doi: 10.21603/2308–4057–2022–2–535
- 3 Лисовой В.В., Купин Г.А., Казимирова М.А., Лукьяненко М.В. и др. Исследование химического состава и свойств пищевой добавки из топинамбура // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2016. № 4 (12). С. 86–89.
- 4 Horochowska M., Kołeczek E., Zdrojewicz Z., Jagiełło J. et al. Topinambour - nutritional and medical properties of the Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) // Pediatr Endocrinol Diabetes Metab. 2017. V. 23. № 1. P. 30–36. doi: 10.18544/PEDM-23.01.0071
- 5 Лисовой В.В., Першакова Т.В., Викторова Е.П., Купин Г.А., Алёшин В.Н. Характеристика и особенности современных сортов топинамбура // Труды КубГАУ. 2016. № 120(06). С. 552–562.
- 6 Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Звягинцев П.С., Мандрыка Е.А. и др. Топинамбур – уникальное растительное сырье // Пищевая промышленность. 2015. № 8. С. 16–20.
- 7 Ражина Е.В., Смирнова Е.С., Горелик О.В., Степанов А.В. и др. 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

- 8 Леонтьев В.Н., Дубарь Д.А., Лугин В.Г., Феськова Е.В. и др. Биологический потенциал топинамбура как исходного сырья для пищевой и фармацевтической промышленности // Труды БГТУ. 2014. № 4. С. 227–230.
- 9 Кайшев В.Г., Лукин Н.Д., Серегин С.Н., Корниенко А.В. Рынок инулина в России: возможности развития сырьевой базы и необходимые ресурсы для создания современного отечественно производства // Пищевая промышленность. 2018. № 5. С. 8–17.
- 10 Shao T., Yu C., Zhu T., Liu A. et al. Inulin from jerusalem artichoke tubers relieves hyperglycemia in mice with high-fat diabetes mellitus by improving the intestinal microflora // Br J Nutr. 2020. V. 123. № 3. P. 308–318. doi: 10.1017/S0007114519002332
- 11 Afoakwah N.A. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) dietary-fiber powder functionality // Heliyon. 2022. V. 8. №. 12. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e12426.
- 12 Visuthranukul C., Chamni S., Kwanbunbumpen T., Saengpanit P. et al. Effects of inulin supplementation on body composition and metabolic outcomes in children with obesity // Sci Rep. 2022. V. 12. № 1. P. 13014. doi: 10.1038/s41598-022-17220-0
- 13 Savitskaya B., Skiba D., Pulkovsky I., Aslan I. et al. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a medicinal plant and its natural products // Cellular and Molecular Biology. 2020. V. 66. №. 4. P. 160-177.
- 14 Дерканосова А.А., Курчаева Е.Е., Востроилов А.В., Звягин Р.Н. и др. Использование жома топинамбура и пробиотического препарата в составе полнорационных гранулированных комбикормов для кроликов // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 169–178. doi : 10.20914/2310–1202–2021–1–169–178
- 15 Скобельская З.Г., Хасанова С.Д., Милорадова Е.В. Новые подходы в управлении процессом кристаллизации сахарозы в производстве конфет с помадными корпусами // Пищевая промышленность. 2021. № 12. С. 8–11. doi:10.52653/PPI.2021.12.12.001
- 16 Хасанова С.Д., Скобельская З.Г. Продление сроков хранения помадных конфет // Пищевая промышленность. 2009. № 9. С. 54–55.
- 17 Nummer B.A., Shrestha S., Smith J.V. Survival of Salmonella in a high sugar, low water-activity, peanut butter flavored candy fondant // Food Control. 2012. V. 27. №. 1. P 184-187.
- 18 Hartel R.W., Hartel A., Hartel R.W., Hartel A. Maple Syrup Candies: A Natural Treat? // Candy Bites: The Science of Sweets. 2014. P. 105-109.
- 19 Silva I.S.O., Viana E.D.S., Soares S.E., Chaves R.S. et al. Development and characterization of green banana-based fondant icing // Ciência e Agrotecnologia. 2021. V. 45. P. e011221.
- 20 Smolikhina P.M., Muratova E.I., Dvoretzky S.I. The study of structure formation processes in the confectionery mass // Advanced Materials & Technologies. 2016. №. 2. P. 43-47.

References

- 1 Magomedov G.O., Plotnikova I.V., Litvinova A.A., Magomedov M.G. et al. Technological aspects of the preparation of jelly marmalade with reduced sugar content and caloric content using a natural carbohydrate-containing product. Proceedings of VSUET. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 200–209. doi: 10.20914/2310–1202–2022–2–200–209 (in Russian).
- 2 Plotnikova I.V., Magomedov G.O., Zharkova I.M., Miroshnichenko E.N. et al. Jelly formulated with different carbohydrate profiles: Quality evaluation. Foods and Raw Materials. 2022. vol. 10. no. 2. pp. 262–273. doi: 10.21603/2308–4057–2022–2–535
- 3 Lisovoy V.V., Kupin G.A., Kazimirova M.A., Lukyanenko M.V. et al. Study of the chemical composition and properties of a food additive from Jerusalem artichoke. Technologies of food and processing industry of the agro-industrial complex – healthy food products. 2016. no. 4 (12). pp. 86–89. (in Russian).
- 4 Horochowska M., Kołeczek E., Zdrojewicz Z., Jagiełło J. et al. Topinambour - nutritional and medical properties of the Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Pediatr Endocrinol Diabetes Metab.* 2017. vol. 23. no. 1. pp. 30-36. doi: 10.18544/PEDM-23.01.0071 (in Polish).
- 5 Lisovoy V.V., Pershakova T.V., Viktorova E.P., Kupin G.A., Aleshin V.N. Characteristics and features of modern varieties of Jerusalem artichoke. Proceedings of KubSAU. 2016. no. 120(06). pp. 552–562. (in Russian).
- 6 Starovoytov V.I., Starovoytova O.A., Zvyagintsev P.S., Mandryka E.A. et al. Jerusalem artichoke is a unique plant raw material. Food industry. 2015. no. 8. pp. 16–20. (in Russian).
- 7 Razhina E.V., Smirnova E.S., Gorelik O.V., Stepanov A.V. et al. Analysis of the functional and technological potential of using Jerusalem artichoke in food production. Proceedings of VSUET. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 143–148. doi: 10.20914/2310–1202–2023–1–143–148 (in Russian).
- 8 Leontiev V.N., Dubar D.A., Lugun V.G., Feskova E.V. et al. Biological potential of Jerusalem artichoke as a raw material for the food and pharmaceutical industries. Proceedings of BSTU. 2014. no. 4. pp. 227–230. (in Russian).
- 9 Kaishev V.G., Lukin N.D., Seregin S.N., Kornienko A.V. The inulin market in Russia: opportunities for developing the raw material base and the necessary resources for creating a modern domestic production. Food industry. 2018. no. 5. pp. 8–17. (in Russian).
- 10 Shao T., Yu C., Zhu T., Liu A. et al. Inulin from jerusalem artichoke tubers relieves hyperglycemia in mice with high-fat diabetes mellitus by improving the intestinal microflora. *Br J Nutr.* 2020. vol. 123. no. 3. pp. 308–318. doi: 10.1017/S0007114519002332
- 11 Afoakwah N.A. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) dietary-fiber powder functionality. *Heliyon.* 2022. vol. 8. no. 12. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e12426.
- 12 Visuthranukul C., Chamni S., Kwanbunbumpen T., Saengpanit P. et al. Effects of inulin supplementation on body composition and metabolic outcomes in children with obesity. *Sci Rep.* 2022. vol. 12. no. 1. pp. 13014. doi: 10.1038/s41598-022-17220-0
- 13 Savitskaya B., Skiba D., Pulkovsky I., Aslan I. et al. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a medicinal plant and its natural products. *Cellular and Molecular Biology.* 2020. vol. 66. no. 4. pp. 160-177.
- 14 Derkanosova A.A., Kurchaeva E.E., Vostroilov A.V., Zvyagin R.N. et al. Use of Jerusalem artichoke pulp and a probiotic preparation in complete granulated compound feed for rabbits. Proceedings of VSUET. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 169–178. doi: 10.20914/2310–1202–2021–1–169–178 (in Russian).

15 Skobelskaya Z.G., Khasanova S.D., Miloradova E.V. New approaches to managing the sucrose crystallization process in the production of candies with fondant bodies. *Food industry*. 2021. no. 12. pp. 8–11. doi:10.52653/PPI.2021.12.12.001 (in Russian).

16 Khasanova S.D., Skobelskaya Z.G. Extending the shelf life of fondant sweets. *Food industry*. 2009. no. 9. pp. 54–55. (in Russian).

17 Nummer B.A., Shrestha S., Smith J.V. Survival of Salmonella in a high sugar, low water-activity, peanut butter flavored candy fondant. *Food Control*. 2012. vol. 27. no. 1. .pp. 184–187.

18 Hartel R.W., Hartel A., Hartel R.W., Hartel A. Maple Syrup Candies: A Natural Treat? Candy Bites: The Science of Sweets. 2014. pp. 105–109.

19 Silva I.S.O., Viana E.D.S., Soares S.E., Chaves R.S. et al. Development and characterization of green banana-based fondant icing. *Ciência e Agrotecnologia*. 2021. vol. 45. pp. e011221.

20 Smolikhina P.M., Muratova E.I., Dvoretzky S.I. The study of structure formation processes in the confectionery mass. *Advanced Materials & Technologies*. 2016. no. 2. pp. 43–47.

Сведения об авторах

Газибег О. Магомедов д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gazibek.magomedov@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7201-8387>

Магомед Г. Магомедов д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mmg@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2494-4973>

Инеcса В. Плотникова к.т.н., доцент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, plotnikova_2506@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5959-6652>

Татьяна А. Шевякова к.т.н., доцент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, 209777@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1166-2969>

Виктор Е. Плотников аспирант, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, viktor_plotnikov_1999@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6707-8337>

Вклад авторов

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

Gazibeg O. Magomedov Dr. Sci. (Engin.), professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gazibek.magomedov@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7201-8387>

Magomed G. Magomedov Dr. Sci. (Engin.), professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, mmg@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2494-4973>

Inessa V. Plotnikova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, plotnikova_2506@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5959-6652>

Tatiana A. Shevyakova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, 209777@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1166-2969>

Viktor E. Plotnikov graduate student, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, viktor_plotnikov_1999@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6707-8337>

Contribution

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 22/07/2024	После редакции 09/08/2024	Принята в печать 31/08/2024
Received 22/07/2024	Accepted in revised 09/08/2024	Accepted 31/08/2024

Влияние культур *Bacillus Subtilis* на развитие болезней листового аппарата сахарной свеклы

Надежда В. Безлер ¹	bezler@list.ru	 0000-0001-9371-9564
Ольга А. Федорова ¹	fed-olga78@mail.ru	 0000-0001-7581-6141
Юлия Н. Санеева ¹	usaneeva69@gmail.com	 0000-0003-4137-1150
Валерий Д. Цомаея ¹	valera-comaya@ya.ru	 0000-0003-2714-3434

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А. Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия

Аннотация. Проблема использования в сельском хозяйстве химических средств защиты растений обостряется за счет их негативного действия на окружающую среду и получаемую продукцию. Интенсивное применение фунгицидов, гербицидов, инсектицидов против болезней, сорняков и вредителей в сельхозпроизводстве приводит к снижению плодородия почвы и качества продукции, сокращению агрономически ценных микроорганизмов. Повышается актуальность биологической защиты растений. Для восстановления гомеостаза микробного сообщества почвы, получения высокой и экологически безопасной продукции необходимо использовать биологические способы борьбы с заболеваниями сахарной свеклы. Для этого разрабатываются микробиологические биопрепараты на основе штаммов микробов-антагонистов фитопатогенов, один из них – *Bacillus subtilis*. Приведены результаты полевых исследований по влиянию внесения суспензии аборигенных штаммов *Bacillus Subtilis* на интенсивность развития и распространенность основных заболеваний листового аппарата сахарной свеклы. Согласно результатам исследований, суспензии штаммов *Bacillus subtilis* 20 и 17(8) проявляют себя эффективно в борьбе с такими заболеваниями как: альтернариоз, церкоспороз, фомоз, вирусная желтуха, мучнистая роса. Обработка листового аппарата микроорганизмами-антагонистами *Bacillus subtilis* 20 и *Bacillus subtilis* 17/8 способствовала увеличению урожайности корнеплодов сахарной свеклы на 5,2-10,7 т/га. Это связано с тем, что интродуценты успешно заселяли филлоплану развивающихся растений и почву, оптимизировали структуру микробного сообщества, способствовали снижению заболевания листового аппарата сахарной свеклы.

Ключевые слова: сахарная свекла, эффективные штаммы, *Bacillus subtilis*, альтернариоз, церкоспороз, фомоз, вирусная желтуха, мучнистая роса, урожайность.

Influence of *Bacillus Subtilis* cultures on the development of diseases of the leaf apparatus of shugar beet

Nadezhda V. Bezler ¹	bezler@list.ru	 0000-0001-9371-9564
Olga A. Fedorova ¹	fed-olga78@mail.ru	 0000-0001-7581-6141
Julia N. Saneeva ¹	usaneeva69@gmail.com	 0000-0003-4137-1150
Valeriy D. Tsomaia ¹	valera-comaya@ya.ru	 0000-0003-2714-3434

¹ All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar named after A. L. Mazlumov, VNISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia

Abstract. The problem of using chemical plant protection products in agriculture is exacerbated by their negative impact on the environment and the resulting products. Intensive use of fungicides, herbicides, insecticides against diseases, weeds and pests in agricultural production leads to a decrease in soil fertility and product quality, a reduction in agronomically valuable microorganisms. The relevance of biological plant protection increases. To restore the homeostasis of the soil microbial community, to obtain high and environmentally safe products, it is necessary to use biological methods of combating sugar beet diseases. For this purpose, microbiological biopreparations are being developed based on strains of microbes that are antagonists of phytopathogens, one of them is *Bacillus subtilis*. The results of field studies on the effect of introducing a suspension of native strains of *Bacillus subtilis* on the intensity of development and prevalence of the main diseases of the leaf apparatus of sugar beet are presented. According to the research results, suspensions of *Bacillus subtilis* 20 and 17(8) strains are effective in combating diseases such as: alternaria, cercospora, phomosis, viral jaundice, powdery mildew. Treatment of the leaf apparatus with antagonist microorganisms *Bacillus subtilis* 20 and *Bacillus subtilis* 17/8 contributed to an increase in the yield of sugar beet root crops by 5.2-10.7 t/ha. This is due to the fact that the introducers successfully populated the phylloplane of developing plants and the soil, optimized the structure of the microbial community, and contributed to a decrease in the disease of the leaf apparatus of sugar beet.

Keywords: sugar beet, effective strains, *Bacillus subtilis*, alternaria, cercospora, phomosis, viral yellows, powdery mildew, yield.

Для цитирования

Безлер Н.В., Федорова О.А., Санеева Ю.Н., Цомаея В.Д. Влияние культур *Bacillus Subtilis* на развитие болезней листового аппарата сахарной свеклы // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 83–88. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-83-88

For citation

Bezler N.V., Fedorova O.A., Saneeva Ju.N., Tsomaia V.D. Influence of *Bacillus Subtilis* cultures on the development of diseases of the leaf apparatus of shugar beet. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 83–88. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-83-88

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

Введение

В последние десятилетия проблема использования в сельском хозяйстве химических средств защиты растений обостряется за счет их негативного действия на окружающую среду и получаемую продукцию. Интенсивное применение фунгицидов, гербицидов, инсектицидов против болезней, сорняков и вредителей в сельхозпроизводстве приводит к снижению плодородия почвы и качества продукции, сокращению агрономически ценных микроорганизмов. Под влиянием химических средств загрязняется окружающая среда, что сопровождается нарушением круговорота азота, снижением супрессивности почвы, а выработка резистентности у фитопатогенов к пестицидам приводит к нежелательному увеличению норм расхода химикатов [1, 2]. Таким образом, повышается актуальность биологической защиты растений. Для восстановления гомеостаза микробного сообщества почвы, получения высокой и экологически безопасной продукции необходимо использовать биологические способы борьбы с заболеваниями сахарной свеклы. Для этого разрабатываются микробиологические биопрепараты на основе штаммов микробов-антагонистов фитопатогенов. Один из них – *Bacillus subtilis*, аборигенный штамм, который, адаптируясь к природным условиям места обитания, проявляет антагонистические свойства по отношению возбудителям заболеваний сахарной свеклы. К тому же, у многих видов рода *Bacillus* установлено продуцирование в почву физиологически активных веществ. Поэтому цель исследований – создать систему защиты сахарной свёклы от болезней листового аппарата на основе наиболее перспективных аборигенных штаммов *Bacillus subtilis* – антагонистов почвенных патогенов [3, 4].

Материалы и методы

Исследования проводили в полевых условиях на новом опытном поле ВНИИСС в посевах сахарной свеклы в зернопаропропашном севообороте с чередованием культур: пар – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень. Технология возделывания культуры – общепринятая для ЦЧР. Для посева использовали семена диплоидного гибрида РМС 127. В качестве объекта исследования были взяты штаммы бактерий-антагонистов *Bacillus subtilis* 20 и 17(8), выделенные из ризосферы сахарной свеклы и почвы. Культуры хранятся в коллекции эффективных микроорганизмов в лаборатории

агроэкологических методов исследований свекловичных агроценозов ВНИИСС. Микроорганизмы поддерживаются методом периодических пересевов на твердой питательной среде МПС. В полевом опыте посевы сахарной свеклы опрыскивали суспензией штаммов *Bacillus subtilis* 20 и 17(8) (использовалась водопроводная вода) с титром жизнеспособных бактериальных клеток 10^{10} КОЕ/мл. Расход рабочей жидкости – 200 л/га. В качестве контроля был взят вариант без обработки бактериальной суспензией, а в качестве стандарта – вариант с обработкой препаратом Алирин-Б. Учет основных болезней листового аппарата проводили в соответствии с «Основными методами фитопатологических исследований» под ред. Чумакова Е.А. (1974), а также «Рекомендациями по учету и выявлению вредителей и болезней...» (1984) [3, 5, 6].

Урожайность корнеплодов учитывали количественно-весовым методом путем подсчета и взвешивания корнеплодов с учетных делянок [7], сахаристость корнеплодов – определяли на автоматической поточной линии VENEMA, сбор сахара – расчетным методом [7].

Схема полевого опыта включала следующие варианты:

- 1) Контроль;
- 2) Эталон – обработка биопрепаратом «Алирин-Б» превентивно, $0,26 \times 10 \times 9$ *Bacillus subtilis* визр-10/м²
- 3) Обработка штаммом *Bacillus subtilis* 17(8) превентивно, 2×10^{10} кл/м²;
- 4) Обработка штаммом *Bacillus subtilis* 20 превентивно, 2×10^{10} кл/м²;

Повторность опыта – 4-х кратная. Площадь делянки 54 м². Расположение делянок систематическое.

Результаты и обсуждение

Нерациональное использование химических средств защиты привели к деградации почвенного покрова, в частности, увеличению фитотоксичности, что изменяет соотношение групп микроорганизмов в сторону увеличения патогенной микрофлоры. Болезни растений снижают урожай на 16% [8, 15]. Обработка растений по вегетации *Bacillus subtilis* снижает интенсивность развития или распространенность заболеваний сахарной свеклы, за счет антагонистических свойств штамма по отношению к возбудителям заболеваний свекловичной культуры. В результате работы на полевом опыте были определены основные заболевания сахарной свеклы (таблица 1).

Таблица 1.

Болезни листового аппарата сахарной свеклы

Table 1.

Diseases of the leaf apparatus of sugar beet

Вариант Variant	Альтернариоз Alternaria		Церкоспороз Cercospora		Желтуха Jaundice		Фомоз Phoma	Мучнистая роса Powdery mildew	
	R(%)	P(%)	R(%)	P(%)	R(%)	P(%)	P%	R(%)	P(%)
Контроль Control	0,53	10,33	0,33	6,30	5,47	20,77	14,3	0,60	5,00
Алирин-Б Alirin-b	0,53	10,00	0,13	3,10	3,57	13,23	8,95	0,53	4,00
<i>Bacillus subtilis</i> 20	0,40	8,33	0,27	5,27	4,47	16,03	12,01	0,57	4,00
<i>Bacillus subtilis</i> 17(8)	0,37	8,33	0,30	4,43	2,67	10,17	12,33	0,37	2,67

R – интенсивность развития болезни, P – распространенность болезни

R is the intensity of the disease, P is the prevalence of the disease

Возбудитель церкоспороза – гриб *Cercospora beticola* Sacc. Болезнь приводит к увеличению содержания восстанавливающих сахаров, использование сахара в общем метаболизме сокращается. При церкоспорозе усиливается транспирация, что приводит к снижению веса корнеплода [8].

В условиях вегетационного периода 2023 года церкоспороз не получил значительного распространения. Так в контрольном варианте интенсивность развития болезни составила 0,33%, а распространенность – 6,3%. Использование препарата «Алирин-Б» способствовало сдерживанию интенсивности развития до 0,13%, а распространенности – до 3,10%. По результатам исследования препарат действительно способствует сдерживанию распространения и развития церкоспороза.

При обработке посевов *Bacillus subtilis* 20 и *Bacillus subtilis* 17(8) интенсивность развития церкоспороза составляла 0,27 и 0,30%, а распространенность – 5,27 и 4,43% соответственно. Обработка штаммами *Bacillus subtilis* 20 и 17(8) несколько улучшает состояние растений и защищает от болезни.

Фомоз (зональная пятнистость). Возбудителем болезни является гриб *Phoma betae* Frank. Вредоносность болезни велика, так как она приводит к снижению сахаристости, уменьшению урожая семян и их всхожести [8].

Обработка биологическим препаратом «Алирин-Б» имеет достаточно высокий уровень защиты растения от болезни: распространенность фомоза составила 8,95% (в контроле – 14,2). Однако, стоит отметить, что обработка суспензией *Bacillus subtilis* 20 и 17(8) так же имеет положительный результат и можно сделать вывод, что обработка превентивно в дозе 2×10^{10} кл/м² имеет тенденцию к защите растений сахарной свеклы от болезни.

Альтернариоз. Болезнь начинается с повреждения краев листьев, распространяясь к середине листа, и имеет вид бурых пятен. Возбудителем заболевания является *Alternaria alternata*. Поражение альтернариозом отмечается во время вегетации, интенсивность развития

нарастает к концу вегетации при продолжительной дождливой погоде [8].

Наиболее сильная распространенность заболевания отмечена в контроле и при обработке «Алирин-Б» до 10,33%, а интенсивность развития – до 0,53%.

Использование при обработке посевов *Bacillus subtilis* 20 и *Bacillus subtilis* 17(8) снижает распространенность до 8,33%, а интенсивность развития до 0,40% и 0,37% соответственно.

Мучнистая роса (эризифоз). Признаки болезни проявляются в виде мучнистого налета, который покрывает обе стороны листовой поверхности. Возбудителем болезни является гриб *Erysiphe communis* Grev f. sp. *Betae* Jacz. Болезнь приводит к раннему отмиранию листьев, уменьшению урожая корнеплодов в среднем на 11%, сахаристости – на 0,5–1,5%, показатель лежкости корнеплодов при хранении снижается [8].

Обработка посевов «Алирин-Б» и *Bacillus subtilis* 20 и 17(8) способствовала снижению распространения мучнистой росы до 4,00–2,67%, а интенсивность развития болезни до 0,53–0,37%, что подтверждает возможности штамма защищать растения от патогенов.

Вирусная желтуха. Желтуха сахарной свеклы вызывается двумя видами вирусов: *Beet yellow* и *Beet mild yellowing virus*, с преобладанием первого вида, проявляется в середине вегетации и представлена на более старых листьях в виде пожелтения, которое начинается с края листа и увеличивается к середине. Постепенно все листья желтеют. Заболевание способствует снижению урожая корнеплодов и их сахаристости, а также увеличению содержания мелассы, азотных веществ и зольных соединений [8].

По результатам исследований желтуха наиболее интенсивно развитое и распространенное заболевание на опыте, что связано с быстрым развитием болезни от очага заражения. Так, контрольный вариант имеет интенсивность развития 5,47%, распространенность 20,77%.

Обработка препаратом «Алирин-Б» снижает интенсивность развития желтухи до 3,53%, а распространенность – до 13,21%, что доказывает эффективность препарата. Обработка суспензией

Bacillus subtilis 20 снижает интенсивность и распространенность заболевания до 4,47 и 16,03 соответственно. При обработке суспензией *Bacillus subtilis* 17(8) интенсивность развития и распространенность имеет самые маленькие показатели: 2,67 и 10,17% соответственно, что позволяет говорить о том, что обработка защищает листовую аппарат сахарной свеклы.

Благодаря изменениям в ризосфере и фотосинтетическом аппарате культуры сахарной свеклы при внесении штаммов антагонистов-патогенов создана предпосылка для повышения ее продуктивности. Интегральным показателем продуктивности сахарной свеклы служит сбор сахара с гектара, который в большей степени связан с ее урожайностью (таблица 2).

Таблица 2.
Продуктивность сахарной свеклы
Table 2.
Productivity of the sugar beet

Вариант Variant	Урожайность Productivity		Сахаристость Sugar content		Сбор сахара Sugar harvest	
	т/га	±d	%	±d	т/га	±d
Контроль Control	17,2		18,42		3,17	
Алирин-Б Alirin-b	22,4	5,2	18,01	-0,41	4,03	0,86
<i>B.subtilis</i> 20	27,9	10,7	17,92	-0,50	4,99	1,82
<i>B.subtilis</i> 17 (8)	24,1	6,9	18,39	-0,03	4,43	1,26
НСР ₀₅		3,6		-		

Урожайность сахарной свеклы в контроле составила 17,2 т/га. Следует отметить, что по объективным причинам сахарную свеклу посеяли 29 мая. Удобрения не вносили. Обработка листового аппарата штаммами *Bacillus subtilis* 20, *Bacillus subtilis* 17/8, способствовала росту урожайности корнеплодов до 27,9 и 24,1 т/га (прибавка урожая – 10,7 и 6,9 т/га). Достоверного влияния на сахаристость корнеплодов выявлено не было: его содержание составило 17,92 и 18,29%. Несмотря на это, был отмечен рост сбора сахара с гектара на 1,82 и 1,26 т/га за счет увеличения урожайности корнеплодов.

Заключение

Согласно результатам исследований препарат «Алирин-Б» имеет высокую степень защиты от наиболее распространенных заболеваний сахарной свеклы, однако результаты доказывают, что суспензии *Bacillus subtilis* 20 и 17(8) действуют аналогично препарату «Алирин-Б», и даже в некоторых случаях проявляют себя более эффективно. Обработка листового аппарата сахарной свеклы микроорганизмами-антагонистами *Bacillus subtilis* 20 и *Bacillus subtilis* 17/8 способствовала росту урожайности корнеплодов. Это связано с тем, что интродуценты успешно заселяли филлоплану развивающихся растений и почву, оптимизировали структуру микробного сообщества, способствовали снижению заболевания листового аппарата сахарной свеклы.

Литература

- 1 Козлова Е.А. Биологизация систем защиты сельскохозяйственных культур от болезней // Вестник аграрной науки. 2022. № 1 (94). С. 28–33.
- 2 Тихонович И.А., Кожемяков А.П., Чеботарь В.К. и др. Биопрепараты в сельском хозяйстве (Методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве). М.: Россельхозакадемия. 2005. 154 с.
- 3 Павлюшин И.А., Новикова И.И., Бойкова И.В. Микробиологическая защита растений в технологиях фитосанитарной оптимизационной агроэкосистем: теория и практика // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 59. № 3. С. 421–438.
- 4 Сумская М.А. Применение бактериальной суспензии *Bacillus subtilis* на семенных растениях сахарной свеклы // Сахарная свекла. 2018. № 3. С. 33–37.
- 5 Lastochkina O., Pusenkova L., Yuldashev R., Ilyasova E.Y. et al. Effect of *Bacillus subtilis* based microbials on physiological and biochemical parameters of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants infected with *Alternaria alternata* // Sel'skhozyaistvennaya Biologiya. 2018. V. 53. P. 958-968.
- 6 El-Fawy M.M., Abo-Elyousr K.A., Ahmed S.A., Korrat R.A. et al. Efficacy of N-alkyl dimethyl benzyl ammonium chloride and *Bacillus subtilis* for control of *Cercospora* leaf spot disease of sugar beet: in vitro and in vivo studies // Gesunde Pflanzen. 2023. V. 75. №. 6. P. 2247-2256. doi: 10.1007/s10343-023-00921-5
- 7 Sehseh M.D., El-Kot G.A., El-Nogoumy B.A., Alorabi M. et al. Efficacy of *Bacillus subtilis*, *Moringa oleifera* seeds extract and potassium bicarbonate on *Cercospora* leaf spot on sugar beet // Saudi journal of biological sciences. 2022. V. 29. №. 4. P. 2219-2229.
- 8 Sarhan E.A.D. Induction of induced systemic resistance in fodder beet (*Beta vulgaris* L.) to *Cercospora* leaf spot caused by (*Cercospora beticola* Sacc.) // Egyptian Journal of Phytopathology. 2018. V. 46. №. 2. P. 39-59.
- 9 Емцев В.Т. Микробиология: учебник для вузов. М.: Дрофа, 2014. 445 с.
- 10 Ahmed M.F.A., Mikhail S.P.H., Shaheen S.I. Performance efficiency of some biocontrol agents on controlling *Cercospora* leaf spot disease of sugar beet plants under organic agriculture system // European Journal of Plant Pathology. 2023. V. 167. №. 2. P. 145-155. doi: 10.3390/растения 11233258
- 11 Hassan Hameed S.H. Potential Impacts of Eminent Fungicide, Certain Bacterial and Fungal Antagonists for Controlling *Cercospora* Leaf Spot Disease in Sugar Beet // Journal of Sustainable Agricultural Sciences. 2023. V. 49. №. 1. P. 1-12.
- 12 Esh A., Taghian S. Etiology, epidemiology, and management of sugar beet diseases // Sugar beet cultivation, management and processing. Singapore, Springer Nature Singapore, 2022. P. 505-540. doi: 10.1007/978-981-19-2730-0_25
- 13 El-Nogoumy B.A., Salem M.A., El-Kot G.A., Hamden S. et al. Evaluation of the impacts of potassium bicarbonate, *Moringa oleifera* seed extract, and *Bacillus subtilis* on sugar beet powdery mildew // Plants. 2022. V. 11. №. 23. P. 3258.

- 14 Sauka D.H. et al. Characterization of an Argente isolate of *Bacillus thuringiensis* similar to the HD-1 strain // Neotropical Entomology. 2010. V. 39. № 5. P. 767–773.
- 15 Khan M.R., Siddiqui Z.A. Potential of *Pseudomonas putida*, *Bacillus subtilis*, and their mixture on the management of *Meloidogyne incognita*, *Pectobacterium betavascularum*, and *Rhizoctonia solani* disease complex of beetroot (*Beta vulgaris* L.) // Egyptian Journal of Biological Pest Control. 2019. V. 29. P. 1-14. doi: 10.1186/s41938-019-0174-0
- 16 Miljković D., Marinković J., Balešević-Tubić S. The significance of *Bacillus* spp. in disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops // Microorganisms. 2020. V. 8. № 7. P. 1037. doi: 10.3390/microorganisms8071037
- 17 El Housni Z., Ezrari S., Radouane N., Tahiri A. et al. Evaluating Rhizobacterial Antagonists for Controlling *Cercospora beticola* and Promoting Growth in *Beta vulgaris* // Microorganisms. 2024. V. 12. № 4. P. 668. doi: 10.3390/microorganisms12040668
- 18 Руденко Т.С., Хуссейн А.С., Безлер Н.В., Налбандян А.А. Идентификация и применение аборигенных изолятов *Bacillus subtilis* в агроценозе сахарной свёклы // Сахар. 2021. № 6. С. 52-56.
- 19 Ласточкина О.В., Пусенкова Л.И., Юлдашев Р.А., Ильясова Е.Ю. Физиолого-биохимические ответы растений сахарной свёклы (*Beta vulgaris* L.), зараженных грибом *Alternaria alternata*, на применение микробных препаратов на основе *Bacillus subtilis* // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 5. С. 958-968.
- 20 Смирнов М.А., Селиванова Г.А. Влияние фунгицидов на возбудителей кагатной гнили маточных корнеплодов сахарной свёклы // Сахар. 2019. № 6. С. 39-41.

References

- 1 Kozlova E.A. Biologization of crop protection systems against diseases. Bulletin of agricultural science. 2022. no. 1 (94). pp. 28–33. (in Russian).
- 2 Tikhonovich I.A., Kozhemyakov A.P., Chebotar V.K. et al. Biological products in agriculture (Methodology and practice of using microorganisms in crop production and forage production). Moscow, Russian Agricultural Academy. 2005. 154 p. (in Russian).
- 3 Pavlyushin I.A., Novikova I.I., Boykova I.V. Microbiological plant protection in technologies of phytosanitary optimization of agroecosystems: theory and practice. Agricultural biology. 2020. vol. 59. no. 3. pp. 421–438. (in Russian).
- 4 Sumskaya M.A. Application of bacterial suspension *Bacillus subtilis* on seed plants of sugar beet. Sugar beet. 2018. no. 3. pp. 33–37. (in Russian).
- 5 Lastochkina O., Pusenkov L., Yuldashev R., Ilyasova E.Y. et al. Effect of *Bacillus subtilis* based microbials on physiological and biochemical parameters of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants infected with *Alternaria alternata*. Sel'skokhozyaystvennaya Biologiya. 2018. vol. 53. pp. 958-968.
- 6 El-Fawy M.M., Abo-Elyousr K.A., Ahmed S.A., Korrat R.A. et al. Efficacy of N-alkyl dimethyl benzyl ammonium chloride and *Bacillus subtilis* for control of *Cercospora* leaf spot disease of sugar beet: in vitro and in vivo studies. Gesunde Pflanzen. 2023. vol. 75. no. 6. pp. 2247-2256. doi: 10.1007/s10343-023-00921-5
- 7 Sehsah M.D., El-Kot G.A., El-Nogoumy B.A., Alorabi M. et al. Efficacy of *Bacillus subtilis*, *Moringa oleifera* seeds extract and potassium bicarbonate on *Cercospora* leaf spot on sugar beet. Saudi journal of biological sciences. 2022. vol. 29. no. 4. pp. 2219-2229.
- 8 Sarhan E.A.D. Induction of induced systemic resistance in fodder beet (*Beta vulgaris* L.) to *Cercospora* leaf spot caused by (*Cercospora beticola* Sacc.). Egyptian Journal of Phytopathology. 2018. vol. 46. no. 2. pp. 39-59.
- 9 Emtsev V.T. Microbiology: textbook for universities. Moscow, Drofa, 2014. 445 p. (in Russian).
- 10 Ahmed M.F.A., Mikhail S.P.H., Shaheen S.I. Performance efficiency of some biocontrol agents on controlling *Cercospora* leaf spot disease of sugar beet plants under organic agriculture system. European Journal of Plant Pathology. 2023. vol. 167. no. 2. pp. 145-155.
- 11 Hassan Hameed S.H. Potential Impacts of Eminent Fungicide, Certain Bacterial and Fungal Antagonists for Controlling *Cercospora* Leaf Spot Disease in Sugar Beet. Journal of Sustainable Agricultural Sciences. 2023. vol. 49. no. 1. pp. 1-12.
- 12 Esh A., Taghian S. Etiology, epidemiology, and management of sugar beet diseases. Sugar beet cultivation, management and processing. Singapore, Springer Nature Singapore, 2022. pp. 505-540. doi: 10.1007/978-981-19-2730-0_25
- 13 El-Nogoumy B.A., Salem M.A., El-Kot G.A., Hamden S. et al. Evaluation of the impacts of potassium bicarbonate, *Moringa oleifera* seed extract, and *Bacillus subtilis* on sugar beet powdery mildew. Plants. 2022. vol. 11. no. 23. pp. 3258.
- 14 Sauka D.H. et al. Characterization of an Argente isolate of *Bacillus thuringiensis* similar to the HD 1 strain. Neotropical Entomology. 2010. vol. 39. no. 5. pp. 767–773.
- 15 Khan M.R., Siddiqui Z.A. Potential of *Pseudomonas putida*, *Bacillus subtilis*, and their mixture on the management of *Meloidogyne incognita*, *Pectobacterium betavascularum*, and *Rhizoctonia solani* disease complex of beetroot (*Beta vulgaris* L.). Egyptian Journal of Biological Pest Control. 2019. vol. 29. pp. 1-14. doi: 10.1186/s41938-019-0174-0
- 16 Miljković D., Marinković J., Balešević-Tubić S. The significance of *Bacillus* spp. in disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops. Microorganisms. 2020. vol. 8. no. 7. pp. 1037. doi: 10.3390/microorganisms8071037
- 17 El Housni Z., Ezrari S., Radouane N., Tahiri A. et al. Evaluating Rhizobacterial Antagonists for Controlling *Cercospora beticola* and Promoting Growth in *Beta vulgaris*. Microorganisms. 2024. vol. 12. no. 4. pp. 668. doi: 10.3390/microorganisms12040668
- 18 Rudenko T.S., Khussein A.S., Bezler N.V., Nalbandyan A.A. Identification and use of native isolates of *Bacillus subtilis* in the agroecosis of sugar beet. Sakhar. 2021. no. 6. pp. 52-56. (in Russian).
- 19 Lastochkina O.V., Pusenkova L.I., Yuldashev R.A., Ilyasova E.Yu. Physiological and biochemical responses of sugar beet plants (*Beta vulgaris* L.) infected with the fungus *Alternaria alternata* to the use of microbial preparations based on *Bacillus subtilis*. Agricultural Biology. 2018. vol. 53. no. 5. pp. 958-968. (in Russian).
- 20 Smirnov M.A., Selivanova G.A. The effect of fungicides on pathogens causing clamp rot of sugar beet mother roots. Sakhar. 2019. no. 6. pp. 39-41. (in Russian).

Сведения об авторах

Надежда В. Безлер д.х.н, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А. Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия, bezler@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9371-9564>

Ольга А. Федорова к.б.н., старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А. Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия, fed-olga78@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7581-6141>

Юлия Н. Санеева магистр, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия, usaneeva69@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-4137-1150>

Валерий Д. Цомая магистр, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А. Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия, valera-comaya@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2714-3434>

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

Nadezhda V. Bezler Dr. Sci. (Chem.), leading researcher, All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar named after A. L. Mazlumov, VNISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia, bezler@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9371-9564>

Olga A. Fedorova Cand. Sci. (Biol.), senior researcher, All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar named after A. L. Mazlumov, VNISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia, fed-olga78@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7581-6141>

Julia N. Saneeva master student, junior researcher, All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar named after A.L. Mazlumov, VNISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia, usaneeva69@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-4137-1150>

Valeriy D. Tsomaia master student, junior researcher, All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar named after A.L. Mazlumov, VNISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia, valera-comaya@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2714-3434>

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 10/07/2024	После редакции 29/07/2024	Принята в печать 14/08/2024
Received 10/07/2024	Accepted in revised 29/07/2024	Accepted 14/08/2024

Исследования по получению дистиллятов из сброженного зерно-фруктового сырья на аппаратах периодического действия

Евгений А. Кириллов	¹	spirt405@yandex.ru	 0000-0001-9297-0554
Виктория Д. Никитенко	¹	lab78@mail.ru	 0000-0001-5314-3513
Михаил В. Туршатов	¹	lab78@mail.ru	 0000-0003-1277-5498
Валентин В. Кононенко	¹	lab78@mail.ru	 0000-0002-7568-5193
Александр О. Соловьев	¹	lab78@mail.ru	 0000-0003-2666-6890

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, Ул. Самкотная, 4Б, Москва, 111033, Россия

Аннотация. В работе приведены данные по технологии получения дистиллятов, при совместной переработке фруктового и зернового сырья, на аппаратах периодического действия и на дистилляционных установках непрерывного действия. Рассмотрены факторы, сдерживающие производство фруктовых дистиллятов в РФ. Предложен способ по переработке фруктового сырья с использованием существующего оборудования спиртовых заводов. При помощи лабораторной кубовой ректификационной установки периодического действия смоделирован технологический процесс промышленного получения дистиллятов, использующий дистилляционные установки непрерывного действия. Рассмотрены особенности производства дистиллятов из зерно-фруктового сырья на лабораторной кубовой ректификационной установке периодического действия, по методу двукратной перегонки. По результатам проведенных исследований установлено, что имеется технологическая возможность применения аппаратов непрерывного действия, реализованных на базе брагоректификационных установок спиртовых заводов, для получения дистиллятов с оригинальными органолептическими показателями на основе зерно-фруктового сырья. Получены образцы невыдержанного дистиллята с органолептическими показателями присущими исходному сырью. Разработана аппаратурно-технологическая схема установки непрерывного действия для производства дистиллятов из сброженного зерно-фруктового сырья. Выявлено, что процесс перегонки зерно-фруктовой бражки на аппаратах, работающих под атмосферным давлением, может сопровождаться образованием нагара нерастворенных веществ на элементах конструкции перегонных аппаратов. В процессе перегонки бражек из зерно-фруктового сырья в содержание метилового спирта в продукте может достигать 0,2%, что необходимо учитывать при планировании производства. Разработаны рекомендации по внедрению технологического процесса производства дистиллятов из зерно-фруктового сырья на технологическом оборудовании спиртовых заводов.

Ключевые слова: дистиллят, зерно-фруктовое сырье, ректификационная установка, перегонка, спиртовой завод..

Research on the obtaining of distillates from fermented grain and fruit raw materials using periodic devices

Evgeniy A. Kirillov	¹	spirt405@yandex.ru	 0000-0001-9297-0554
Viktoria D. Nikitenko	¹	lab78@mail.ru	 0000-0001-5314-3513
Mihail V. Turshatov	¹	lab78@mail.ru	 0000-0003-1277-5498
Valentin V. Kononenko	¹	lab78@mail.ru	 0000-0002-7568-5193
Alexander O. Solovyev	¹	lab78@mail.ru	 0000-0003-2666-6890

¹ All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Samokatnaya st., 4B, Moscow, 111033, Russia

Abstract. The work provides data on the technology for producing distillates during the joint processing of fruit and grain raw materials, using batch devices and continuous distillation units. Factors constraining the production of fruit distillates in the Russian Federation are considered. A method for processing fruit raw materials using existing equipment of distilleries is proposed. Using a laboratory batch distillation unit, the technological process for the industrial production of distillates using continuous distillation units was simulated. The features of the production of distillates from grain and fruit raw materials in a laboratory batch distillation unit using the double distillation method are considered. Based on the results of the studies, it was established that there is a technological possibility of using continuous-action devices, implemented on the basis of distillation units of distilleries, to obtain distillates with original organoleptic characteristics based on grain and fruit raw materials. Samples of unaged distillate with organoleptic characteristics inherent in the original raw material were obtained. A hardware and technological scheme for a continuous operation installation for the production of distillates from fermented grain and fruit raw materials has been developed. It has been revealed that the process of distillation of grain-fruit mash on devices operating under atmospheric pressure may be accompanied by the formation of carbon deposits of undissolved substances on the structural elements of the distillation apparatus. In the process of distilling mash from grain and fruit raw materials, the methyl alcohol content in the product can reach 0.2%, which must be taken into account when planning production. Recommendations have been developed for the implementation of the technological process for the production of distillates from grain and fruit raw materials on the technological equipment of alcohol factories.

Keywords: distillate, grain and fruit raw materials, distillation unit, distillation, distillery.

Для цитирования

Кириллов Е.А., Никитенко В.Д., Туршатов М.В., Кононенко В.В., Соловьев А.О. Исследования по получению дистиллятов из сброженного зерно-фруктового сырья на аппаратах периодического действия // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 89–95. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-89-95

For citation

Kirillov E.A., Nikitenko V.D., Turshatov M.V., Kononenko V.V., Solovyev A.O. Research on the obtaining of distillates from fermented grain and fruit raw materials using periodic devices. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 89–95. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-89-95

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

Введение

В мире выпускается широкий ассортимент напитков на основе фруктовых дистиллятов. Однако, в РФ при производстве спиртных напитков, фруктовое сырье применяется в основном в виде настоев и морсов. К сдерживающим факторам производства фруктовых дистиллятов в РФ следует отнести следующие: сезонность, низкое содержание углеводов в сырье, низкое содержание спирта в сброженном сырье, высокие эксплуатационные затраты, большое количество отходов, высокую себестоимость конечной продукции [1–4].

Сократить издержки производства при изготовлении фруктовых дистиллятов можно адаптировав технологию производства дистиллятов под оборудование спиртовых заводов. Но определенный интерес представляют дистилляты, произведенные из зерно-фруктового сырья, которые позволят изготовить новые виды напитков [5, 6].

Переработку фруктового сырья совместно с зерновым возможно организовать на оборудовании действующих спиртовых заводов. При этом: сезонность переработки фруктово-ягодного сырья совместно с зерновым не будет влиять на работу заводов в течение всего года; повышается концентрации спирта при совместной переработке зерно-фруктового сырья по сравнению с производством фруктовых дистиллятов; появляется возможность безотходной переработки фруктово-ягодного сырья совместно с зерновым с последующей переработкой вторичных ресурсов в кормовые и пищевые продукты [7–9].

Традиционно дистилляты производили на кубовых аппаратах. В настоящее время практика производства дистиллятов из фруктового, ягодного и зернового сырья на кубовых аппаратах используется, в основном, при кустарном производстве для изготовления напитков таких, как ракия, граппа, кальвадос, шнапс, сливовица, палинка, кирш, самогон и др. [2, 10, 11].

Цель работы – разработка рекомендаций и технологических решений для производства дистиллятов из зерно-фруктового сырья на брагоректификационных установках непрерывного действия спиртовых заводов.

Материалы и методы

Методика проведения работы была основана на анализе схем ректификации, применяемых на действующих мощностях по производству спирта из крахмалсодержащего и сахаросодержащего сырья. За основу были взяты классические схемы ректификации, которые имеют потенциал для получения зерно-фруктовых дистиллятов с оригинальными органолептическими показателями.

Кроме того, рассмотрен отечественный и зарубежный опыт сбраживания и дистилляции фруктового сырья, с целью сохранения вкусоароматических свойств сырья в готовом продукте.

После анализа существующих технологий, был смоделирован технологический процесс производства дистиллятов на установках непрерывного действия при помощи лабораторной кубовой ректификационной установки периодического действия, по методу двукратной перегонки. Были получены дистилляты с оригинальными органолептическими характеристиками, присущими исходному сырью.

Результаты и обсуждение

Промышленное производство дистиллятов осуществляют на установках непрерывного действия, которые имеют существенно большую производительность (на несколько порядков) по сравнению с аппаратами периодического действия [12–14].

Технологический процесс производства дистиллятов на установках непрерывного действия представлен на процессуальной схеме, приведенной на рисунке 1.

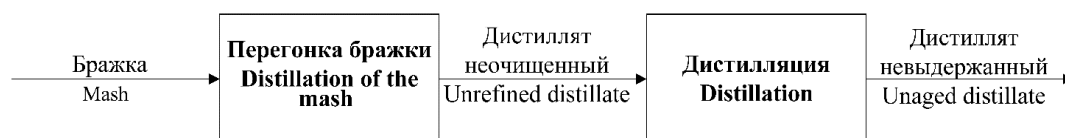


Рисунок 1. Процессуальная схема производства дистиллятов на установках непрерывного действия

Figure 1. Process flow chart for the production of distillates in continuous installations

Технологический процесс производства дистиллятов на установках непрерывного действия условно можно разделить на две стадии: перегонку бражки и дистилляцию. В процессе перегонки бражки извлекается спирт со всеми сопутствующими примесями и получают дистиллят неочищенный. На стадии дистилляции его освобождают от метилового спирта, части

головных и сивушных примесей. В результате получают дистиллят невыдержанный в соответствии с нормативной документацией [15, 16].

Зрелую зерно-фруктовую бражку из зерна пшеницы и яблок, смешанных в равных пропорциях, перегоняли на ректификационной установке периодического действия, представленной на рисунке 2.

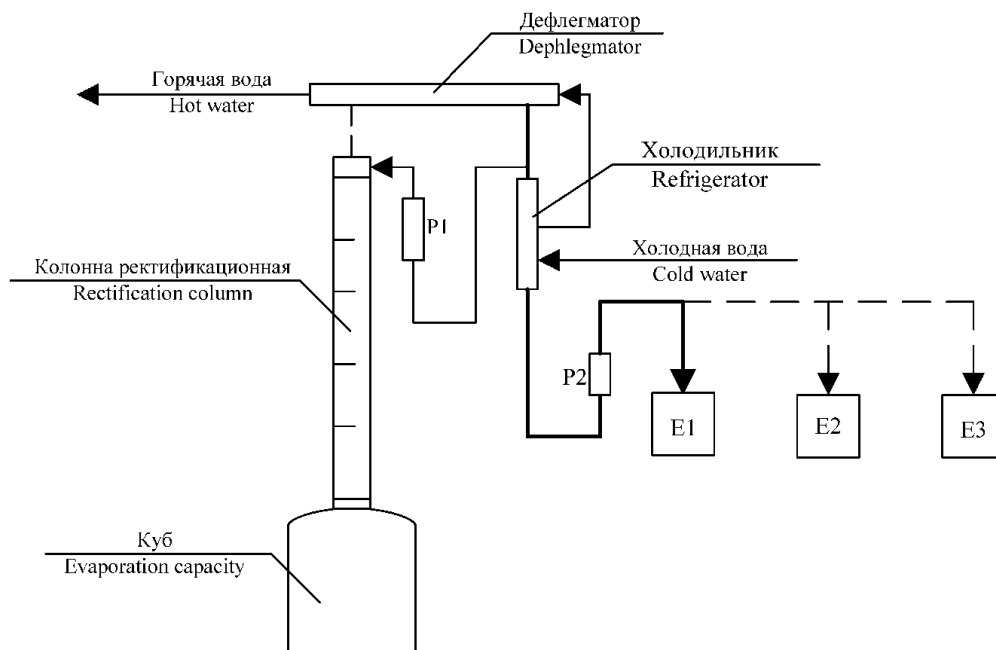


Рисунок 2. Аппаратурная схема ректификационной установке периодического действия: E1 – сборник головной фракции; E2 – сборник дистиллята; E3 – сборник сивушной фракции; P1, P2 – ротаметры

Figure 2. The hardware diagram of a periodic rectification unit: E1 – head fraction collector; E2 – distillate collector; E3 – fusel oil fraction collector; P1, P2 – rotameters

При первой перегонке на установке, ректификационная колонка была заменена на пустую царгу. Дефлегматор работал в режиме конденсатора без возврата флегмы, разделение дистиллята на фракции не осуществлялось. В результате перегонки из зерно-фруктовой бражки был извлечен спирт и получен дистиллят неочищенный, с неприятным запахом пригоревших фруктов. При кустарном производстве фруктовые бражки, как правило осветляют отстаиванием и снятием с осадка. При этом потери спирта могут составлять до 5–7% от абсолютного спирта [17, 18]. При промышленном производстве осветление бражек можно осуществить при помощи сепарирования на центрифугах с последующим выпариванием спирта из сухого остатка и возвращением его в технологический процесс. Это потребует определенных капитальных затрат и частичной модернизации технологического оборудования спиртзавода.

Исключить пригорание сырья на элементах брагоперегонных аппаратов можно при помощи уменьшения температуры кипения исходного сырья, создав вакуум в установке. Лабораторная установка была дооснащена вакуумным насосом, и дальнейшая перегонка зрелой бражки была проведена под вакуумом. Давление в кубе установки составляло порядка 50 кПа, температура кипящей бражки 80–85 °С. В результате перегонки получен неочищенный дистиллят с ароматом исходного сырья и содержанием метилового спирта порядка 0,2%.

Вторую перегонку (перегонку неочищенного дистиллята) также осуществляли на установке, схема которой приведена на рисунке 2, под атмосферным давлением. В результате перегонки дистиллята неочищенного по методу фракционного разделения был получен дистиллят невыдержанный, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 33723–2016 «Дистиллят зерновой. Технические условия», ГОСТ Р 70225–2023 «Виски российский, дистилляты зерновые и висковые российские. Общие технические условия» и техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» с характерным ароматом исходного сырья».

На следующем этапе был проведен анализ схем брагоректификационных установок спиртовых заводов, который позволил разработать аппаратно-технологическую схему установки непрерывного действия для производства дистиллятов на оборудовании брагоректификационных установок [19–22].

Для реализации технологического процесса производства дистиллята, в соответствии с процессуальной схемой (рисунок 1), необходимы две колонны: бражная и дистилляционная. Любая брагоректификационная установка, предназначенная для производства спирта, ректификованного в своем составе, как правило, имеет бражную, эспираторную, ректификационную и другие колонны. При производстве дистиллята бражная колонна может быть использована без

каких-либо изменений и реализовывать функцию по отгонке спирта из бражки. Функции дистилляционной колонны могут быть реализованы, например, на эспираторной колонне. Для этого необходимо организовать на эспираторной колонне зону отбора сивушной фракции и зону отбора потоков дистиллята. В этом случае эспираторная

колонна сможет выполнять свою штатную функцию при производстве спирта и сможет использоваться в процессе производства дистиллятов. Один из вариантов аппаратурно-технологической схемы установки непрерывного действия для производства дистиллятов приведен на рисунке 3.

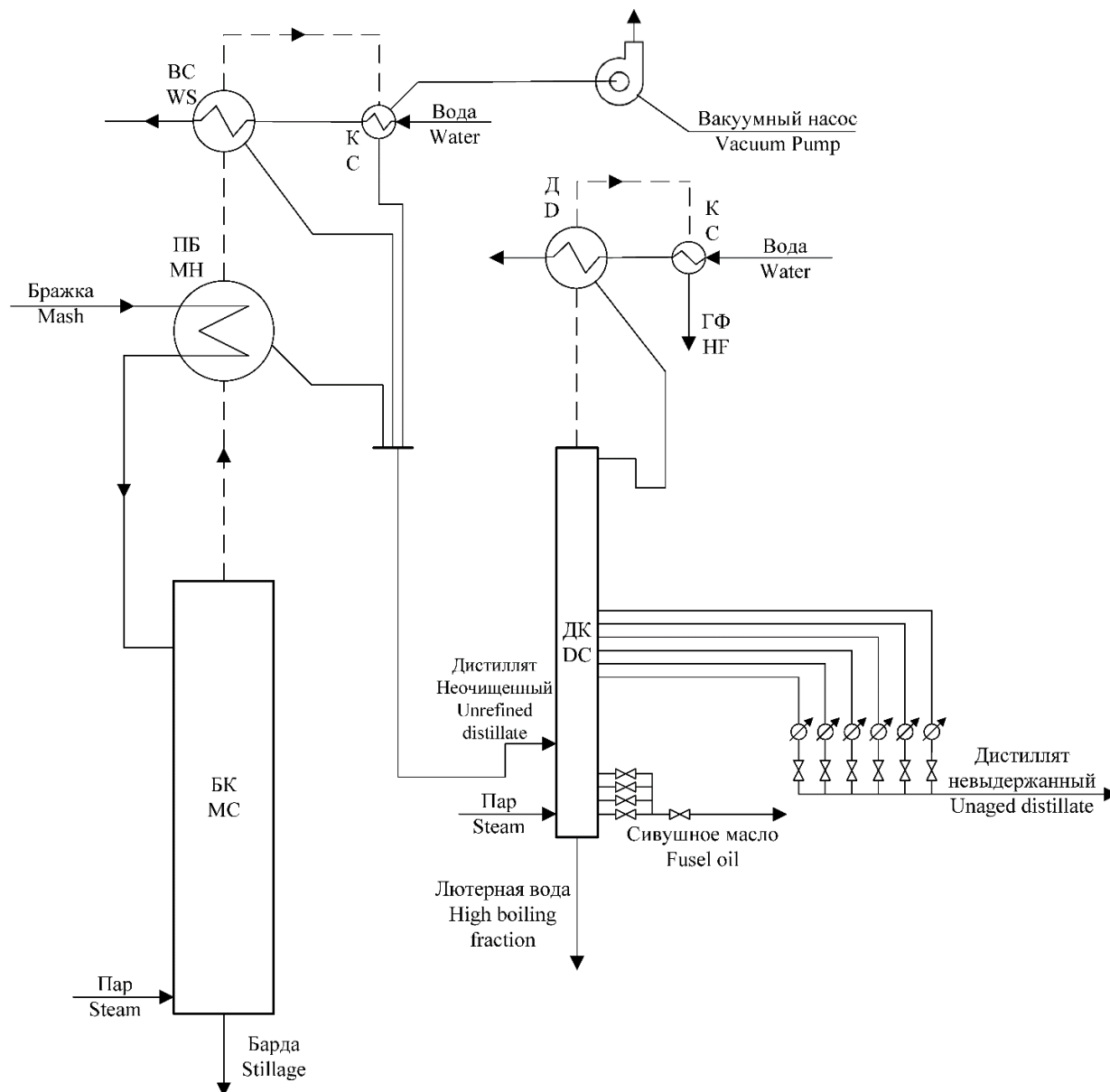


Рисунок 3. Аппаратурно-технологическая схема установки непрерывного действия для производства дистиллятов: БК – бражная колонна; ДК – дистилляционная колонна; ПБ – подогреватель бражки; ВС – водяная секция; Д – дефлегматор; К – конденсатор; ГФ – головная фракция

Figure 3. Hardware and process flow diagram of a continuous distillation unit: MC – mash column; DC – distillation column; MH – mash heater; WS – water section; D – dephlegmator; C – condenser; HF – head fraction

В схеме, приведенной на рисунке 3, бражка поступает на питание бражной колонны (БК) через подогреватель бражки (ПБ), где она предварительно нагревается парами бражной колонны (БК). Бражка, стекая по тарелкам колонны вниз в противотоке с паром, освобождается от спирта. Водно-спиртовые пары конденсируются в подогревателе бражки (ПБ), водяной секции (ВС),

конденсаторе (К) и в виде дистиллята неочищенного поступают на питание дистилляционной колонны (ДК). В дистилляционной колонне (ДК) метанол и головные примеси концентрируются в верхней части колонны, дефлегматоре (Д), конденсаторе (К) и могут выводиться из установки. Компоненты сивушной фракции концентрируются на нижних тарелках колонны

и могут отводиться из установки в различных пропорциях в зависимости от требований, предъявляемых к дистилляту. Потоки дистиллята отбирают со средних тарелок колонны и смешивают в нужных пропорциях в коллекторе дистиллята. Таким образом, приведенная схема позволяет производить дистилляты в широком диапазоне физико-химических показателей.

Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

Из зерно-фруктового сырья можно производить дистилляты с оригинальными органолептическими характеристиками.

При перегонке бражек из зерно-фруктового сырья на аппаратах, работающих под атмосферным давлением, вероятен нагар нерастворенных веществ бражек на элементах конструкции перегонных аппаратов.

В процессе перегонки бражек из зерно-фруктового сырья образуется большое количество метилового спирта (0,2% и более).

Процесс перегонки бражек из зерно-фруктового сырья может быть реализован на аппаратах непрерывного действия.

Дистилляты из зерно-фруктового сырья могут быть рекомендованы производителям спиртовой продукции для разработки рецептур оригинальных спиртных напитков.

Производство дистиллятов из зерно-фруктового сырья возможно осуществлять на существующих брагоректификационных установках без существенной модернизации оборудования и капитальных затрат. Для этого необходимо:

Организовать процесс приемки и подработки фруктового сырья.

Организовать процесс сепарирования бражки или работу бражной колонны под вакуумом.

Эпюрационную колонну модернизировать в дистилляционную, а именно:

- организовать подачу дистиллята неочищенного на 16 тарелку колонны;

- организовать отбор сивушного масла с 3, 7, 11, 13 тарелок колонны;

- организовать отбор «погонов» дистиллята с 19, 21, 25, 29, 31 тарелок колонны, оснатив каждую линию ротаметром и регулирующей арматурой;

- отбор головной фракции осуществлять из фанаря конденсатора колонны.

Разгонная и сивушная колонны (при наличии) могут использоваться для разгонки и концентрирования побочных продуктов дистилляции: головной и сивушной фракций. Остальные колонны при производстве дистиллятов из технологического процесса исключаются.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках прикладных научных исследований по теме № FGMP-2023-0004.

Литература

- 1 Крикунова Л.Н., Дубинина Е.В., Макаров С.Ю. Возвратные отходы хлебопекарного производства – новый вид сырья для производства дистиллятов (Часть III. Стадия дистилляции) // Пищевые системы. Т. 4. № 2. С. 89–96. doi: 10.21323/2618-9771-2020-4-2-89-96
- 2 Spaho N., Gaši F., Leitner E., Blesić M. et al. Characterization of Volatile Compounds and Flavor in Spirits of Old Apple and Pear Cultivars from the Balkan Region // Foods. 2021. V. 10. № 6. P. 1258. doi: 10.3390/foods10061258
- 3 Stanzer D., Hanousek Čiča K., Blesić M., Smajić Murtić M. et al. Alcoholic Fermentation as a Source of Congeners in Fruit Spirits // Foods. 2023. V. 12. № 10. P. 1951. doi:10.3390/foods12101951
- 4 Chisti Y., Karimi K. Bioethanol Production // In book: Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. 2022. P. 279–294. doi: 10.1016/B978-0-323-90386-8.00017-6
- 5 Wang W., Wang Y., Wang Y., Zhu Z. et al. Performance analysis of reactive-extractive distillation for multi-azeotropic mixture based on the relationship between economy and conversion rate // Chemical Engineering Science. 2024. V. 296. P. 120281. doi: 10.1016/j.ces.2024.120281
- 6 Huang H., Chen Y., Hong J., Chen H. et al. Unraveling the chemosensory characteristics on different types of spirits based on sensory contours and quantitative targeted flavoromics analysis // Food Chemistry. X. 2024. V. 23. P. 101716. doi: 10.1016/j.fochx.2024.101716
- 7 Короткова Т.Г., Сиюхов Х.Р., Демин В.И., Энговатова В.В. Обоснование выбора тарелки питания ректификационной колонны при получении пищевого этилового спирта методом математического моделирования // Известия высших учебных заведений // Пищевая технология. 2022. № 2–3(386–387). С. 97–102. doi: 10.26297/0579-3009.2022.2-3.19
- 8 Каримов Н., Султанов И.Р., Холмуротов Б.Т., Аманбаева. Д.А. Исследование и применение импортозамещающей продукции переработки сивушных фракций на ректификационных установках // Молодой ученый. 2020. № 3 (293). С. 46–49.
- 9 Никитина С.Ю., Гордиенко А.С., Зуева Н.В., Яковлев А.Н. К вопросу о получении зерновых дистиллятов из ферментированного сырья // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 89–96. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-89-96
- 10 Школьников М.Н., Рожнов Е.Д., Четвериков В.И. Исследование процесса перегонки фруктового виноматериала при получении облепиховых дистиллятов // Вестник КрасГАУ. 2019. № 7 (148).
- 11 Курбангалеева М.Х., Жарков Н.И., Иванов А.Э., Манапов И.Р. Совершенствование безопасности работы узла ректификации // Естественные и технические науки. 2023. № 2(177). С. 224–225.
- 12 Никитина С.Ю., Шорников А.Н. Современные тренды технологии брагоректификации // Пищевая промышленность. 2022. № 8. С. 66–70. doi 10.52653/PPI.2022.8.8.014.

- 13 Никитина С.Ю., Гордиенко А.С., Зуева Н.В., Яковлев А.Н. К вопросу о получении зерновых дистиллятов из ферментированного сырья // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2024. Т. 86. № 1(99). С. 89–96. doi: 10.20914/2310-1202-2024-1-89-96
- 14 Шелудько О.Н., Ширшова А.А., Прах А.В. и др. Влияние технологии производства спиртов на органолептические показатели напитков из виноградного сырья // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2022. № 5(389). С. 24–27. doi: 10.26297/0579-3009.2022.5.5
- 15 Крикунова Л.Н., Ульянова Е.В., Трофимченко В.А., Ободеева О.Н. Влияние биохимического состава фруктового сырья на процесс новообразования летучих компонентов при дистилляции // Ползуновский вестник. 2023. № 2. С. 22–30. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.003
- 16 Guiné R.P.F., Barroca M.J., Coldea T.E., Bartkiene E. et al. Apple Fermented Products: An Overview of Technology, Properties and Health Effects // Processes. 2021. V. 9. № 2. P. 223. doi:10.3390/pr9020223
- 17 Balcerek M., Pielech-Przybylska K., Dziekońska-Kubczak U., Bartosik A. Effect of Apple Cultivar and Selected Technological Treatments on the Quality of Apple Distillate // Foods. 2023. V. 12. № 24. P. 4494. doi: 10.3390/foods12244494
- 18 Spaho N., Đukic-Ratković D., Nikićević N., Blesić M. et al. Aroma compounds in barrel aged apple distillates from two different distillation techniques // Journal of the Institute of Brewing. 2019. V. 125. doi:10.1002/jib.573
- 19 Абрамова И.М., Туршатов М.В., Соловьев А.О. и др. О производстве этилового спирта и дистиллятов с использованием фруктового сырья совместно с зерновым // Пищевая промышленность. 2023. № 5. С. 67–69. doi 10.52653/PPI.2023.5.5.019
- 20 Zhang L.G., Zhang C., Ni L.J., Yang Y.J. et al. Rectification extraction of Chinese herbs' volatile oils and comparison with conventional steam distillation // Separation and purification technology. 2011. V. 77. №. 2. P. 261-268. doi: 10.1016/j.seppur.2010.12.012
- 21 Holds H.R. Brandies, grape spirits, and fruit distillates // Distilled Spirits. Academic Press, 2023. P. 229-250. doi: 10.1016/B978-0-12-822443-4.00005-0
- 22 Jeyaprakash S., Faradilla R.F., Szrednicki G., Sundararajan A. Fruit wastes as a flavoring agent // Adding Value to Fruit Wastes. 2024. P. 391-418. doi: 10.1016/B978-0-443-13842-3.00015-0

References

- 1 Krikunova L.N., Dubinina E.V., Makarov S.Yu. Returnable waste from bakery production – a new type of raw material for the production of distillates (Part III. Distillation stage). Food systems. vol. 4. no. 2. pp. 89–96. doi:10.21323/2618-9771-2020-4-2-89-96 (in Russian).
- 2 Spaho N., Gaši F., Leitner E., Blesić M. et al. Characterization of Volatile Compounds and Flavor in Spirits of Old Apple and Pear Cultivars from the Balkan Region. Foods. 2021. vol. 10. no. 6. pp. 1258. doi: 10.3390/foods10061258
- 3 Stanzer D., Hanousek Čiča K., Blesić M., Smajić Murtić M. et al. Alcoholic Fermentation as a Source of Congeners in Fruit Spirits. Foods. 2023. vol. 12. no. 10. pp. 1951. doi:10.3390/foods12101951
- 4 Chisti Y., Karimi K. Bioethanol Production. In book: Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. 2022. pp. 279–294. doi: 10.1016/B978-0-323-90386-8.00017-6
- 5 Wang W., Wang Y., Wang Y., Zhu Z. et al. Performance analysis of reactive-extractive distillation for multi-azeotropic mixture based on the relationship between economy and conversion rate. Chemical Engineering Science. 2024. vol. 296. pp. 120281. doi: 10.1016/j.ces.2024.120281
- 6 Huang H., Chen Y., Hong J., Chen H. et al. Unraveling the chemosensory characteristics on different types of spirits based on sensory contours and quantitative targeted flavoromics analysis. Food Chemistry. X. 2024. vol. 23. pp. 101716. doi: 10.1016/j.fochx.2024.101716
- 7 Korotkova T.G., Siyukhov H.R., Demin V.I., Engovatova V.V. Justification of the choice of a feed plate for a distillation column in the production of food ethyl alcohol by mathematical modeling. News of higher educational institutions. Food technology. 2022. no. 2–3 (386–387). pp. 97–102. doi: 10.26297/0579-3009.2022.2-3.19 (in Russian).
- 8 Karimov N., Sultanov I.R., Kholmurotov B.T., Amanbaeva. D.A. Research and application of import-substituting products for processing fusel fractions in distillation units. Young scientist. 2020. no. 3 (293). pp. 46–49. (in Russian).
- 9 Nikitina S.Yu., Gordienko A.S., Zueva N.V., Yakovlev A.N. On the issue of obtaining grain distillates from fermented raw materials. Proceedings of VSUET. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 89–96. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-89-96 (in Russian).
- 10 Shkolnikova M.N., Rozhnov E.D., Chetverikov V.I. Study of the distillation process of fruit wine material in the production of sea buckthorn distillates. Bulletin of KrasSAU. 2019. no. 7 (148). (in Russian).
- 11 Kurbangaleeva M.Kh., Zharkov N.I., Ivanov A.E., Manapov I.R. Improving the safety of the rectification unit. Natural and technical sciences. 2023. no. 2(177). pp. 224–225. (in Russian).
- 12 Nikitina S.Yu., Shornikov A.N. Modern trends in fermentation-rectification technology. Food industry. 2022. no. 8. pp. 66–70. doi 10.52653/PPI.2022.8.8.014 (in Russian).
- 13 Nikitina S.Yu., Gordienko A.S., Zueva N.V., Yakovlev A.N. On the issue of obtaining grain distillates from fermented raw materials. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2024. vol. 86. no. 1(99). pp. 89–96. doi: 10.20914/2310-1202-2024-1-89-96 (in Russian).
- 14 Sheludko O. N., Shirshova A. A., Prakh A. V. et al. Influence of alcohol production technology on the organoleptic indicators of beverages from grape raw materials. News of higher educational institutions. Food technology. 2022. no. 5 (389). pp. 24–27. doi: 10.26297/0579-3009.2022.5.5 (in Russian).
- 15 Krikunova L. N., Ulyanova E. V., Trofimchenko V. A., Obodeeva O. N. Influence of the biochemical composition of fruit raw materials on the process of new formation of volatile components during distillation. Polzunovsky Bulletin. 2023. no. 2. pp. 22–30. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.003 (in Russian).
- 16 Guiné R.P.F., Barroca M.J., Coldea T.E., Bartkiene E. et al. Apple Fermented Products: An Overview of Technology, Properties and Health Effects. Processes. 2021. vol. 9. no. 2. P. 223. doi:10.3390/pr9020223

- 17 Balcerek M., Pielech-Przybylska K., Dziekońska-Kubczak U., Bartosik A. Effect of Apple Cultivar and Selected Technological Treatments on the Quality of Apple Distillate. *Foods*. 2023. vol. 12. no. 24. pp. 4494. doi: 10.3390/foods12244494
- 18 Spaho N., Đukic-Ratković D., Nikićević N., Blesić M. et al. Aroma compounds in barrel aged apple distillates from two different distillation techniques. *Journal of the Institute of Brewing*. 2019. vol. 125. doi:10.1002/jib.573
- 19 Abramova I.M., Turshatov M.V., Soloviev A.O. et al. On the production of ethyl alcohol and distillates using fruit raw materials together with grain. *Food industry*. 2023. no. 5. pp. 67–69. doi 10.52653/PPI.2023.5.5.019 (in Russian).
- 20 Zhang L.G., Zhang C., Ni L.J., Yang Y.J. et al. Rectification extraction of Chinese herbs' volatile oils and comparison with conventional steam distillation. *Separation and purification technology*. 2011. vol. 77. no. 2. pp. 261-268. doi: 10.1016/j.seppur.2010.12.012
- 21 Holds H.R. Brandies, grape spirits, and fruit distillates. *Distilled Spirits*. Academic Press, 2023. pp. 229-250. doi: 10.1016/B978-0-12-822443-4.00005-0
- 22 Jeyaprakash S., Faradilla R.F., Srzednicki G., Sundararajan A. Fruit wastes as a flavoring agent. *Adding Value to Fruit Wastes*. 2024. pp. 391-418. doi: 10.1016/B978-0-443-13842-3.00015-0

Сведения об авторах

Евгений А. Кириллов заведующий лабораторией, отдел технологии спирта и комплексной переработки сырья, лаборатория ректификации, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, spirt405@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9297-0554>

Виктория Д. Никитенко инженер-технолог, отдел технологии спирта и комплексной переработки сырья, лаборатория комплексной переработки сырья, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, lab78@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5314-3513>

Михаил В. Туршатов к.т.н., заведующий отделом, отдел технологии спирта и комплексной переработки сырья, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, lab78@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1277-5498>

Валентин В. Кононенко к.т.н., заведующий лабораторией, отдел технологии спирта и комплексной переработки сырья, лаборатория технологии спирта, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, lab78@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7568-5193>

Александр О. Соловьев м.н.с., отдел технологии спирта и комплексной переработки сырья, лаборатория комплексной переработки сырья, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, lab78@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2666-6890>

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

Evgeniy A. Kirillov head of the rectification laboratory, alcohol technology and complex processing of raw materials, rectification laboratory department, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Samokatnaya st., 4B, Moscow, 111033, Russia, spirt405@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9297-0554>

Viktoria D. Nikitenko process engineer, alcohol technology and complex processing of raw materials, laboratory of complex processing of raw materials department, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Samokatnaya st., 4B, Moscow, 111033, Russia, lab78@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5314-3513>

Mihail V. Turshatov Cand. Sci. (Engin.), head of the department, alcohol technology and complex processing of raw materials department, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Samokatnaya st., 4B, Moscow, 111033, Russia, lab78@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1277-5498>

Valentin V. Kononenko Cand. Sci. (Engin.), head of the laboratory of alcohol technology, alcohol technology and complex processing of raw materials, laboratory of alcohol technology department, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Samokatnaya st., 4B, Moscow, 111033, Russia, lab78@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7568-5193>

Alexander O. Solovyev junior researcher, laboratory of complex processing of raw materials, alcohol technology and complex processing of raw materials, laboratory of complex processing of raw materials department, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Samokatnaya st., 4B, Moscow, 111033, Russia, lab78@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2666-6890>

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 02/07/2024	После редакции 19/07/2024	Принята в печать 13/08/2024
Received 02/07/2024	Accepted in revised 19/07/2024	Accepted 13/08/2024

Перспективы применения комплексной добавки для улучшения биотехнологических характеристик дрожжей *Saccharomyces Cerevisiae*

Александр В. Маслов	¹	maslov-aleksandr95@mail.ru	 0000-0001-5841-0705
Замира Ш. Мингалеева	¹	mingaleeva06@mail.ru	 0000-0003-3076-9104
Оксана В. Старовойтова	¹	starovoitova-oks@mail.ru	 0000-0003-0790-4582
Лилия И. Агзамова	¹	liliya.sch@mail.ru	 0000-0002-6558-0312
Ольга А. Решетник	¹	roa.olga@mail.ru	 0000-0001-5322-0769

¹ Казанский национальный исследовательский технологический университет, К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия

Аннотация. Одними из основных факторов, влияющими на качество хлеба, являются микробиологические и биохимические процессы, протекающие в тестовых полуфабрикатах в результате жизнедеятельности дрожжей. Данными процессами возможно управлять путем регулирования биотехнологических характеристик дрожжей, что позволяет интенсифицировать технологические операции хлебопекарного производства. Хлебопекарные дрожжи должны иметь высокую ферментативную активность, способность выделять углекислый газ в анаэробных условиях и быстро адаптироваться к изменению состава питательной среды. Данные свойства дрожжей могут быть улучшены с помощью проведения предварительной активации в питательных средах, которые содержат компоненты, интенсифицирующие синтез броидильных ферментов в дрожжевых клетках. Цель работы состояла в исследовании влияния предварительной активации прессованных хлебопекарных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в питательной среде с пищевой комплексной добавкой на их биотехнологические характеристики: подъемную силу и ферментативную активность (зимазная, мальтазная). Подъемную силу дрожжей определяли ускоренным способом. Зимазную и мальтазную активности определяли методом измерения времени, за которое выделяется 10 см³ диоксида углерода при сбраживании дрожжами растворов глюкозы и мальтозы, соответственно. Новизна работы заключается в установлении параметров предварительной активации хлебопекарных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* с использованием пищевой комплексной добавки. Показано, что оптимальная продолжительность предварительной активации дрожжей составляет 20 мин. Предварительная активация прессованных дрожжей способствовала повышению их биотехнологических характеристик: подъемная сила дрожжей возросла на 46,9 %, зимазная активность – на 37,7 %, мальтазная активность – на 13,4 %. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения предварительной активации дрожжей в питательной среде с пищевой комплексной добавкой при производстве хлебобулочных изделий.

Ключевые слова: дрожжи, мальтазная активность, зимазная активность, подъемная сила, пищевая добавка.

Prospects for the use of complex additive to improve biotechnological characteristics of yeast *Saccharomyces Cerevisiae*

Alexandr V. Maslov	¹	maslov-aleksandr95@mail.ru	 0000-0001-5841-0705
Zamira Sh. Mingaleeva	¹	mingaleeva06@mail.ru	 0000-0003-3076-9104
Oksana V. Starovoitova	¹	starovoitova-oks@mail.ru	 0000-0003-0790-4582
Lilia I. Agzamova	¹	liliya.sch@mail.ru	 0000-0002-6558-0312
Olga A. Reshetnik	¹	roa.olga@mail.ru	 0000-0001-5322-0769

¹ Kazan National Research Technological University, K. Marksa, 68, Kazan, 420015, Russia

Abstract. One of the main factors affecting the quality of bread are microbiological and biochemical processes occurring in dough semi-finished products as a result of yeast activity. These processes can be controlled by regulating the biotechnological characteristics of yeast, which allows to intensify technological operations of baking production. Baking yeast should have high enzymatic activity, the ability to release carbon dioxide in anaerobic conditions and quickly adapt to changes in the composition of the nutrient medium. These properties of yeast can be improved by pre-activation in nutrient media containing components that intensify the synthesis of fermentation enzymes in yeast cells. The aim of the work was to study the effect of pre-activation of pressed baker's yeast *Saccharomyces cerevisiae* in nutrient media with food complex additive on their biotechnological characteristics: lifting force and enzymatic activity (zymase, maltase). Yeast lifting force was determined by accelerated method. Zymase and maltase activities were determined by measuring the time for which 10 cm³ of carbon dioxide is released during digestion of glucose and maltose solutions by yeast, respectively. The novelty of the work consists in the establishment of parameters of preliminary activation of baker's yeast *Saccharomyces cerevisiae* with the use of food complex additive. It is shown that the optimal duration of yeast pre-activation is 20 min. Pre-activation of pressed yeast contributed to the increase of their biotechnological characteristics: yeast lifting force increased by 46.9 %, zymase activity - by 37.7 %, maltase activity - by 13.4 %. The obtained results indicate the promising application of yeast pre-activation in nutrient medium with food complex additive in the production of bakery products.

Keywords: yeast, maltase activity, zymase activity, lifting power, food additive.

Для цитирования

Маслов А.В., Мингалеева З.Ш., Старовойтова О.В., Агзамова Л.И., Решетник О.А. Перспективы применения комплексной добавки для улучшения биотехнологических характеристик дрожжей *Saccharomyces Cerevisiae* // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 96–101. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-96-101

For citation

Maslov A.V., Mingaleeva Z.Sh., Starovoitova O.V., Agzamova L.I., Reshetnik O.A. Prospects for the use of complex additive to improve biotechnological characteristics of yeast *Saccharomyces Cerevisiae*. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 96–101. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-96-101

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

Введение

Энергетический обмен в клетках дрожжей *S. cerevisiae* происходит путем потребления углеводов, которые метаболизируются по пути гликолиза до этанола и диоксида углерода. При использовании дрожжей в хлебопекарном производстве выделяющийся диоксид углерода разрыхляет тесто. Предпочтительным источником углерода для дрожжей *S. cerevisiae* являются глюкоза и фруктоза, а также сахароза после гидролиза до глюкозы [8, 10]. В пшеничном тесте моно- и дисахариды присутствуют в небольшом количестве. Основным углеводом пшеничного теста является крахмал, который под действием амилолитических ферментов гидролизуется до мальтозы [6]. В пшеничном тесте, приготовленном без добавления сахарозы, ранее существовавшие свободные сахара полностью ферментируются в течение первого часа, и в тесте остается только мальтоза, полученная из крахмала. Поэтому дрожжи, используемые при приготовлении теста, должны обладать высокой способностью усваивать не только глюкозу, фруктозу, но и мальтозу [4].

Активность ферментов дрожжевых клеток, участвующих при усвоении углеводов, зависит от наличия в питательной среде соответствующих сахаридов. В частности, известно, что индукция и подавление генов, задействованных при метаболизме глюкозы, зависит от присутствия или отсутствия глюкозы в среде для культивирования дрожжей [3].

Другие исследования показывают, что дрожжи *S. cerevisiae* способны реагировать на присутствие широкого спектра питательных веществ в окружающей среде с помощью сенсорных и сигнальных путей, которые идентифицируют питательные вещества, определяют их приблизительные концентрации, а также объединяют информацию из этих нескольких сигналов для регулирования экспрессии генов, роста, размножения и морфологии клеток [9, 11].

Описанные свойства дрожжевых клеток применяются в технологиях хлебопекарного производства в виде предварительной активации, которая проводится с целью улучшения биотехнологических свойств дрожжей [7]. Предварительная активация заключается в выдержке дрожжей в питательной среде, содержащей компоненты, которые способны ускорить синтез ферментов, задействованных в усвоении дрожжевыми клетками углеводов. Предварительная активация приводит к уменьшению себестоимости хлебопекарной продукции за счет сокращения длительности технологического процесса производства [2].

В последние годы наблюдается тенденция увеличения интереса к обогащенным пищевым продуктам. Проводятся исследования для создания хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности с применением растительного сырья [1]. Обзор литературы показал, что недостаточно широко представлены способы предварительной активации дрожжей с применением пищевых комплексных добавок, предназначенных для повышения пищевой ценности хлебобулочных изделий.

Цель работы – исследование влияния предварительной активации прессованных хлебопекарных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в питательной среде с пищевой комплексной добавкой на их биотехнологические характеристики: подъемную силу и ферментативную активность (зимазная, мальтазная).

Пищевая комплексная добавка включает в себя источники биологически активных веществ природного происхождения: пророщенная спельта, мука пшеничная обойная, порошки семян тыквы, грибов вёшенки и ягод крыжовника.

Материалы и методы

Биотехнологические характеристики дрожжей оценивали путем определения подъемной силы и ферментативной активности (зимазная, мальтазная). Подъемную силу дрожжей определяли по методу всплывания шарика теста. Зимазную и мальтазную активность дрожжей оценивали газометрическим методом [7].

Предварительную активацию дрожжей проводили следующим образом. Готовили питательную среду влажностью 70% путем смешивания пищевой комплексной добавки и водопроводной воды температурой 32 °С. В готовую питательную среду вносили прессованные дрожжи и выдерживали при температуре 32 °С в течение 20, 30 и 40 мин. В качестве контрольных значений использовали результаты измерения подъемной силы и ферментативной активности дрожжей без выдерживания дрожжей в питательной смеси и без внесения пищевой комплексной добавки (Контроль 1), а также без выдерживания дрожжей в питательной смеси, но с внесением пищевой комплексной добавки (Контроль 2).

Результат представляли в виде среднего значения со стандартным отклонением.

Результаты

Исследовано влияние продолжительности предварительной активации дрожжей *S. cerevisiae* в питательной среде с пищевой комплексной добавкой на подъемную силу. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1.
Влияние продолжительности предварительной активации дрожжей *S. cerevisiae* в питательной среде с пищевой комплексной добавкой на подъемную силу

Table 1.
Effect of duration of pre-activation of *S. cerevisiae* yeast in nutrient medium with food complex additive on lifting force

Продолжительность предварительной активации Pre-activation duration	Подъемная сила, мин Lift force, min
0 мин (Контроль 1) 0 min (Control 1)	14,13 ± 1,03
0 мин (Контроль 2) 0 min (Control 2)	11,18 ± 0,12
20 мин 20 min	5,94 ± 0,31
30 мин 30 min	6,98 ± 0,47
40 мин 40 min	9,23 ± 0,14

Составлено авторами | Compiled by the authors

Увеличение времени выдерживания дрожжей в питательной среде приводило к увеличению подъемной силы дрожжей. Оптимальная продолжительность предварительной активации дрожжей составляла 20 минут.

В дальнейшем определение влияния предварительной активации дрожжей *S. cerevisiae* на ферментативную активность проводили при оптимальной продолжительности предварительной активации. Результаты исследования приведены в таблице 2.

Таблица 2.
Влияние предварительной активации дрожжей *S. cerevisiae* в питательной среде с комплексной добавкой на ферментативную активность

Table 2.
Effect of pre-activation of *S. cerevisiae* yeast in nutrient medium with complex additive on enzymatic activity

Продолжительность предварительной активации, мин Pre-activation duration, min	Ферментативная активность, мин Enzyme activity, min	
	Зимазная Zimaznaya	Мальтазная Maltaznaya
0 мин (Контроль 1) 0 min (Control 1)	57,76 ± 1,36	149,52 ± 1,43
0 мин (Контроль 2) 0 min (Control 2)	24,64 ± 0,42	32,23 ± 0,24
20 мин 20 min	15,36 ± 0,73	27,92 ± 0,32

Составлено авторами | Compiled by the authors

Обсуждение

Исследования показали, что применение пищевой комплексной добавки способствует увеличению подъемной силы прессованных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Как видно из таблицы 1, внесение пищевой комплексной добавки способствует увеличению подъемной

силы дрожжей даже без выдерживания дрожжей в питательной среде (Контроль 2). Показатель подъемной силы для данного образца был на 20,8% выше по сравнению с образцом без добавления пищевой комплексной добавки и без выдерживания в питательной среде (Контроль 1). Полученные результаты свидетельствуют о том, что пищевая комплексная добавка содержит компоненты, которые легко усваиваются дрожжами. Максимальный показатель подъемной силы наблюдался при выдержке дрожжей в питательной среде в течение 20 мин. При этом подъемная сила дрожжей возрастала на 46,9% по сравнению с Контролем 2. Дальнейшее увеличение времени выдержки вело к снижению подъемной силы. Вероятно, это обусловлено многокомпонентным составной пищевой комплексной добавки, которая содержит не только сахара, содержащиеся в муке (например, глюкозу), а также другие моно- и дисахариды. В результате предварительной активации ферментный комплекс дрожжевых клеток приспосабливался к составу питательной среды. В первую очередь увеличивалась активность ферментов, субстратом для которых выступали основные компоненты питательной среды. Затем, когда основные источники энергии для дрожжей закончились, интенсифицировалась активность ферментов, отвечающих за усвоение остальных компонентов питательной среды. Сходные данные, демонстрирующие избирательность в усвоении углеводов дрожжами, приведены в исследовании [10].

Показатель подъемной силы является обобщенным показателем. В хлебопекарном производстве используются более специфические показатели, характеризующие способность дрожжей усваивать конкретные сахара. Например, зимазная и мальтазная активности [5, 7].

Результаты исследования демонстрируют положительное влияние предварительной активации дрожжей *S. cerevisiae* на зимазную и мальтазную активности (таблица 2). Зимазная активность образца дрожжей с пищевой комплексной добавкой и без активации (Контроль 2) на 57,3% выше по сравнению с образцом дрожжей без добавки и без предварительной активации (Контроль 1). При этом зимазная активность дрожжей *S. cerevisiae*, прошедших предварительную активацию, на 73,4 и 37,7% выше по сравнению с (Контролем 1) и (Контролем 2), соответственно. Сопоставимые данные получены относительно мальтазной активности. Так, мальтазная активность Контроля 2 на 78,4% выше по сравнению с (Контролем 1). Мальтазная активность предварительно активированных дрожжей *S. cerevisiae* на 81,3 и 13,4% выше по сравнению с

(Контролем 1) и (Контролем 2), соответственно. Полученные данные подтверждают данные о положительном влиянии предварительной активации прессованных дрожжей на их биотехнологические показатели, полученные в исследованиях авторов [5, 7].

Заключение

Исследовано влияние предварительной активации хлебопекарных дрожжей *S. cerevisiae* на подъемную силу, зимазную и мальтазную активности. Установлено, что оптимальная продолжительности предварительной активации составляет 20 минут. Показано, что предварительная активация дрожжей увеличивает подъемную силу, зимазную и мальтазную активности.

Практическая значимость исследования заключается в оптимизации процесса предварительной активации прессованных хлебопекарных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* с использованием пищевой комплексной добавки. Применение предварительной активации дрожжей на хлебопекарных предприятиях будет способствовать сокращению технологического цикла производства продукции, за счет чего увеличится производительность и снизится себестоимость готовой продукции. Дальнейшие исследования следует направить на совершенствование технологии производства хлебобулочных изделий с использованием предварительной активации дрожжей в питательной среде, содержащей пищевую комплексную добавку.

Литература

- 1 Dubkova N.Z., Kharkov V.V., Vakhitov M.R. Using jerusalem artichoke powder in functional food production // Foods and Raw Materials. 2021. V. 9. № 1. P. 69–78. doi:10.21603/2308-4057-2021-1-69-78
- 2 Gélinas P. Inventions on baker's yeast storage and activation at the bakery plant // Recent Patents on Food, Nutrition and Agriculture. 2010. V. 2. № 1. P. 1–11. doi:10.2174/2212798411002010001
- 3 Hauf J., Zimmermann F.K., Müller S. Simultaneous genomic overexpression of seven glycolytic enzymes in the yeast *saccharomyces cerevisiae* // Enzyme and Microbial Technology. 2000. V. 26. № 9–10. P. 688–698. doi:10.1016/S0141-0229(00)00160-5
- 4 Naumov G.I., Naumoff D.G. Molecular genetic differentiation of yeast α -glucosidases: Maltase and isomaltase // Microbiology. 2012. V. 81. № 3. P. 276–280. doi:10.1134/S0026261712030101
- 5 Nazimova E.V., Markov A.S., Sergeeva I.Y., Romanov A.S. Changes in the biochemical properties of yeast during oxygen saturation of semi-finished bakery products // Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 640. № 2. doi:10.1088/1755-1315/640/2/022005
- 6 Rebholz G.F., Sebald K., Dirndorfer S., Dawid C. et al. Impact of exogenous maltogenic α -amylase and maltotetraogenic amylase on sugar release in wheat bread // European Food Research and Technology. 2021. V. 247. № 6. P. 1425–1436. doi:10.1007/s00217-021-03721-1
- 7 Savelyeva E.V., Zinurova E.E., Mingaleeva Z.S., Maslov A.V. et al. The study of the possibility of using the additive of plant origin for improvement the quality of yeast and wheat bread // Journal of Environmental Treatment Techniques. 2019. № 7. P. 1036–1040.
- 8 Struyf N., Verspreet J., Verstrepen K.J., Courtin C.M. Investigating the impact of α -amylase, α -glucosidase and glucoamylase action on yeast-mediated bread dough fermentation and bread sugar levels // Journal of Cereal Science. 2017. V. 75. P. 35–44. doi:10.1016/j.jcs.2017.03.013
- 9 Wang X., Bali M., Medintz I., Michels C.A. Intracellular maltose is sufficient to induce MAL gene expression in *saccharomyces cerevisiae* // Eukaryotic Cell. 2002. V. 1. № 5. P. 696–703. doi:10.1128/EC.1.5.696-703.2002
- 10 Yoon S., Mukerjee R., Robyt J.F. Specificity of yeast (*saccharomyces cerevisiae*) in removing carbohydrates by fermentation // Carbohydrate Research. 2003. V. 338. № 10. P. 1127–1132. doi:10.1016/S0008-6215(03)00097-1
- 11 Zhang C., Song H., Lin X., Bai X. et al. Expression, purification and characterization of maltase from “quick” baker's yeast // Advances in Applied Biotechnology: Proceedings of the 2nd International Conference on Applied Biotechnology (ICAB 2014)-Volume II. Springer Berlin Heidelberg, 2015. P. 265-275. doi:10.1007/978-3-662-46318-5_29
- 12 Nandy S.K., Srivastava R.K. A review on sustainable yeast biotechnological processes and applications // Microbiological research. 2018. V. 207. P. 83-90.
- 13 Jofre F.M., Queiroz S.D.S., Sanchez D.A., Arruda P.V. et al. Biotechnological potential of yeast cell wall: An overview // Biotechnology Progress. 2024. P. e3491.
- 14 Padilla B., Gil J.V., Manzanares P. Past and future of non-Saccharomyces yeasts: From spoilage microorganisms to biotechnological tools for improving wine aroma complexity // Frontiers in microbiology. 2016. V. 7. P. 411.
- 15 Palma M.L., Zamith-Miranda D., Martins F.S., Bozza F.A. et al. Probiotic *Saccharomyces cerevisiae* strains as biotherapeutic tools: is there room for improvement? // Applied Microbiology and Biotechnology. 2015. V. 99. P. 6563-6570.
- 16 Rai A.K., Pandey A., Sahoo D. Biotechnological potential of yeasts in functional food industry // Trends in Food Science & Technology. 2019. V. 83. P. 129-137.
- 17 Parapouli M., Vasileiadis A., Afendra A.S., Hatziloukas E. *Saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications // AIMS microbiology. 2020. V. 6. №. 1. P. 1.
- 18 Fernandez-Pacheco P., Arévalo-Villena M., Bevilacqua A., Corbo M.R. et al. Probiotic characteristics in *Saccharomyces cerevisiae* strains: Properties for application in food industries // Lwt. 2018. V. 97. P. 332-340.
- 19 Zakhartsev M., Reuss M. Cell size and morphological properties of yeast *Saccharomyces cerevisiae* in relation to growth temperature // FEMS yeast research. 2018. V. 18. №. 6. P. foy052.
- 20 Heitmann M., Zannini E., Arendt E. Impact of *Saccharomyces cerevisiae* metabolites produced during fermentation on bread quality parameters: A review // Critical reviews in food science and nutrition. 2018. V. 58. №. 7. P. 1152-1164.

References

- 1 Dubkova N.Z., Kharkov V.V., Vakhitov M.R. Using jerusalem artichoke powder in functional food production. *Foods and Raw Materials*. 2021. vol. 9. no. 1. pp. 69–78. doi:10.21603/2308-4057-2021-1-69-78
- 2 Gélinas P. Inventions on baker's yeast storage and activation at the bakery plant. *Recent Patents on Food, Nutrition and Agriculture*. 2010. vol. 2. no. 1. pp. 1–11. doi:10.2174/2212798411002010001
- 3 Hauf J., Zimmermann F.K., Müller S. Simultaneous genomic overexpression of seven glycolytic enzymes in the yeast *saccharomyces cerevisiae*. *Enzyme and Microbial Technology*. 2000. vol. 26. no. 9–10. pp. 688–698. doi:10.1016/S0141-0229(00)00160-5
- 4 Naumov G.I., Naumoff D.G. Molecular genetic differentiation of yeast α -glucosidases: Maltase and isomaltase. *Microbiology*. 2012. vol. 81. no. 3. pp. 276–280. doi:10.1134/S0026261712030101
- 5 Nazimova E.V., Markov A.S., Sergeeva I.Y., Romanov A.S. Changes in the biochemical properties of yeast during oxygen saturation of semi-finished bakery products. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. vol. 640. no. 2. doi:10.1088/1755-1315/640/2/022005
- 6 Rebholz G.F., Sebald K., Dirndorfer S., Dawid C. et al. Impact of exogenous maltogenic α -amylase and maltotetraogenic amylase on sugar release in wheat bread. *European Food Research and Technology*. 2021. vol. 247. no. 6. pp. 1425–1436. doi:10.1007/s00217-021-03721-1
- 7 Savelyeva E.V., Zinurova E.E., Mingaleeva Z.S., Maslov A.V. et al. The study of the possibility of using the additive of plant origin for improvement the quality of yeast and wheat bread. *Journal of Environmental Treatment Techniques*. 2019. no.7. pp. 1036–1040.
- 8 Struyf N., Verspreet J., Verstrepen K.J., Courtin C.M. Investigating the impact of α -amylase, α -glucosidase and glucoamylase action on yeast-mediated bread dough fermentation and bread sugar levels. *Journal of Cereal Science*. 2017. vol. 75. pp. 35–44. doi:10.1016/j.jcs.2017.03.013
- 9 Wang X., Bali M., Medintz I., Michels C.A. Intracellular maltose is sufficient to induce MAL gene expression in *saccharomyces cerevisiae*. *Eukaryotic Cell*. 2002. vol. 1. no. 5. pp. 696–703. doi:10.1128/EC.1.5.696-703.2002
- 10 Yoon S., Mukerjee R., Robyt J.F. Specificity of yeast (*saccharomyces cerevisiae*) in removing carbohydrates by fermentation. *Carbohydrate Research*. 2003. vol. 338. no. 10. pp. 1127–1132. doi:10.1016/S0008-6215(03)00097-1
- 11 Zhang C., Song H., Lin X., Bai X. et al. Expression, purification and characterization of maltase from “quick” baker's yeast. *Advances in Applied Biotechnology: Proceedings of the 2nd International Conference on Applied Biotechnology (ICAB 2014)-Volume II*. Springer Berlin Heidelberg, 2015. pp. 265-275. doi:10.1007/978-3-662-46318-5_29
- 12 Nandy S.K., Srivastava R.K. A review on sustainable yeast biotechnological processes and applications. *Microbiological research*. 2018. vol. 207. pp. 83-90.
- 13 Jofre F.M., Queiroz S.D.S., Sanchez D.A., Arruda P.V. et al. Biotechnological potential of yeast cell wall: An overview. *Biotechnology Progress*. 2024. pp. e3491.
- 14 Padilla B., Gil J.V., Manzanares P. Past and future of non-Saccharomyces yeasts: From spoilage microorganisms to biotechnological tools for improving wine aroma complexity. *Frontiers in microbiology*. 2016. vol. 7. pp. 411.
- 15 Palma M.L., Zamith-Miranda D., Martins F.S., Bozza F.A. et al. Probiotic *Saccharomyces cerevisiae* strains as biotherapeutic tools: is there room for improvement? *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2015. vol. 99. pp. 6563-6570.
- 16 Rai A.K., Pandey A., Sahoo D. Biotechnological potential of yeasts in functional food industry. *Trends in Food Science & Technology*. 2019. vol. 83. pp. 129-137.
- 17 Parapouli M., Vasileiadis A., Afendra A.S., Hatziloukas E. *Saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications. *AIMS microbiology*. 2020. vol. 6. no. 1. pp. 1.
- 18 Fernandez-Pacheco P., Arévalo-Villena M., Bevilacqua A., Corbo M.R. et al. Probiotic characteristics in *Saccharomyces cerevisiae* strains: Properties for application in food industries. *Lwt*. 2018. vol. 97. pp. 332-340.
- 19 Zakhartsev M., Reuss M. Cell size and morphological properties of yeast *Saccharomyces cerevisiae* in relation to growth temperature. *FEMS yeast research*. 2018. vol. 18. no. 6. pp. foy052.
- 20 Heitmann M., Zannini E., Arendt E. Impact of *Saccharomyces cerevisiae* metabolites produced during fermentation on bread quality parameters: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2018. vol. 58. no. 7. pp. 1152-1164.

Сведения об авторах

Александр В. Маслов к.т.н., старший преподаватель, кафедра технологии пищевых производств, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, maslov-aleksandr95@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5841-0705>

Замира Ш. Мингалева д.т.н., заведующий кафедрой, кафедра технологии пищевых производств, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, mingaleeva06@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3076-9104>

Оксана В. Старовойтова к.т.н., доцент, кафедра технологии пищевых производств, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, starovoitova-oks@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0790-4582>

Information about authors

Alexandr V. Maslov Cand. Sci. (Engin.), senior lecturer, food production technology department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx street, 68, Kazan, 420015, Russia, maslov-aleksandr95@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5841-0705>

Zamira Sh. Mingaleeva Dr. Sci. (Engin.), head of the department, food production technology department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx street, 68, Kazan, 420015, Russia, mingaleeva06@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3076-9104>

Oksana V. Starovoitova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food production technology department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx street, 68, Kazan, 420015, Russia, starovoitova-oks@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0790-4582>

Лилия И. Агзамова к.т.н., доцент, кафедра общей химии и биотехнологии Нижнекамского химико-технологического института, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, liliya.sch@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6558-0312>

Ольга А. Решетник д.т.н., профессор, кафедра технологии пищевых производств, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, roa.olga@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5322-0769>

Вклад авторов

Александр В. Маслов обзор источников информации, проведение экспериментальных исследований, анализ экспериментальных данных и корректировка рукописи

Замира Ш. Мингалеева администрирование и разработка концепции исследования, анализ экспериментальных данных и корректировка рукописи

Оксана В. Старовойтова консультация в ходе исследования

Лилия И. Агзамова консультация в ходе исследования

Ольга А. Решетник консультация в ходе исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Lilia I. Agzamova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, general chemistry and biotechnology department of Nizhnekamsk Chemical Technological Institute, Kazan National Research Technological University, Karl Marx street, 68, Kazan, 420015, Russia, liliya.sch@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6558-0312>

Olga A. Reshetnik Dr. Sci. (Engin.), professor, food production technology department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx street, 68, Kazan, 420015, Russia, roa.olga@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5322-0769>

Contribution

Alexandr V. Maslov reviewed literature, conducted experimental studies and data analysis, and edited the manuscript

Zamira Sh. Mingaleeva developed the study concept, administered the research, analyzed experimental data, and edited the manuscript

Oksana V. Starovoitova consultation during the study

Lilia I. Agzamova consultation during the study

Olga A. Reshetnik consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 23/07/2024	После редакции 16/08/2024	Принята в печать 02/09/2024
Received 23/07/2024	Accepted in revised 16/08/2024	Accepted 02/09/2024

Экспериментально-аналитическое исследование процесса ультразвуковой экстракции инулина из клубней топинамбура

Ольга И. Коннова¹ okonnova88@gmail.com  0000-0002-2146-5443
Юрий А. Максименко¹ amxs1@yandex.ru  0000-0001-7973-1903

¹ Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия

Аннотация. Значительное место в номенклатуре функциональных продуктов питания занимает пищевая продукция, содержащая инулин, который во всем мире используется как пищевой продукт диетического и диабетического питания, пребиотик, структуро- и вкусообразователь. Клубни топинамбура являются сырьем для получения инулина. В статье рассматривается использование ультразвукового излучения в качестве эффективного метода для ускорения процесса извлечения инулина из клубней топинамбура и повышения его выхода. Данный подход к процессу экстрагирования дает возможность не только уменьшить продолжительность технологической операции, но и заметно увеличить удельный выход целевых компонентов. Рекомендовано техническое исполнение экстрактора с использованием ультразвукового излучения и разработан рациональный режим его эксплуатации. В результате математической обработки результатов экспериментов получены аппроксимирующие зависимости удельной производительности от влияющих параметров, выполнен анализ и построены поля значений удельной производительности процесса ультразвуковой экстракции инулина. Для реализации в промышленности предлагается следующий вариант выполнения стадии экстракции: формирование экстракционной смеси при смешивании мезги с водой в соотношении гидромодуля мезга:вода от 1:4 до 1:8, экстрагирование проводить в течение 20-60 мин с использованием ультразвукового воздействия частотой 22 кГц и интенсивностью 50 Вт/см² на экстракционную смесь массой 2,5 - 13,5 кг при механическом перемешивании экстракционной смеси со скоростью 15-30 об/мин и ее циркуляционном перемешивании с кратностью циркуляции 20..30 объемов/час при температуре смеси 313 – 353 К при этом удельная производительность составит 4,708 – 14,566 кг/(м³·ч).

Ключевые слова: клубни топинамбура, инулин, ультразвуковая экстракция, механическое перемешивание, циркуляционное перемешивание, процесс экстракции.

Experimental-analytical study of the process of ultrasonic extraction of inulin from jerusalem tubers

Olga I. Konnova¹ okonnova88@gmail.com  0000-0002-2146-5443
Yuriy A. Maksimenko¹ amxs1@yandex.ru  0000-0001-7973-1903

¹ Astrakhan State Technical University, Tatishchev St., Bldg. 16/1, Astrakhan, 414056, Russia

Abstract. Significant place in the range of functional foods occupied by food products containing inulin, which is used all over the world as a food product for dietary and diabetic nutrition, a prebiotic, a structure- and flavor-forming agent. Jerusalem artichoke tubers are the raw material for the production of inulin. The article discusses the use of ultrasonic radiation as an effective method for accelerating the process of extracting inulin from Jerusalem artichoke tubers and increasing its yield. This approach to the extraction process makes it possible not only to reduce the duration of the technological operation, but also to significantly increase the specific yield of the target components. The technical design of the extractor using ultrasonic radiation has been recommended and a rational mode of its operation has been developed. As a result of mathematical processing of the experimental results, approximating dependences of the specific productivity on the influencing parameters were obtained, an analysis was performed and fields of values of the specific productivity of the process of ultrasonic extraction of inulin were constructed. For implementation in industry, the following option for performing the extraction stage is proposed: the formation of an extraction mixture by mixing the pulp with water in the pulp:water hydromodulus ratio from 1:4 to 1:8, the extraction is carried out for 20-60 minutes using ultrasonic influence with a frequency of 22 kHz and intensity of 50 W/cm² per extraction mixture weighing 2.5 - 13.5 kg with mechanical stirring of the extraction mixture at a speed of 15-30 rpm and its circulation stirring with a circulation rate of 20..30 volumes/hour at a mixture temperature of 313 - 353 K. In this case, the specific productivity will be 4.708 – 14.566 kg/(m³ h).

Keywords: jerusalem artichoke tubers, inulin, ultrasonic extraction, mechanical mixing, circulation mixing, extraction process.

Введение

В настоящее время в России селекционированы высокопродуктивные сорта топинамбура с различным содержанием инулина и объем его выращивания в ряде регионов увеличивается, но следует признать, что отсутствуют научно-обоснованные промышленные технологии комплексной переработки топинамбура, в частности, его клубней с получением инулина,

что очевидно является сдерживающим фактором развития производств и вывода на внутренний и внешние рынки отечественного инулина и другой пищевой продукции.

Ультразвуковая экстракция позволяет интенсифицировать массообменные процессы, увеличивать выход получаемых продуктов и повышать их качественные показатели, что отмечено в многочисленных научно-исследовательских работах [1–9].

Для цитирования

Коннова О.И., Максименко Ю.А. Экспериментально-аналитическое исследование процесса ультразвуковой экстракции инулина из клубней топинамбура // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 102–108. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-102-108

For citation

Konnova O.I., Maksimenko Yu.A. Experimental-analytical study of the process of ultrasonic extraction of inulin from jerusalem tubers. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 102–108. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-102-108

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

Цель работы – исследование процесса ультразвуковой экстракции инулина из клубней топинамбура, анализ зависимости удельной производительности от влияющих параметров и определение рациональных режимов процесса ультразвуковой экстракции инулина.

Материалы и методы

При исследовании процессов экстракции инулина в качестве сырья использовались клубни топинамбура сорта «Интерес», характеризующиеся высокой урожайностью, средним содержанием сухих веществ 0,22 кг/кг и содержанием инулина 0,154 кг/кг, что установлено в ходе исследований. Клубни топинамбура были выращены в Астраханской области в Камызякском районе.

В соответствии с предложенным способом получения инулина и рядом рекомендаций [9–11], клубни топинамбура определенной массы измельчали до размера частиц 1–5 мм для получения мезги, перед экстрагированием проводили бланширование мезги при температуре 70 ± 2 °С в течение 15 мин, формирование экстракционной смеси при смешивании мезги с водой осуществлялось в соотношении гидромодуля сырье (мезга): вода от 1:4 до 1:8.

Изучение процесса экстрагирования проводилось на экспериментальной установке, принципиальная схема и общий вид которой представлены на рисунках 1 и 2.

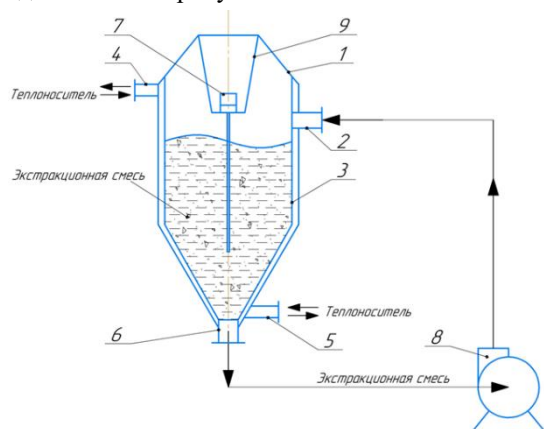


Рисунок 1. Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования процесса ультразвуковой экстракции: 1 – емкость; 2, 6 – технологические патрубки; 3 – контур терморегуляции (обогрев, охлаждение); 4, 5 – патрубки для входа/выхода теплоносителя; 7 – ультразвуковой генератор; 8 – насос

Figure 1. Schematic diagram of the experimental setup for studying the ultrasonic extraction process: 1 – container; 2, 6 – process pipes; 3 – thermoregulation circuit (heating, cooling); 4, 5 – pipes for the inlet/outlet of the coolant; 7 – ultrasonic generator; 8 – pump

Экспериментальная установка работает следующим образом. Экстракционная смесь формируется и далее перемешивается за счет циркуляции в объеме цилиндроконического корпуса 1, перемешивание смеси производится в результате отбора части смеси через патрубок 6, которая далее направляется насосом 8 в верхнюю часть аппарата через патрубок 2, что позволяет равномерно распределять экстракционную смесь в объеме аппарата. Регулировка расхода насоса 8 осуществлялась за счет изменения параметров электрического питания частотным преобразователем.



Рисунок 2. Общий вид экспериментальной установки для исследования процесса ультразвуковой экстракции
Figure 2. General view of the experimental setup for studying the ultrasonic extraction process

Кратность циркуляции смеси составляла 20–30 объемов/час и установлена в ходе предварительных экспериментов из условия эффективного перемешивания суспензии с учетом ряда рекомендаций [12–14]. Для создания и поддержания требуемой температуры взаимодействия при экстрагировании в аппарате использовался контур терморегуляции 3. Ультразвуковое воздействие на экстракционную смесь реализовывалось посредством технологического аппарата «Волна УЗТА–0,4/22–ОМ» с таймером и регулятором выходной мощности (30–100%) и ультразвукового генератора 7 со стержневым рабочим элементом, который погружен в смесь.

В ходе экспериментов во времени процесса, при различном сочетании влияющих параметров, периодически отбиралось достаточное количество раствора для определения текущего содержания сухих веществ.

Эксперименты проводились до достижения равновесной концентрации сухих веществ в экстрактном растворе $C_{с.в. экс.}$, после достижения которой в ходе эксперимента, концентрация не менялась во времени эксперимента. После завершения процесса экстракции вывод смеси из аппарата для дальнейшего разделения на экстракт и отработанное сырье осуществлялся через патрубок 6.

В качестве основных параметров (факторы экспериментов), влияющих на массообменные процессы при экстрагировании и варьируемых при экспериментальных исследованиях приняты:

- соотношение гидромодуля (масса сырья: масса экстрагента);
- температура экстракционной смеси (сырье и экстрагент) – $T_{см}$, К;
- масса сырья, подвергаемая обработке с использованием ультразвукового воздействия

(1 ультразвуковой генератор) частотой 22 кГц и интенсивностью 50 Вт/см² – $M_{сырья}$, кг.

Уровни и диапазоны варьирования параметров (таблица 1) установлены в ходе предварительных исследований из условия рациональной организации процесса экстракции и получения результатов по производительности процесса, которые при условии масштабного перехода могут быть реализованы при промышленном производстве.

Таблица 1.

Влияющие параметры и уровни их варьирования

Table 1.

Influential parameters and framework for their consideration

Факторы Factors Уровни Levels	Гидромодуль Hydromodule	$T_{см}$, К	$M_{сырья}$, кг
1	1:4	313	0,5
2	1:6	333	1
3	1:8	353	1,5

Таким образом, в ходе исследований формирование экстракционной смеси осуществлялось при смешивании мезги с водой осуществлялось в соотношении гидромодуля сырье (мезга) : вода от 1:4, 1:6 и 1:8, экстрагирование проводилось в течение 20–60 мин с использованием ультразвукового воздействия частотой 22 кГц и интенсивностью 50 Вт/см² на экстракционную смесь массой 2,5–13,5 кг при механическом перемешивании экстракционной смеси со скоростью 15–30 об/мин и ее циркуляционном перемешивании с кратностью циркуляции 20–30 объемов/час при температуре смеси 313–353К.

Параметры, определяемые по итогам выполнения экспериментов: $M_{экс}$, кг – масса экстракта (после фильтрования); $C_{с.в. экс}$, кг/кг – концентрация сухих веществ в экстракте; $C_{инулина в с.в. экс}$, кг/кг – концентрация инулина в сухих веществах экстракта; τ , мин (ч) – продолжительность экстракции.

Масса инулина в экстракте рассчитывалась по зависимости:

$$M_{инулина в экс} = M_{экс} \times C_{инулина в экс}, \quad (1)$$

При рационализации процесса ультразвуковой экстракции инулина из клубней топинамбура целевой функцией выбрана удельная производительность, которая соответствует массе инулина, перешедшего в экстрактивный раствор, с единицы рабочего объема экстрактора в единицу времени Π , кг/(м³·ч), для вычисления которой масса инулина в составе экстракта $M_{инулина в экс}$, кг была отнесена к рабочему объему экстрактора $V = 0,02$ м³ и продолжительности τ , ч:

$$\Pi = M_{инулина в экс} / (V \times \tau). \quad (2)$$

Результаты и обсуждение

Результаты расчетов целевой функции при различных вариантах значений влияющих факторов с учетом результатов экспериментов представлены в таблицах 2–4.

Таблица 2.

Результаты исследований и расчета удельной производительности процесса ультразвуковой экстракции инулина при соотношении гидромодуля 1:4

Table 2.

Results of research and calculation of specific productivity of the process of ultrasonic extraction of inulin at a ratio of hydromodulus of 1:4

№	T , К	$M_{сырья}$, кг	V , м ³ m ³	$M_{инулина в экс}$, кг	τ , мин min	τ , ч h	Π , кг/(м ³ ·ч)
1	313	0,5	0,02	0,06992	40	0,667	5,244
2		1		0,13643	44	0,733	9,302
3		1,5		0,1944	51	0,850	11,436
4	333	0,5		0,0774	32	0,533	7,260
5		1		0,1478	40	0,667	11,088
6		1,5		0,2112	48	0,800	13,200
7	353	0,5		0,0852	29	0,483	8,820
8		1		0,1599	33	0,550	14,534
9		1,5		0,2185	45	0,750	14,566

Таблица 3.

Результаты исследований и расчета удельной производительности процесса ультразвуковой экстракции инулина при соотношении гидромодуля 1:6

Table 3.

Results of research and calculation of specific productivity of the process of ultrasonic extraction of inulin at a ratio of hydromodulus of 1:6

№	T, K	M _{сырья} , КГ kg	V, м ³ m ³	M _{инулина в экс} , КГ kg	τ, мин min	τ, ч h	П, КГ/(м ³ ·ч)
1	313	0,5	0,02	0,0741	44	0,733	5,050
2		1		0,1386	47	0,783	8,846
3		1,5		0,1935	54	0,900	10,752
4	333	0,5		0,0814	37	0,617	6,598
5		1		0,1529	42	0,700	10,920
6		1,5		0,2071	51	0,850	12,184
7	353	0,5		0,0871	35	0,583	7,466
8		1		0,1593	38	0,633	12,575
9		1,5		0,2170	47	0,783	13,849

Таблица 4.

Результаты исследований и расчета удельной производительности процесса ультразвуковой экстракции инулина при соотношении гидромодуля 1:8

Table 4.

Results of research and calculation of specific productivity of the process of ultrasonic extraction of inulin at a ratio of the hydromodulus of 1:8

№	T, K	M _{сырья} , КГ kg	V, м ³ m ³	M _{инулина в экс} , КГ kg	τ, мин min	τ, ч h	П, КГ/(м ³ ·ч)
1	313	0,5	0,02	0,0738	47	0,783	4,708
2		1		0,1352	50	0,833	8,114
3		1,5		0,1936	56	0,933	10,373
4	333	0,5		0,0825	38	0,633	6,510
5		1		0,1522	42	0,700	10,875
6		1,5		0,2093	53	0,883	11,849
7	353	0,5		0,0832	38	0,633	6,571
8		1		0,1537	41	0,683	11,244
9		1,5		0,2213	50	0,833	13,280

В результате математической обработки результатов получены аппроксимирующие зависимости удельной производительности от влияющих параметров:

$$П(T, M_{сырья}) = (A_{П} \cdot T^2 + B_{П} \cdot T + C_{П}) \cdot M_{сырья}^2 + (D_{П} \cdot T^2 + E_{П} \cdot T + F_{П}) \cdot M_{сырья} + (G_{П} \cdot T^2 + H_{П} \cdot T + K_{П}), \quad (3)$$

где $A_{П}$, $B_{П}$, $C_{П}$, $D_{П}$, $E_{П}$, $F_{П}$, $G_{П}$, $H_{П}$, $K_{П}$ – эмпирические коэффициенты (таблица 5).

Таблица 5.

Значения эмпирических коэффициентов

Table 5.

Values of empirical coefficients

Гидромодуль Hydromodule Коэффициент Ratio	1:4	1:6	1:8
$A_{П}$	-0,010432448	0,000983005	0,007492302
$B_{П}$	6,760164835	-0,751951780	-5,064318915
$C_{П}$	-1097,723102228	135,278759295	848,825186772
$D_{П}$	0,020937110	-0,000826269	-0,012864170
$E_{П}$	-13,579585210	0,761857062	8,742551770
$F_{П}$	2213,110247140	-144,254417394	-1465,877870280
$G_{П}$	-0,008429490	-0,000681383	0,002381840
$H_{П}$	5,568147290	0,432741895	-1,608628290
$K_{П}$	-917,739388960	-69,328160993	270,310128810

Размерность эмпирических коэффициентов равна отношению размерности функции к размерности аргумента (или произведения аргументов).

На рисунках 3–5 представлены поля значений удельной производительности процесса ультразвуковой экстракции инулина, построенные

с использованием функциональной зависимости (3), анализ которых позволяет сделать вывод о росте целевой функции при увеличении температуры экстракционной смеси, максимальное значение которой 353 К ограничено условием обеспечения качественных показателей продукции.

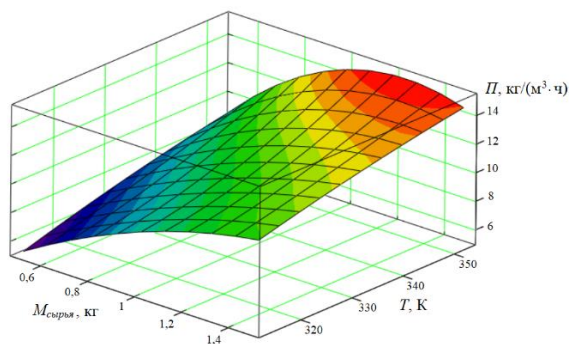


Рисунок 3. Поле значений удельной производительности процесса ультразвуковой экстракции инулина при соотношении гидромодуля 1:4
Figure 3. Field of values of specific productivity of the ultrasonic extraction process of inulin at a hydromodulus ratio of 1:4

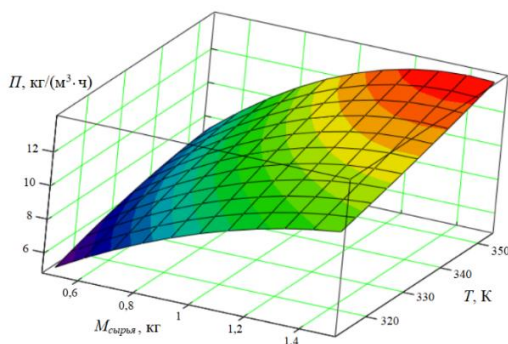


Рисунок 4. Поле значений удельной производительности процесса ультразвуковой экстракции инулина при соотношении гидромодуля 1:6
Figure 4. Field of values of specific productivity of the ultrasonic extraction process of inulin at a hydromodulus ratio of 1:6

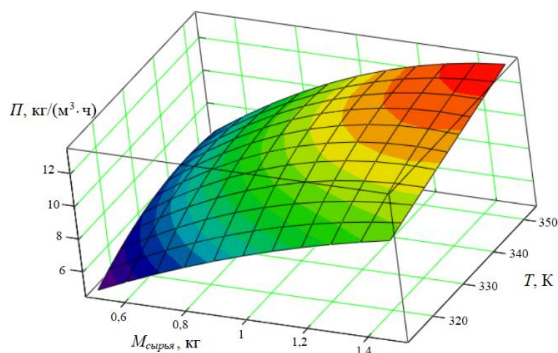


Рисунок 5. Поле значений удельной производительности процесса ультразвуковой экстракции инулина при соотношении гидромодуля 1:8
Figure 5. Field of values of specific productivity of the ultrasonic extraction process of inulin at a hydromodulus ratio of 1:8

После экстрагирования последовательно выполнялись следующие операции: фильтрование экстракта, осветление экстракта, фильтрование осветленного экстракта, ультрафильтрацию осветленного экстракта, концентрирование вакуум-выпариванием экстракта и распылительная сушка. Были определены показатели качества опытных образцов инулина (таблица 6). Предлагаемый способ может быть применен в промышленности и позволяет получить инулин высокого качества и увеличить его выход.

Таблица 6.
Показатели качества инулина
Table 6.
Inulin quality indicators

Показатель Index	Значение Value
Внешний вид Appearance	Порошок тонкого помола без посторонних примесей Finely ground powder without any extraneous impurities
Цвет Colour	Белый со светло-кремовым оттенком White with a light creamy tinge
Вкус Flavour	Сладкий, без посторонних привкусов Sweet, without any off-flavours
Запах Odour	Без запаха Odourless
Массовая доля влаги, % Mass fraction of moisture, %	5
Массовая доля целевого компонента (инулина), % Mass fraction of target component (inulin), %	93,0–98,0
Посторонние примеси Foreign impurities	Отсутствуют None

Закключение

На основе результатов исследований сделан вывод о перспективности применения ультразвуковой экстракции при получении инулина из клубней топинамбура и для внедрения в промышленности предлагается использовать конструкцию экстрактора [15, 16], разработанную авторами и следующий вариант выполнения стадии экстракции: формирование экстракционной смеси при смешивании мезги с водой в соотношении гидромодуля мезга: вода от 1:4 до 1:8, экстрагирование проводить в течение 20–60 мин с использованием ультразвукового воздействия частотой 22 кГц и интенсивностью 50 Вт/см² на экстракционную смесь массой 2,5–13,5 кг при механическом перемешивании экстракционной смеси со скоростью 15–30 об/мин и ее циркуляционном перемешивании с кратностью циркуляции 20–30 объемов/час при температуре смеси 313–353 К при этом удельная производительность составит 4,708–14,566 кг/(м³·ч). Исследования будут продолжены для научно-практического обоснования технологии инулина из клубней топинамбура различных сортов, основанной на рациональном сочетании взаимозависимых процессов подготовки сырья, экстракции, фильтрации, вакуум-выпаривания и распылительной сушки с учетом современных

методов интенсификации тепломассообменных процессов и энерго- и ресурсосбережения для организации эффективной промышленной

переработки клубней топинамбура и выпуска высококачественной пищевой продукции, в том числе функционального назначения.

Литература

- 1 Макарова Н.В., Еремеева Н.Б. Сравнительное изучение влияния ультразвуковых воздействий на экстракцию антиоксидантных соединений ягод черники (*Vaccinium myrtillus* L.) // Химия растительного сырья. 2020. № 1. С. 167–177. doi: 10.14258/jcprm.2020014425
- 2 Зибарева Л.Н., Филоненко Е.С. Влияние ультразвукового воздействия на экстракцию биологически активных соединений растений семейства Caryophyllaceae // Химия растительного сырья. 2018. № 2. С. 145–151. doi: 10.14258/jcprm.2018023703
- 3 Матвеев Д.А., Родионов Ю.В., Никитин Д.В. и др. Жидкостное экстрагирование растительных материалов с максимальным сохранением биологически активных веществ // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. № 1. С. 164–172.
- 4 Дьякова Н.А. Экспериментальный подбор оптимальных технологических параметров ультразвуковой экстракции инулина // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2021. Т. 20. № 4. С. 188–193. doi: 10.37903/vsgma.2021.4.26
- 5 Даудова Т.Н., Исригова Т.А., Даудова Л.А., Омарова М.М. Интенсификация экстракции антоциановых красителей ультразвуковой обработкой дикорастущих плодов // Проблемы развития АПК региона. 2021. № 1(45). С. 160–163. doi: 10.52671/20790996_2021_1_160
- 6 Кареткин Б.А., Шакир И.В., Прудсков Б.М., Панфилов В.И. Исследование ультразвуковой экстракции и способов очистки фруктанов из клубней топинамбура // Химическая промышленность сегодня. 2014. № 1. С. 39–46.
- 7 Tan Q.L.P., Que A.H.N. Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Polyscias fruticosa* (L.) Harms root // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2023. V. 165. №. 1. P. 58–67. doi: 10.26907/2542–064X.2023.1.58–67
- 8 Castellino M., Renna M., Leoni B., Calasso M. et al. Conventional and unconventional recovery of inulin rich extracts for food use from the roots of globe artichoke // Food Hydrocolloids. 2020. V. 107. P. 105975 doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105975
- 9 Муцаев Р.В., Алексанян И.Ю., Поликарпова Н.Э. Интенсификация процесса экстракции инулина из растительного сырья // Индустрия питания. 2018. Т. 3. № 1. С. 69–76.
- 10 Пат. № 2548502, RU, C08B 37/00, C08B 37/18, A23L 1/236. Способ получения инулина из инулинсодержащего сырья / Бархатова Т.В., Назаренко М.Н., Кожухова М.А., Христюк В.Т. № 2013151539/13; Заявл. 19.11.2013; Оpubл. 20.04.2015.
- 11 Пат. № 2148588, RU, C08B 37/00, C08B 37/18. Способ получения инулина из клубней топинамбура / Манешин В.В., Артемьев В.Д., Васильева Ю.П. № 98115947/04; Заявл. 20.08.1998; Оpubл. 10.05.2000.
- 12 Максименко Ю.А., Алексанян И.Ю., Нугманов А.Х.Х., Лысова В.Н. Гидромеханическое оборудование химических и пищевых технологий. Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2020. 116 с.
- 13 Тимановский, Е.А. Исследование процесса перемешивания, основные характеристики // Colloquium-Journal. 2018. № 12–6(23). С. 47–48.
- 14 Вобликова Т.В., Шлыков С.Н., Пермьяков А.В. Процессы и аппараты пищевых производств. Санкт-Петербург: Издательство "Лань", 2019. 204 с.
- 15 Патент на полезную модель № 225428, RU, B01D 11/02, F26B 5/02. Ультразвуковой экстрактор / Коннова О.И., Золотовская О.В., Свирина С.А. и др. № 2024107398; Заявл. 21.03.2024; Оpubл. 22.04.2024.
- 16 Коннова О.И., Золотовская О.В., Свирина С.А., Максименко Ю.А. Разработка рациональной конструкции ультразвукового экстрактора // Технологии и продукты здорового питания: материалы XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 21 марта 2024 года. Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2024. С. 190–195.
- 17 Barkhatova T.V., Nazarenko M.N., Kozhukhova M.A., Khripko I.A. Obtaining and identification of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers // Foods and Raw Materials. 2015. V. 3. №. 2. P. 13–22.
- 18 Rubel I.A., Iraporda C., Manrique G.D., Genovese D.B. et al. Inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): From its biosynthesis to its application as bioactive ingredient // Bioactive carbohydrates and dietary fibre. 2021. V. 26. P. 100281.
- 19 Rubel I.A., Iraporda C., Novosad R., Cabrera F.A. et al. Inulin rich carbohydrates extraction from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and application of different drying methods // Food Research International. 2018. V. 103. P. 226–233.
- 20 Srinameb B., Nuchadomrong S., Jogloy S., Patanotai A. et al. Preparation of inulin powder from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber // Plant foods for human nutrition. 2015. V. 70. P. 221–226.

References

- 1 Makarova N.V., Eremeeva N.B. Comparative study of the effect of ultrasound exposure on the extraction of antioxidant compounds of blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.). Chemistry of plant raw materials. 2020. no. 1. pp. 167–177. doi: 10.14258/jcprm.2020014425 (in Russian).
- 2 Zibareva L.N., Filonenko E.S. Effect of ultrasound exposure on the extraction of biologically active compounds of plants of the Caryophyllaceae family. Chemistry of plant raw materials. 2018. no. 2. pp. 145–151. doi: 10.14258/jcprm.2018023703 (in Russian).
- 3 Matveev D.A., Rodionov Yu.V., Nikitin D.V. and others. Liquid extraction of plant materials with maximum preservation of biologically active substances. Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products. 2021. no. 1. pp. 164–172. (in Russian).
- 4 Dyakova N.A. Experimental selection of optimal technological parameters for ultrasonic extraction of inulin // Bulletin of the Smolensk State Medical Academy. 2021. vol. 20. no. 4. pp. 188–193. doi: 10.37903/vsgma.2021.4.26 (in Russian).

- 5 Daudova T.N., Isrigova T.A., Daudova L.A., Omarova M.M. Intensification of extraction of anthocyanin dyes by ultrasonic treatment of wild fruits. Problems of development of the regional agro-industrial complex. 2021. no. 1(45). pp. 160–163. doi: 10.52671/20790996_2021_1_160 (in Russian).
- 6 Karetkin B.A., Shakir I.V., Prudskov B.M., Panfilov V.I. Study of ultrasonic extraction and purification methods of fructans from Jerusalem artichoke tubers. Chemical industry today. 2014. no. 1. pp. 39–46. (in Russian).
- 7 Tan Q.L.P., Que A.H.N. Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Polyscias fruticosa* (L.) Harms root. Scientific notes of Kazan University. Series Natural sciences. 2023. vol. 165. no. 1. pp. 58–67. doi: 10.26907/2542–064X.2023.1.58–67
- 8 Castellino M., Renna M., Leoni B., Calasso M. et al. Conventional and unconventional recovery of inulin rich extracts for food use from the roots of globe artichoke. Food Hydrocolloids. 2020. vol. 107. pp. 105975 doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105975
- 9 Mutsaev R.V., Aleksanyan I.Yu., Polikarpova N.E. Intensification of the process of inulin extraction from plant raw materials. Food Industry. 2018. vol. 3. no. 1. pp. 69–76. (in Russian).
- 10 Barkhatova T.V., Nazarenko M.N., Kozhukhova M.A., Khristyuk V.T. Method for obtaining inulin from inulin-containing raw materials. Patent RF, no. 2548502, 2015.
- 11 Maneshin V.V., Artemyev V.D., Vasilyeva Yu.P. Method for obtaining inulin from Jerusalem artichoke tubers. Patent RF, no. 2148588, 2000.
- 12 Maksimenko Yu.A., Aleksanyan I.Yu., Nugmanov A.Kh.Kh., Lysova V.N. Hydromechanical equipment for chemical and food technologies. Astrakhan: Astrakhan State Technical University, 2020. 116 p. (in Russian).
- 13 Timanovsky, E.A. Study of the mixing process, main characteristics. Colloquium-Journal. 2018. no. 12–6(23). pp. 47–48. (in Russian).
- 14 Voblikova T.V., Shlykov S.N., Permyakov A.V. Processes and equipment for food production. St. Petersburg, Lan Publishing House, 2019. 204 p. (in Russian).
- 15 Konnova O.I., Zolotovskaya O.V., Svirina S.A. et al. Ultrasonic extractor. Patent RF for Utility Model, no. 225428, 2024.
- 16 Konnova O.I., Zolotovskaya O.V., Svirina S.A., Maksimenko Yu.A. Development of a rational design of an ultrasonic extractor. Technologies and products of healthy food: materials of the XIII National scientific and practical conference with international participation, Saratov, March 21, 2024. Saratov, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, 2024. pp. 190–195. (in Russian).
- 17 Barkhatova T.V., Nazarenko M.N., Kozhukhova M.A., Khripko I.A. Obtaining and identification of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers. Foods and Raw Materials. 2015. vol. 3. no. 2. pp. 13–22.
- 18 Rubel I.A., Iraporda C., Manrique G.D., Genovese D.B. et al. Inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): From its biosynthesis to its application as bioactive ingredient. Bioactive carbohydrates and dietary fibre. 2021. vol. 26. pp. 100281.
- 19 Rubel I.A., Iraporda C., Novosad R., Cabrera F.A. et al. Inulin rich carbohydrates extraction from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and application of different drying methods. Food Research International. 2018. vol. 103. pp. 226–233.
- 20 Srinameb B., Nuchadomrong S., Jogloy S., Patanotai A. et al. Preparation of inulin powder from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber. Plant foods for human nutrition. 2015. vol. 70. pp. 221–226.

Сведения об авторах

Ольга И. Коннова ассистент, кафедра технологии товаров и товароведения, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия, okonnova88@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-2146-5443>

Юрий А. Максименко д.т.н., профессор, кафедра технологические машины и оборудование, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия, amxs1@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7973-1903>

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 I. Konnova assistant, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Astrakhan State Technical University, Tatishchev St., Bldg. 16/1, Astrakhan, 414056, Russia, okonnova88@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-2146-5443>

Yuriy A. Maksimenko Dr. Sci. (Engin.), professor, technological machines and equipment department, Astrakhan State Technical University, Tatishchev St., Bldg. 16/1, Astrakhan, 414056, Russia, amxs1@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7973-1903>

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 24/07/2024	После редакции 13/08/2024	Принята в печать 02/09/2024
Received 24/07/2024	Accepted in revised 13/08/2024	Accepted 02/09/2024

Организация питания в школах

Марина А. Беляева¹ Belyaamar@mail.ru  0000-0001-5259-8698
Андрей П. Бочаров¹ bocharov2009@rambler.ru  0009-0006-4436-529X

¹ Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36 г. Москва, 109992 Россия

² ООО «Сибирская торговая корпорация», г. Абакан, ул. Торговая 5Ж, Республика Хакасия, 655017, Россия

Аннотация. В статье представлена нормативная база по организации питания в школах, мониторингу и контролю, принципам разработки, современным подходам к питанию. При формировании меню учитывается мнение школьников и их родителей о качестве приготовленных блюд, их разнообразии, органолептических показателях и температурных параметрах. Отмечены требования к поставщикам, критерии их выбора. Отмечен контроль качества питания учащимися и их родителями. При формировании меню учитываются мнения школьников и их родителей по качеству приготовляемых блюд, их разнообразию, органолептическим показателям, температурным параметрам, организации питания в соответствии с СанПиН, который был актуализирован в 2021 году. Отмечены принципы разработки меню, реализации меню свободного выбора и по типу «Шведский стол». Представлены рекомендации по рационам питания и кулинарной продукции, которую можно включать в меню. Даны рекомендации по оформлению обеденных залов, по оснащению современной мебелью, с использованием тематического интерьера и разного стиля, в том числе с учетом национальных традиций народов России. В статье отражена деятельность Федерального Центра мониторинга питания обучающихся при Министерстве Просвещения по организации качественного питания в образовательных учреждениях, описана техническая поддержка процесса публикации меню школами, взаимодействию с базой данных ФЦМПО, которая обеспечивает: проверку каталога интернет-сайта школы, используемого для публикации меню, подачу школами-пользователями обновленных данных о школе, каталоге сайта, запросы школ-пользователей на повторное чтение данных, анализ меню школ по показателям, публичный доступ к меню фактического питания для организации родительского контроля. Для организации правильного питания необходимо оснащение пищеблоков современным оборудованием как механическим, так и тепловым, а обеденные залы и буфеты инновационным торгово-технологическим оборудованием и мебелью.

Ключевые слова: питание, мониторинг, органолептические показатели, нормативная база, качество блюд.

Catering in schools

Marina A. Belyaeva¹ Belyaamar@mail.ru  0000-0001-5259-8698
Andrey P. Bocharov¹ bocharov2009@rambler.ru  0009-0006-4436-529X

¹ Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 109992 Russia

² Siberian Trading Corporation LLC, г. Abakan, Trading street, 5Ж, Republic of Khakassia, 655017 Russia

Abstract. The article presents the regulatory framework for catering in schools, monitoring and control, development principles, and modern approaches to nutrition. When forming the menu, the opinion of schoolchildren and their parents about the quality of cooked dishes, their diversity, organoleptic parameters and temperature parameters is taken into account. The requirements for suppliers and the criteria for their selection are noted. The quality control of nutrition by students and their parents was noted. When forming the menu, the opinions of schoolchildren and their parents on the quality of prepared dishes, their diversity, organoleptic parameters, temperature parameters, and catering in accordance with the SanPiN, which was updated in 2021, are taken into account. The principles of menu development, the implementation of the menu of free choice and the type of "Buffet" are noted. Recommendations on diets and culinary products that can be included in the menu are presented. Recommendations are given on the design of dining rooms, on the equipment of modern. The article reflects the activities of the Federal Center for Monitoring the Nutrition of Students under the Ministry of Education on the organization of quality nutrition in educational institutions, describes technical support for the process of publishing menus by schools, interaction with the database of the Federal Center for Educational Research, which provides: checking the catalog of the school's website used for publishing menus, submission by user schools of updated data about the school, the catalog of the site, requests from user schools to re-read data, analysis of school menus by indicators, public access to the actual nutrition menu for the organization of parental control. To organize proper nutrition, it is necessary to equip food units with modern equipment, both mechanical and thermal, and dining halls and buffets with innovative commercial and technological equipment and furniture.

Keywords: nutrition, monitoring, organoleptic indicators, regulatory framework, quality of dishes.

Введение

Организация рационального питания в средних общеобразовательных учреждениях для школьников – это научное направление, которое способствует обеспечению их здоровья, устойчивости к инфекциям и другим неблагоприятным факторам, способности к успешному обучению и формированию здоровой нации.

Президент Российской Федерации В.В. Путин указал на необходимость обеспечения горячим

питанием школьников начальных классов, а также привлечения к контролю за этим процессом родителей. В целях реализации этих поручений главы государства была организована большая и усиленная работа как на региональном, так и на федеральном уровнях.

Важной правовой основой реализации данной работы является Федеральный закон от 01.03.2020 № 47-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О качестве и безопасности

Для цитирования

Беляева М.А., Бочаров А.П. Организация питания в школах // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 109–115. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-109-115

For citation

Belyaeva M.A., Bocharov A.P. Catering in schools. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 109–115. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-109-115

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

пищевых продуктов» и статью 37 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации», который ввел целый ряд концептуальных положений в сфере питания, в том числе установил обязательность обеспечения всех школьников младших классов бесплатным горячим питанием.

Выполнение этого Федерального закона было рассчитано на поэтапный переход к организации бесплатного горячего питания для обучающихся начальных классов с 1 сентября 2020 г. до 1 сентября 2023 г.

Законодательством Российской Федерации определены нормы, регулирующие обязательства и полномочия органов государственного управления в сфере организации питания обучающихся в общеобразовательных организациях.

Был проведен анализ литературных источников по проблеме организации питания в образовательных учреждениях [7-14].

Цель работы – обзор и анализ проблемы современного состояния организации питания в образовательных учреждениях и разработка рекомендаций.

Материалы и методы

Для организации питания обучающихся образовательных организаций, на сегодняшний день имеется нормативная база, разрабатываются новые стандарты, в том числе региональные стандарты, в рамках которых и осуществляется не только оптимальное, сбалансированное и качественное, но и безопасное питание в школах, в таблице 1 приведен перечень документов по организации питания [1, 5–7].

Таблица 1.

Перечень правовых и нормативных документов по организации питания обучающихся образовательных организаций

Table 1.

The list of legal and regulatory documents on catering for students of educational organizations

Вид документа	Наименование документа
Федеральные документы	
Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 17.02.2023) (с изм. и доп., вступ. В силу с 28.02.2023)	Об образовании в Российской Федерации
Федеральный закон РФ от 02.01.2000 г. № 29-ФЗ (ред. от 27.12.2019)	О качестве и безопасности пищевых продуктов
Федеральный закон от 01 марта 2020 г. № 47-ФЗ	О внесении изменений в Федеральный закон «О качестве и безопасности пищевых продуктов» и статью 37 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации»
Федеральный закон РФ от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ (в редакции ФЗ от 04.11.2022 № 429-ФЗ с учетом ФЗ от 21.12.2008 № 268 – ФЗ)	О санитарно – эпидемиологическом благополучии населения
Федеральный закон № 44-ФЗ Редакция от 13.06.2023 (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.07.2023)	О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд
Постановление Правительства РФ от 4.02.2015 г. № 99	Об установлении дополнительных требований к участникам закупки отдельных видов товаров, работ, услуг, случаев отнесения товаров, работ, услуг к товарам, работам, услугам, которые по причине их технической и (или) технологической сложности, инновационного, высокотехнологичного или специализированного характера способны поставить, выполнить, оказать только поставщики (подрядчики, исполнители), имеющие необходимый уровень квалификации, а также документов, подтверждающих соответствие участников закупки указанным дополнительным требованиям.
Постановление Правительства РФ от 20 октября 2021 г. № 1802	«Об утверждении Правил размещения на официальном сайте образовательной организации в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и обновления информации об образовательной организации, а также о признании утратившими силу некоторых актов и отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями)
Методические рекомендации	
Методические рекомендации МР 2.4.0179–20 (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 18 мая 2020 г.)	Рекомендации по организации питания обучающихся общеобразовательных организаций
Методические рекомендации МР 2.4.0180–20 (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 18 мая 2020 г.)	Родительский контроль за организацией горячего питания детей в общеобразовательных школах
Методические рекомендации МР 2.4.0162–19. 2.4. (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 30.12.2019)	Гигиена детей и подростков. Особенности организации питания детей, страдающих сахарным диабетом и иными заболеваниями, сопровождающимися ограничениями в питании (в образовательных и оздоровительных организациях)
МР 2.3.6.0233–21 (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 2 марта 2021 г.)	Методические рекомендации к организации общественного питания населения
Методические рекомендации МР 2.3.0279–22 (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 21 марта 2022 г.). (Введены впервые)	Рекомендации по осуществлению производственного контроля за соответствием изготовленной продукции стандартам, техническим регламентам и техническим условиям

Результаты и обсуждение

Важным фактором при организации питания является выбор модели и системы управления этим процессом.

В настоящее время при организации питания детей и подростков занимают ключевые сведения о состоянии здоровья ребенка. Это позволит разрабатывать специальные корректирующие, антиаллергенные, лечебно-профилактические рационы питания.

Качественное питание обучающихся в образовательных организациях зависит от соблюдения установленных требований на каждом этапе, начиная с заключения контракта на поставку пищевых продуктов, получения продуктов и заканчивая приготовлением и реализацией кулинарных блюд для употребления в точках питания школы.

Поэтому особенно актуальным становится проведение мониторинга на всех стадиях процесса организации питания школьников.

С 01.01.2021 года вступил в действие новый СанПиН, в котором отражен комплекс новых требований к организации школьного питания и меню.

При формировании меню учитываются мнения школьников и их родителей по качествуготавливаемых блюд, их разнообразию, органолептическим показателям, температурным параметрам.

В образовательных учреждениях апробируется метод организации питания по типу «Шведский стол» и меню свободного выбора, переход от традиционных форм организации питания к инновационным методам, пилотным проектам.

При организации питания по типу «Шведский стол» рекомендуется линию раздачи разместить в центре обеденного зала, чтоб обеспечить учащимся доступ к выбору кулинарной продукции, учащиеся самостоятельно выбирают то, что они хотят и это дает возможность увеличить количество питающихся, а также расширить ассортимент кулинарной продукции.

Такая форма организации питания формирует культуру питания, учит школьников лучше понимать свои потребности. Предполагается, что такой подход уменьшит объёмы отходов и в три раза увеличит количество питающихся.

Формировать ассортимент по типу «Шведский стол» для учащихся можно следующим образом: на выбор два первых и два вторых блюда, два гарнира, можно предоставить и более широкий ассортимент, до четырех и более наименований салатов, двух видов и более хлебобулочных изделий, дополнительно можно организовать на раздаче реализацию молока в посуде различной емкости.

На завтрак можно рекомендовать хлеб пшеничный, хлеб ржаной чай с сахаром, из холодных блюд и закусок: сыр российский сыр колбасный, колбасу в/к, масло сливочное, из каш: каша рисовая на молоке, из горячих блюд: омлет из куриных яиц, сосиски молочные в/с, пельмени «детские», вареники с картошкой и сыром, из напитков: чай, кофе на молоке, молоко кипяченое, какао, на обед из холодных блюд, закусок и салатов: салат из сезонных овощей, салат рыбный, из первых блюд: суп-пюре, суп – пюре из кабачков, моркови, тыквы, рассольник на мясном бульоне, суп-лапша куриная, из вторых горячих блюд в меню можно включить запеканку картофельную с мясом, котлеты куриные, рыбу отварную, биточки из телятины с томатно-сливочным соусом, из гарниров: гречку отварную, макароны отварные, рис отварной, капусту тушенную из напитков: компот из сухофруктов, компот из свежих ягод, кисель, чай черный. Все предложенное разместить в специальных емкостях на мармитах, поддерживающих нормативную температуру подачи кулинарной продукции.

Обеденный зал можно оснастить современной мебелью, столами, стульями, можно сформировать тематический интерьер и разный стиль, в том числе и народный типа гжели, хохломы. Оформить зал уникальными предметами народного творчества, посуду и приборы также подобрать в едином стиле с обеденным залом.

Красивый дизайн и интерьер обеденного зала способствуют поднятию аппетита, позитивного эмоционального состояния учащихся и преподавателей, дает возможность отдохнуть учащемуся за время приема пищи и обеспечить качественный образовательный процесс, успех в учебе.

Для организации качественного питания в школах большое внимание необходимо уделять выбору поставщиков сырья и продуктов питания, поставщик должен быть проверенным и соответствовать требованиям, в таблице 2 представлены критерии выбора поставщика.

При формировании рационов питания использовать рекомендации НИИ детского питания ФИЦ РАН и рекомендации, представленные Федеральным центром мониторинга питания обучающихся (ФЦМПО) при Министерстве просвещения Российской Федерации по меню, служебных справочников: приемы пищи, разделы меню, регионы, районы, округа, календари питания, пользователи и др. Доступ к базе данных ФЦМПО выполняется через интернет, с использованием веб-браузера или специализированной программы («тонкий клиент»), с парольной защитой. Доступ предоставляется сотрудникам ФЦМПО и сотрудникам региональных органов управления образованием, ответственных за организацию питания обучающихся [8].

Таблица 2.

Требования, предъявляемые к операторам питания при оформлении государственных закупок

Table 2.

Requirements for food service operators when making public purchases

Показатель Indicator	Критерии, предъявляемые к закупкам Criteria for procurement
Квалификация участников закупки Qualification of procurement participants	Наличие опыта исполнения (с учетом правопреемства контракта (договора) на оказание услуг общественного питания и (или) поставки пищевых продуктов, заключенного в соответствии с Федеральным законом «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» или Федеральным законом «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» Availability of experience in the execution (taking into account the succession of the contract (agreement) for the provision of public catering services and (or) supply of food products, concluded in accordance with the Federal Law "On Contract System in the field of procurement of goods, works, services for state and municipal needs" or the Federal Law "On procurement of goods, works, services by certain types of legal entities".
Стоимость ранее исполненного контракта Value of the previously executed contract	Не менее 20 процентов начальной (максимальной) цены контракта, договора (цены лота), в соответствии с объявленным конкурсом Not less than 20 percent of the initial (maximum) price of the contract, agreement (lot price), in accordance with the announced tender.
Техническая (или) технологическая сложность, инновационного, высокотехнологичного или специализированного характера Technical (or) technological complexity, of innovative, high-tech or specialized nature	Поставщики (подрядчики, исполнители), должны иметь необходимый уровень квалификации, а также документы, подтверждающих соответствие участников закупки указанным дополнительным требованиям Suppliers (contractors, executors) must have the required level of qualification, as well as documents confirming the compliance of procurement participants with these additional requirements.
Качественные, функциональные и экологические характеристики объекта закупки Qualitative, functional and environmental characteristics of the procurement object	Подтверждение качества услуг, функциональных и потребительских свойств Confirmation of service quality, functional and consumer properties
Качество услуг Quality of services	Оценивается возможность участника закупки по обеспечению качества и безопасности оказываемых услуг, а именно: наличие у участника закупки документов, регулирующих отношения по отдельным мероприятиям контракта и технического задания Evaluation of the procurement participant's ability to ensure the quality and safety of the services provided, namely: availability of documents regulating the relations on individual measures of the contract and technical assignment at the procurement participant
Функциональные, потребительские свойства Functional, consumer properties	Оценивается наличие, степень готовности к применению, соответствие потребительским предпочтениям не менее двух вариантов Примерного меню Availability, readiness for use, compliance with consumer preferences of at least two variants of the sample menu is assessed.
Квалификация участников закупки, в том числе наличие у них финансовых ресурсов, оборудования и других материальных ресурсов, принадлежащих им на праве собственности Qualification of participants of purchase, including availability of financial resources, equipment and other material resources belonging to them on the right of ownership	Оценивается наличие Примерных меню по каждой категории обучающихся, предлагаемых участником конкурса к использованию в ходе оказания услуг. Подтверждение квалификации трудовых ресурсов (руководителей и ключевых специалистов), предлагаемых для оказания услуг, обеспеченности участника закупки трудовыми ресурсами, а также деловой репутации участника закупки The availability of sample menus for each category of students, proposed by the bidder to be used in the provision of services is assessed. Confirmation of qualification of labor resources (managers and key specialists) proposed for the provision of services, availability of labor resources of the participant of the procurement, as well as business reputation of the participant of the procurement.
Квалификация трудовых ресурсов (руководителей и ключевых специалистов), предлагаемых для оказания услуг Qualification of labor resources (managers and key specialists) proposed to provide services	Оценивается предложение участника о наличии у участника квалифицированных специалистов (штатные, привлеченные), которые будут задействованы при исполнении контракта, заключенного по результатам настоящего конкурса, и имеющих следующий уровень квалификации The bidder's proposal on the availability of qualified specialists (full-time, hired) who will be involved in the fulfillment of the contract concluded as a result of this tender and who have the following qualification level shall be evaluated

В образовательной организации, в которой организуется питание детей, разрабатываемое меню должно утверждаться руководителем образовательной организации. В случае привлечения предприятия общественного питания к организации питания детей в организованных коллективах, меню должно утверждаться руководителем предприятия общественного питания, согласовываться руководителем организации, в которой организуется питание детей. В случае если

в организации питания детей принимает участие индивидуальный предприниматель, меню должно утверждаться индивидуальным предпринимателем, согласовываться руководителем организации, в которой организуется питание детей. Образовательные организации, осуществляющие питание детей должны размещать в доступных для родителей и детей местах (в обеденном зале, холле, на сайте образовательной организации) следующую информацию:

— ежедневное меню основного (организованного) питания на сутки для всех возрастных групп детей с указанием наименования приема пищи, наименования блюда, массы порции, калорийности порции;

— рекомендации по организации здорового питания детей. Допускается замена одного вида пищевой продукции, блюд и кулинарных изделий на иные виды пищевой продукции, блюд и кулинарных изделий в соответствии с таблицей замены пищевой продукции с учетом ее пищевой ценности. Например, при отсутствии свежих овощей и фруктов возможна их замена в рационе питания на соки, быстрозамороженные овощи и фрукты др.

В примерном (циклическом) меню не допускается повторение одних и тех же блюд или кулинарных изделий в один и тот же день или в последующие 2–3 дня. В суточном рационе питания оптимальное соотношение пищевых веществ – белков, жиров и углеводов – должно составлять 1:1:4 или в процентном отношении от суточной калорийности – 10–15 %, 30–32 % и 55–60 % соответственно.

При составлении примерного меню следует руководствоваться распределением энергетической ценности (калорийности) суточного рациона по отдельным приемам пищи в соответствии СанПиН 2.3./ 2.4.3590–20. Обязательно приводятся ссылки на сборники рецептов и наименования блюд и кулинарных изделий, указываемых в примерном меню, должны соответствовать их наименованиям, указанным в использованных сборниках рецептов [2, 3].

Для детей, страдающих проявлением пищевой аллергии, необходимы варианты лечебного меню по возрастным группам обучающихся. Для детей, здоровье которых требует профилактического питания, важно разработать лечебно-профилактическое меню. Для детей, нуждающихся в лечебном и диетическом питании, должно быть организовано лечебное и диетическое питание в соответствии с представленными родителями (законными представителями ребенка) назначениями лечащего врача. Индивидуальное меню должно быть разработано специалистом-диетологом с учетом заболевания ребенка (по назначениям лечащего врача). При организации общественного питания детей, нуждающихся в лечебном и диетическом питании в организованных коллективах, должны соблюдаться требования СанПиН 2.3/2.4.3590–20.

Антиаллергенное меню для детей с пищевой аллергией предоставляется в соответствии с утвержденными рационами. Специальные виды меню предоставляются под наблюдением ответственных лиц, назначенных в организации.

В образовательных организациях для детей, нуждающихся в лечебном и диетическом питании, допускается употребление детьми готовых домашних блюд, предоставленных родителями детей, в обеденном зале или специально отведенных помещениях (местах), оборудованных столами и стульями, холодильником (в зависимости от количества питающихся в данной форме детей) для временного хранения готовых блюд и пищевой продукции, микроволновыми печами для разогрева блюд, условиями для мытья рук, что соответствует СанПиН 2.3/2.4.3590–20.

Для технической поддержки процесса публикации меню школами используется сайт <http://мониторингпитание.рф>, который во взаимодействии с базой данных ФЦМПО обеспечивает:

- проверку каталога интернет-сайта школы, используемого для публикации меню,
- подачу школами-пользователями обновленных данных о школе, каталоге сайта,
- запросы школ-пользователей на повторное чтение данных,
- анализ меню школ по показателям СанПиН-3590 (масса порций и приемов пищи, калорийность и др.), отображение загруженных данных, информационные сообщения об обнаруженных ошибках и отклонениях от нормативов,
- публичный доступ к меню фактического питания для организации родительского контроля.

Техническая поддержка базы данных и проекта в целом осуществляется с использованием чата <https://t.me/joinchat/Kr8SWsfVjA3ZTE6> где зарегистрировано 5500 участников, база данных функционирует с мая 2021 года. По состоянию на июнь 2023 года база данных содержит сведения более чем 3,3 млн фактических меню [8].

Для совершенствования качества услуг питания в образовательных учреждениях Минпросвещения ФЦМПО со Всероссийским педагогическим собранием руководителем которых является д.э.н., профессор В.Н.Иванова в партнерстве с Министерством здравоохранения Российской Федерации, Министерством сельского хозяйства Российской Федерации, научно-исследовательским институтом детского питания, Федеральным исследовательским центром питания, биотехнологии и безопасности пищи, Общественной палатой Российской Федерации, Первым Московским государственным медицинским университетом им. И. М. Сеченова, Россельхознадзором проводят с 2021 года ежегодный поэтапный Всероссийский конкурс «Лучшая школьная столовая», а также в рамках конкурса конференцию, на которых демонстрируются

лучшие практики организации питания в школах, обсуждаются новые решения, руководители школ и организаторы питания на разных уровнях делятся положительным опытом. По результатам обсуждений формируется резолюция, в которой намечен план работ и ставятся новые задачи для реализации.

Конкурсная комиссия состоит из экспертов, профессионалов в области питания совместно с представителями родительской комиссии выбирают лучшие столовые школы по организации питания (Результаты представлены на сайте ФЦМПО).

Закключение

Современные цифровые технологии и интегрированная информационно-аналитическая система дает вести тотальный контроль и давать комплексную оценку организации правильного сбалансированного питания.

Для организации правильного питания необходимо оснащение пищеблоков современным оборудованием как механическим, так и тепловым, а обеденные залы и буфеты инновационным торгово-технологическим оборудованием и мебелью.

Литература

- 1 Беляева М.А. Вендинговые технологии и multifunctional оборудование в организации здорового питания. Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Русайнс», 2024. 276 с.
- 2 Беляева М.А., Жеребкова Е.Д., Еремин А.Е. Организация школьного питания в России // Инновации: перспективы, проблемы, достижения: материалы десятой Международной научно-практической конференции, Москва, 14 июня 2022 года. Москва: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, 2023. С. 166–191.
- 3 Беляева М.А., Никулина Е.Н., Прусова Д.А., Маряшов М.М. Особенности рационов питания различных групп населения // Пищевая промышленность. 2021. № 7. С. 91–94.
- 4 Чеботарев С.Н., Иванова В.Н. Здоровое школьное питание – интегральная задача образования, науки и аграрного бизнеса // Пищевые биотехнологии: инновационные решения и подготовка кадров: материалы Международной научно-практической конференции: сборник научных статей, Москва, 18 марта 2021 года. Москва: Директ-Медиа, 2021. С. 9–11.
- 5 Онищенко Г.Г., Войнов В.Б. Школьная медицина: актуальность, проблемы и перспективы развития (обзор литературы) // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102. № 5. С. 474–481.
- 6 Тутельян В.А., Никитюк Д.Б. Ключевые проблемы в структуре потребления пищевой продукции и прорывные технологии оптимизации питания для здоровьесбережения населения России // Вопросы питания. 2024. Т. 93. № 1(551). С. 6–21.
- 7 Васюкова А.Т., Валентинова Н.И., Иванова В.Н., Ливинская С.А. и др. Состояние и стратегия развития системы школьного питания. Русайнс, 2022. 318 с.
- 8 Официальный сайт Министерство просвещения Российской Федерации Федеральный центр мониторинга питания. URL: <https://xn--l1aescsk.xn--p1ai/>
- 9 Forlin C., Chambers D. Catering for diversity: Including learners with different abilities and needs in regular classrooms // Life in schools and classrooms: Past, present and future. 2017. P. 555-571. doi: 10.1007/978-981-10-3654-5_33
- 10 Васюкова А.Т., Кусова И.У., Кучумов А.В. и др. Организация питания обучающихся в образовательных учреждениях. Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Русайнс", 2023. 262 с.
- 11 Васюкова А.Т., Валентинова Н.И., Ливинская С.А. Организация школьного питания. Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Русайнс", 2022. 288 с.
- 12 Васюкова А.Т., Валентинова Н.И., Иванова В.Н. и др. Состояние и стратегия развития системы школьного питания. Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Русайнс", 2022. 320 с.
- 13 Портнов Н.М., Ливинская С.А., Валентинова Н.И. и др. Развитие проекта «Федеральная система мониторинга питания обучающихся» в 2021-2023 годах // Товаровед продовольственных товаров. 2024. № 2. С. 94-101.
- 14 Портнов Н.М. Федеральная система мониторинга питания обучающихся. База данных на платформе "1С:Предприятие" // Новые информационные технологии в образовании: сборник научных трудов XXIV Международной научно-практической конференции, Москва, 30–31 января 2024 года. Москва: ООО "1С-Паблишинг", 2024. С. 236-240.
- 15 Falasconi L., Vittuari M., Politano A., Segrè A. Food waste in school catering: An Italian case study // Sustainability. 2015. V. 7. №. 11. P. 14745-14760. doi: 10.3390/su71114745
- 16 Main K. Catering for individual students // Teaching Middle Years. Routledge, 2020. P. 81-97.
- 17 Mindzaeva E., Neustroev S., Ivanova M., Zimnyukova N.O. rganizing Catering Systems in General Educational Organizations: Foreign Experiences and Implications for Russia // Journal of History Culture and Art Research. 2019. V. 8. №. 3. P. 68-80. doi: 10.7596/taksad.v8i3.2242
- 18 Steen H., Malefors C., Rööf E., Eriksson M. Identification and modelling of risk factors for food waste generation in school and pre-school catering units // Waste management. 2018. V. 77. P. 172-184. doi: 10.1016/j.wasman.2018.05.024
- 19 Kiss A., Popp J., Oláh J., Lakner Z. The reform of school catering in Hungary: Anatomy of a health-education attempt // Nutrients. 2019. V. 11. №. 4. P. 716. doi: 10.3390/nu11040716
- 20 Maietta O.W., Gorgitano M.T. School meals and pupil satisfaction. Evidence from Italian primary schools // Food Policy. 2016. V. 62. P. 41-55. doi: 10.1016/j.foodpol.2016.04.006

References

- 1 Belyaeva M.A. Vending technologies and multifunctional equipment in the organization of healthy nutrition. Moscow, Limited Liability Company "Rusains", 2024. 276 p. (in Russian).
- 2 Belyaeva M.A., Zherebkova E.D., Eremin A.E. Organization of school meals in Russia. Innovations: prospects, problems, achievements: materials of the tenth International scientific and practical conference, Moscow, June 14, 2022. Moscow: Plekhanov Russian University of Economics, 2023. pp. 166-191. (in Russian).

- 3 Belyaeva M.A., Nikulina E.N., Prusova D.A., Maryashov M.M. Features of diets of various population groups. Food industry. 2021. no. 7. pp. 91-94. (in Russian).
- 4 Chebotarev S.N., Ivanova V.N. Healthy school nutrition is an integral task of education, science and agricultural business. Food biotechnology: innovative solutions and personnel training: materials of the International scientific and practical conference: collection of scientific articles, Moscow, March 18, 2021. Moscow, Direct-Media, 2021. pp. 9–11. (in Russian).
- 5 Onishchenko G.G., Voynov V.B. School medicine: relevance, problems and development prospects (literature review). Hygiene and Sanitation. 2023. vol. 102. no. 5. pp. 474–481. (in Russian).
- 6 Tutelyan V.A., Nikityuk D.B. Key problems in the structure of food consumption and breakthrough technologies for nutrition optimization for the health preservation of the population of Russia. Nutrition Issues. 2024. vol. 93. no. 1(551). pp. 6–21. (in Russian).
- 7 Vasyukova A.T., Valentinova N.I., Ivanova V.N., Livinskaya S.A. et al. State and development strategy of the school nutrition system. Rusains, 2022. 318 p. (in Russian).
- 8 Official website of the Ministry of Education of the Russian Federation Federal Center for Nutrition Monitoring. Available at: <https://xn--11aescsk.xn--plai/> (in Russian).
- 9 Forlin C., Chambers D. Catering for diversity: Including learners with different abilities and needs in regular classrooms. Life in schools and classrooms: Past, present and future. 2017. pp. 555-571. doi: 10.1007/978-981-10-3654-5_33
- 10 Vasyukova A.T., Kusova I.U., Kuchumov A.V. et al. Organization of meals for students in educational institutions. Moscow, Limited Liability Company "Rusains", 2023. 262 p. (in Russian).
- 11 Vasyukova A.T., Valentinova N.I., Livinskaya S.A. Organization of school meals. Moscow, Limited Liability Company "Rusains", 2022. 288 p. (in Russian).
- 12 Vasyukova A.T., Valentinova N.I., Ivanova V.N. et al. Status and development strategy of the school meals system. Moscow: Limited Liability Company "Rusains", 2022. 320 p. (in Russian).
- 13 Portnov N.M., Livinskaya S.A., Valentinova N.I. and others. Development of the project "Federal system for monitoring students' nutrition" in 2021-2023. Food commodity expert. 2024. no. 2. pp. 94-101. (in Russian).
- 14 Portnov N.M. Federal system for monitoring students' nutrition. Database on the 1C:Enterprise platform. New information technologies in education: collection of scientific papers of the XXIV International Scientific and Practical Conference, Moscow, January 30-31, 2024. Moscow, OOO "1C-Publishing", 2024. pp. 236-240. (in Russian).
- 15 Falasconi L., Vittuari M., Politano A., Segrè A. Food waste in school catering: An Italian case study. Sustainability. 2015. vol. 7. no. 11. pp. 14745-14760. doi: 10.3390/su71114745
- 16 Main K. Catering for individual students. Teaching Middle Years. Routledge, 2020. pp. 81-97.
- 17 Mindzaeva E., Neustroev S., Ivanova M., Zimnyukova N.O rganizing Catering Systems in General Educational Organizations: Foreign Experiences and Implications for Russia. Journal of History Culture and Art Research. 2019. vol. 8. no. 3. pp. 68-80. doi: 10.7596/taksad.v8i3.2242
- 18 Steen H., Malefors C., Rööfs E., Eriksson M. Identification and modelling of risk factors for food waste generation in school and pre-school catering units. Waste management. 2018. vol. 77. pp. 172-184. doi: 10.1016/j.wasman.2018.05.024
- 19 Kiss A., Popp J., Oláh J., Lakner Z. The reform of school catering in Hungary: Anatomy of a health-education attempt. Nutrients. 2019. vol. 11. no. 4. pp. 716. doi: 10.3390/nu11040716
- 20 Maietta O.W., Gorgitano M.T. School meals and pupil satisfaction. Evidence from Italian primary schools. Food Policy. 2016. vol. 62. pp. 41-55. doi: 10.1016/j.foodpol.2016.04.006

Сведения об авторах

Марина А. Беляева д.т.н., доцент, кафедра пищевых технологий и биоинженерии, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36 г. Москва, 109992 Россия, Belyaeamar@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5259-8698>

Андрей П. Боcharов директор, ООО «Сибирская торговая корпорация», г. Абакан, Республика Хакасия, 655017 Россия, bocharov2009@rambler.ru

 <https://orcid.org/0009-0006-4436-529X>

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

Marina A. Belyaeva Dr Sci. (Engin.), associate professor, food technologies and bioengineering department, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny Lane, 36, Moscow, 109992 Russia, Belyaeamar@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5259-8698>

Andrey P. Bocharov director, Siberian Trading Corporation LLC, Abakan, Trading street, 5Ж, Republic of Khakassia, 655017 Russia, bocharov2009@rambler.ru

 <https://orcid.org/0009-0006-4436-529X>

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 08/07/2024	После редакции 24/07/2024	Принята в печать 10/08/2024
Received 08/07/2024	Accepted in revised 24/07/2024	Accepted 10/08/2024

Особенности технологии безглютенового пива с использованием различных штаммов дрожжей

Даниил Р. Кулигин	¹	kuligin470@gmail.com	 0009-0007-3133-4467
Алла Е. Чусова	¹	hycovai@mail.ru	 0000-0003-1237-4870
Инна В. Новикова	¹	noviv@list.ru	 0000-0002-2360-5892
Елена А. Коротких	¹	dobruly@bk.ru	 0000-0002-5951-7085
Александр С. Муравьев	¹	hntrun@mail.ru	 0000-0002-5989-0752
Александр С. Левашов	¹		

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

Аннотация. Цель исследования заключается в разработке технологии безглютенового пива из солода киноа и анализе влияния применения различных штаммов дрожжей на физико-химические показатели готовой продукции. Для проведения исследования был использован комплекс методов, включающий изучение научной литературы, сбор и обработку данных, проведение анализа физико-химических показателей образцов напитков. Изучены технологические процессы производства безглютенового пива, анализ проводили по образцам готовой продукции, изготовленных с применением различных штаммов дрожжей. По показателям было выявлено, что все образцы соответствуют нормативным значениям стандартов, в образцах отсутствует глютен. Анализ результатов исследований показал, что производство пива из солода киноа имеет значительный потенциал, в том числе для расширения потребительского спроса на данную категорию напитка. В химическом составе киноа присутствует огромное количество макро- и микроэлементов, на 100 г зерна: 102% дневной нормы марганца, 49% магния, 46% фосфора, 30% меди, 25% железа, 21% цинка, 16% калия, 12% селена, 300 мг Омега 3, Омега 6, витамины группы В, витамин Е, РР, А. Напитки из киноа будут обладать рядом преимуществ, такими как высокая питательная ценность, отсутствие глютена. Исследуемые образцы пива имеют уникальный вкусовой профиль, соответствующий данному сырью. Эти характеристики сделают продукт из киноа привлекательным для широкой аудитории, включая людей с особыми пищевыми предпочтениями. Проведенные исследования показывают целесообразность производства данного продукта с целью расширения ассортимента в связи с возможным высоким спросом, для повышения конкурентоспособности продукции.

Ключевые слова: безглютеновое пиво, солод киноа, целиакия, дрожжи, бродильная промышленность.

Peculiarities of gluten-free beer technology using different yeast strains

Daniil R. Kuligin	¹	kuligin470@gmail.com	 0009-0007-3133-4467
Alla E. Chusova	¹	hycovai@mail.ru	 0000-0003-1237-4870
Inna V. Novikova	¹	noviv@list.ru	 0000-0002-2360-5892
Elena A. Korotkikh	¹	dobruly@bk.ru	 0000-0002-5951-7085
Alexander S. Muravyev	¹	hntrun@mail.ru	 0000-0002-5989-0752
Alexander S. Levashov	¹		

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

Abstract. The purpose of the study is to develop the technology of gluten-free beer from quinoa malt and analyze the effect of using different yeast strains on the physicochemical parameters of the finished product. A set of methods was used for the study, including the study of scientific literature, data collection and processing, analyzing the physico-chemical parameters of beverage samples. The technological processes of gluten-free beer production were studied, the analysis was carried out on samples of finished products made with the use of different yeast strains. According to the indicators it was revealed that all samples correspond to the normative values of standards, there is no gluten in the samples. Analysis of the research results showed that the production of beer from quinoa malt has significant potential, including for expanding consumer demand for this category of drink. The chemical composition of quinoa contains a huge number of macro- and microelements, per 100 g of grain: 102% of the daily value of manganese, 49% magnesium, 46% phosphorus, 30% copper, 25% iron, 21% zinc, 16% potassium, 12% selenium, 300 mg Omega 3, Omega 6, B vitamins, vitamin E, PP, A. Quinoa drinks will have a number of advantages, such as high nutritional value, no gluten. The studied beer samples have a unique taste profile corresponding to this raw material. These characteristics will make the quinoa product attractive to a wide audience, including people with special food preferences. The conducted research shows the expediency of production of this product in order to expand the range in connection with the possible high demand, to improve the competitiveness of products.

Keywords: gluten-free beer, quinoa malt, celiac disease, yeast, fermentation industry.

Для цитирования

Кулигин Д.Р., Чусова А.Е., Новикова И.В., Коротких Е.А., Муравьев А.С., Левашов А.С. Особенности технологии безглютенового пива с использованием различных штаммов дрожжей // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 116–121. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-116-121

For citation

Kuligin D.R., Chusova A.E., Novikova I.V., Korotkikh E.A., Muravyev A.S., Levashov A.S. Peculiarities of gluten-free beer technology using different yeast strains. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 116–121. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-116-121

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

Введение

Бродильная промышленность сегодня является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей пищевой промышленности. Для удовлетворения постоянно растущего потребительского спроса на инновационные и здоровые продукты предприятия этой отрасли постоянно разрабатываются новые сырьевые и продуктовые решения [5, 9]. В настоящее время наблюдается значительный рост количества потребителей с заболеванием «целиакия» или непереносимостью глютена. К данной категории относится и пиво, содержание глютена в котором равно или меньше 20 мг на кг продукта [10]. Для создания безглютенового пива предприятия применяют различные технологические приемы, в первую очередь – использование безглютенового сырья [14].

Для выполнения задач исследования применяли безглютеновое сырье – солод из киноа.

Эффективность производства безглютенового пива можно обеспечить за счет использования штаммов дрожжей, обладающих высокой осмоустойчивостью и спиртоустойчивостью, поскольку при сбраживании суслу дрожжи подвергаются воздействию высокой токсичности среды в результате образования этанола, в результате происходит изменение характера метаболизма дрожжевых клеток, возрастает количество мертвых клеток, происходит снижение качества готового пива.

Дрожжи, используемые в различных биотехнологических процессах, различаются между собой генетическими особенностями, такими, как репродуктивная и бродильная активность, спиртоустойчивость и осмоустойчивость, температурный оптимум и др., однако сравнительных данных о наиболее эффективном использовании дрожжей различных штаммов для сбраживания пивного суслу из солода киноа в литературных источниках нет.

Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* обладают высокой способностью к ферментации, в результате целенаправленно получают напитки с необходимыми физико-химическими и органолептическими показателями. Однако не все штаммы дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* подойдут для производства безглютенового пива, поэтому необходим подбор и научное обоснование применения отдельных штаммов.

Проведение исследования в данной области является актуальным, так как позволяет расширить ассортимент зерновых напитков из нетрадиционного сырья, привлечь определенную аудиторию потребителей за счет создания нового продукта.

Цель исследования заключается в разработке технологии безглютенового пива из солода киноа, исследование влияния применения различных штаммов дрожжей на интенсивность

сбраживания пивного суслу из солода киноа с анализом физико-химических показателей готового пива.

Материалы и методы

Для проведения исследования был использован комплекс методов, включающий анализ научной литературы, сбор и обработку статистических данных о потребительском спросе на пиво, изучение технологических процессов производства солода из киноа и безглютенового пива [16].

Объектом исследования являлись: солод из киноа, безглютеновое пиво, сброженное различными штаммами сухих пивных дрожжей: W-34/70 «АО Алгист Брюггеман», S-189 «АО Алгист Брюггеман», M-84 «ООО «Легарис Трейдинг».

Результаты

Анализ результатов исследований показал, что производство пива из солода киноа имеет значительный потенциал, в том числе для расширения потребительского спроса на данную категорию напитка [15]. В химическом составе киноа присутствует огромное количество макро- и микроэлементов, на 100 г зерна: 102% дневной нормы марганца, 49% магния, 46% фосфора, 30% меди, 25% железа, 21% цинка, 16% калия, 12% селена, 300 мг Омега-3, Омега-6, витамины группы В, витамин Е, РР, А. Напитки из киноа будут обладать рядом преимуществ, такими как высокая питательная ценность, отсутствие глютена. Исследуемые образцы пива имеют уникальный вкусовой профиль, соответствующий данному сырью [6–7]. Эти характеристики делают продукт из киноа привлекательным для широкой аудитории, включая людей с особыми пищевыми предпочтениями [1, 2, 9].

Таблица 1.
Содержание различных веществ в киноа

Table 1.
Contents of various substances in quinoa

Наименование Name	Массовая доля Mass fraction
Белки, г/100 г Protein, g/100 g	14,40
Жиры, г/100 г Fats, g/100 g	7,10
Крахмал, г/100 г Starch, g/100 g	64,90
Витамины, мг/100 г Vitamins, mg/100 g	
B ₁	0,36
B ₂	0,318
B ₃	1,52
B ₆	0,487
B ₉	184
C	6,8
Макро- и микроэлементы Macro- and micronutrients	
Калий, мг/100 г Potassium, mg/100 g	563
Кальций, мг/100 г Calcium, mg/100 g	47
Магний, мг/100 г Magnesium, mg/100 g	197
Медь, мкг/100 г Copper, µg/100 g	590
Натрий, мг/100 г Sodium, mg/100 g	5
Фосфор, мг/100 г Phosphorus, mg/100 g	457
Цинк, мг/100 г Zinc, mg/100 g	3,1
Селен, мкг/100 г Selenium, µg/100 g	8,5

Проводили получение солода из киноа по технологии, включающей этапы: первый этап – промывание зерна киноа проточной водой, второй этап – замачивание зерна в воде с температурой 4–8 °С в течение 24 часов; третий этап – проращивание, которое проводили при температуре – 4–8 °С в течение 72 ч, с периодическим ворошением слоя зерна, четвертый этап – сушку солода проводили при температуре около 60–70 °С до значения влажности 2–3%. Пятый этап – отлежка солода в течение двух недель [11, 17].

В полученном солоде контролировали ферментативную активность, выяснили, что значение данного показателя ниже, чем в ячменном светлом солоде (таблица 2).

Таблица 2.
Ферментативная способность солода
Table 2.
Fermentative capacity of malt

Солод Malt	Ферментативная активность, ед./г Enzymatic activity, units/g		
	АС	ОС	ПС
Киноа Quinoa	1,99	5,91	2,95
Ячменный Barley	92,3	20,3	45,8

Таким образом, выяснили, что приготовление сусла из солода киноа невозможно без дополнительного внесения ферментов при затирании.

Процесс приготовления пивного сусла начинали с дробления солода, размеры частиц составляли 0,2–0,4 мм. Готовили затор с гидромодулем 1:4. При приготовлении экспериментальных образцов добавляли комплексный ферментный препарат Церемикс Plus MG из расчета 0,4 кг/т зернопродуктов.

В процессе затирания выдерживали температурные паузы: белковую паузу при 50–52 °С в течение 15 минут, мальтозную паузу при температуре 60–65 °С в течение 30 минут и паузу осахаривания при температуре 70–72 °С в течение 30 минут [8]. Затем проверяли полноту осахаривания по йодной пробе, после чего проводили фильтрацию затора и промывание дробины водой. Получали сусло с массовой долей сухих веществ (СВ) – 11,0–11,5%, проводили кипячение сусла с хмелем в течение 90 мин, применяли два сорта хмеля: горький – Magnum (0,35 г/дм³) вносили в начале кипячения и ароматный – Citra (0,18 г / дм³) – за 10 минут до конца кипячения. Затем сусло охлаждали до температуры 5–10 °С, проводили отделение осадка.

Брожение – один из наиболее важных этапов в производстве пива, с систематическим контролем процесса на протяжении всего периода. Начальная концентрация сухих веществ оказывает влияние на процесс брожения сусла и качество пива, содержание в нем этилового спирта при выборе спирто- и осмоустойчивых дрожжей, на скорость сбраживания пивного сусла в определенных условиях. Содержание СВ в начальном сусле в образцах составило 11,5–12,0%.

Для исследования сбраживания пивного сусла разными штаммами дрожжей были взяты: 1 образец – W-34/70, 2 образец – S-189; 3 образец – M-84.

Для сбраживания сусла использовали засевные дрожжи в количестве от 1,0 до 2,6% от объема сусла.

На рисунке 1 показана зависимость продолжительности главного брожения пивного сусла от количества засеваемого материала (рисунок 1).

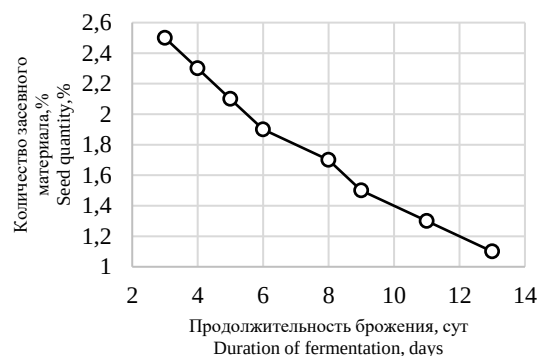


Рисунок 1. Влияние количества засеваемого материала на продолжительность брожения

Figure 1. Effect of the amount of beer material on fermentation duration

В дальнейших исследованиях принята величина засева, равная 1,9% объема сусла, что составляет около 50 млн клеток в 1 см³ сусла. В этом случае продолжительность брожения до достижения в сусле требуемого содержания сухих веществ 3,7–4,5% составляет 5 сут с использованием лагерных дрожжей.

Температуру главного брожения в образцах сусла выдерживали при определенных условиях: для первого и второго образца (низовое брожение) температура процесса составляла 6–8 °С, процесс проводили до значения содержания СВ 3,7–4,5%. Для третьего образца температура брожения составляла 8–10 °С, конечное содержание СВ 3,7–4,5% [18–20].

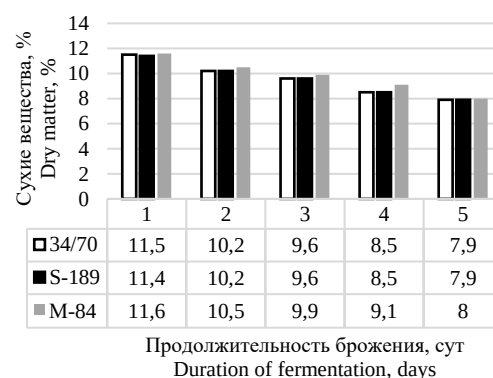


Рисунок 2. Изменение массовой доли сухих веществ при сбраживании пивного сусла различными штаммами пивных дрожжей

Figure 2. Change in the mass fraction of dry matter during beer wort digestion by different strains of brewer's yeast

Дображивание пива для всех образцов осуществляли при температуре 4–6 °С в течение 3–4 недель, после чего получали готовое нефiltroванное пиво [12, 13]. Физико-химические показатели образцов представлены в таблице 3.

Таблица 3.
Физико-химические показатели образцов пива

Table 3.
Physical and chemical indicators of beer

Показатели Indicators	Образец Sample		
	1	2	3
Экстрактивность начального сусла, % Extractivity of initial wort, %	12,2	12,2	12,2
Видимый экстракт, % Visible extract, %	4,19	4,19	4,19
Цвет, ед. ц. Color, u.s.c.	12,9	13	12,8
Кислотность, ед. к. Acidity, units.k	2,5	2,5	2,4
pH	4,8	4,8	4,7
Объемная доля спирта, % Volume fraction of alcohol, %	4,63	4,53	4,58

На основании анализа данных, приведенных в таблице 3, можно сделать вывод, что все полученные образцы пива соответствуют нормативным требованиям: объемная доля спирта не менее 4,5%, значение pH напитков не превышает 4,8, величина кислотности составляла не более 3,5 ед. к., цвет – не более 2,5 ед. ц. [4].

Дегустационная комиссия проводила контроль сенсорных характеристик образцов

по основным показателям: цвет, вкус, аромат. Результаты дегустации по шкале от 1 до 25 баллов показали практически одинаковые оценки, поэтому можно рекомендовать указанные штаммы дрожжей для применения в технологии безглютенового пива на основе солода киноа (таблица 4).

Таблица 4.
Сенсорные характеристики
безглютенового пива

Table 4.
Sensory characteristics of gluten-free beer

Показатели Indicators	Образец Sample		
	1	2	3
Цвет Color	24,5	24,4	24,5
Аромат Flavor	24,3	24,3	24,2
Вкус Flavor	25	24,6	24,7
Итого Total	73,8	73,3	73,4

Заключение

В результате исследований получены рекомендации по применению солода киноа (безглютеновое сырье) в технологии пива или пивных напитков для определенной категории потребителей. Рассмотрены и рекомендованы рациональные технологические режимы для получения и сбраживания сусла с применением различных штаммов пивных дрожжей. Получены образцы готового продукта – пива, которые соответствуют стандарту ГОСТ 31711–2012 [3].

Литература

- Абдулаев М.С., Надточий Л.А. Оценка пищевой ценности культуры киноа // Символ науки: международный научный журнал. 2016. С. 9–11.
- Бурак Л.Ч. Перспективы производства пива с функциональными свойствами // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. С. 79–88.
- ГОСТ 31711–2012 Пиво. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2013. 15 с.
- ГОСТ 12787–81. Пиво. Методы определения спирта, действительного экстракта и расчет сухих веществ в начальном сусле. М: Стандартинформ. 2011. 11 с.
- Дядюра Е.П. Особенности развития пивоваренной отрасли в современных условиях // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. С. 47–51.
- Казаджам М.Д. Перспективы использования киноа на Российском рынке // Международная научная конференция молодых ученых и специалистов отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук. Москва. 2022. С.132–135.
- Кокорева Л.А., Домрачева К.С. Целиакия как проблема современности // Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании: материалы VI международной научно – практической конференции. Екатеринбург: Изд – во Урал. гос. экон. ун-та. 2019. С. 63–67.
- Кунце В. Технология солода и пива. СПб.: Профессия, 2009. 1064 с.
- Меркулова Н.Ю., Наливайко Д.С., Тохириён Б. Исследование химического состава семян киноа в связи с функциональным назначением // Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании: материалы Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к юбилею заслуженного деятеля науки РФ В.М. Позняковского. 2017. С. 150–154.
- Криваносов И.Н., Новикова И.В., Муравьев А.С. Обзор: Непрерывное брожение пива // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1(99). С. 126–130.
- Чусова А.Е., Новикова И.В., Левашов А.С., Коротких Н.В. Особенности технологии производства солода из киноа // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение: сборник докладов X Международной научно-практической конференции ВГУИТ. Воронеж, 2023. С. 384–385.
- Рогожникова О.В., Ансфандьярова И.В. Инновации в сфере пивоварения и оценка качества пива // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли. Том 3. Санкт – Петербург, 2018. С. 66–68.

Федосеева К.В., Агаселимова С.С. Использование альтернативного сырья в производстве пива и его влияние на качество готовой продукции // Актуальные вопросы современных научных исследований: сборник статей IV международной научно – практической конференции. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2023. С. 34–39.

Хоконова М.Б. Технология безглютенового пива // Безопасность и качества товара: сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции. Саратов: Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, 2019. С. 277–280.

Omary M.B., Fong C., Rothschild J., Finney P. Effects of germination on the nutritional profile of gluten-free cereals and pseudocereals: a review // *Cereal Chem.* 2012. V. 89. P. 1–14. doi: 10.1094/CCHEM-01-11-0008

Hager A.S., Makinem O.E., Arende E.K. Amylolytic activities and starch reserve mobilization during the germination of quinoa // *Eur Food Res Technol.* 2014. V. 239. P. 621–627. doi: 10.1007/s00217-014-2258-0

Jancurova M. Quinoa-a review // *Czech Journal of Food Science.* 2009. V.27. № 2. P. 71–79.

Rapers R., Fisher S. The production of gluten – free beer: Degradation of hordiens during malting and brewing and the application of modern process technology focusing on endogenous malt peptidases // *Trends in food science & technology.* 2017. V. 67. P. 129–138.

Valková V., Ďuranová H., Havrlentová M., Ivanišová E. et al. Selected physico-chemical, nutritional, antioxidant and sensory properties of wheat bread supplemented with apple pomace powder as a by-product from juice production // *Plants.* 2022.

Deng Y., Lim, J., Lee G.H., Nguyen T.T.H. et al. Brewing Rutin-Enriched Lager Beer with Buckwheat Malt as Adjuncts // *J. Microbiol. Biotechnol.* 2019. V. 29. P. 877–886.

References

Abdullayev M.S., Nadtochiy L.A. Assessment of the nutritional value of quinoa culture. *Symbol of Science: International Scientific Journal.* 2016. pp. 9-11. (in Russian).

Burak L.Ch. Prospects for the production of beer with functional properties. *Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products.* 2021. pp. 79-88. (in Russian).

GOST 31711-2012 Beer. General specifications. Moscow, Standartinform, 2013. 15 p. (in Russian).

GOST 12787-81. Beer. Methods for determining alcohol, actual extract and calculating dry matter in the initial wort. Moscow, Standartinform, 2011. 11 p. (in Russian).

Dyadyura E.P. Features of the development of the brewing industry in modern conditions. *Modern trends in the development of science and technology.* 2016. pp. 47–51. (in Russian).

Kazadjam M.D. Prospects for the Use of Quinoa in the Russian Market. *International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists of the Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences.* Moscow. 2022. pp. 132–135. (in Russian).

Kokoreva L.A., Domracheva K.S. Celiac Disease as a Modern Problem. *Innovative Technologies in the Food Industry and Catering: Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference.* Ekaterinburg, Publishing House of the Ural. State Economic University. 2019. pp. 63–67. (in Russian).

Kuntse V. *Technology of Malt and Beer.* St. Petersburg, Profession, 2009. 1064 p. (in Russian).

Merkulova N.Yu., Nalivaiko D.S., Tokhiriyon B. Study of the chemical composition of quinoa seeds in connection with their functional purpose. *Innovative technologies in the food industry and public catering: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the anniversary of the Honored Scientist of the Russian Federation V.M. Poznyakovsky.* 2017. pp. 150–154. (in Russian).

Krivanosov I.N., Novikova I.V., Muravyov A.S. Review: Continuous fermentation of beer. *Proceedings of VSUET.* 2024. vol. 86, no. 1(99). pp. 126–130. (in Russian).

Chusova A.E., Novikova I.V., Levashov A.S., Korotkikh N.V. Features of the technology of production of malt from quinoa. *Food security: scientific, personnel and information support: collection of reports of the X International scientific and practical conference of VSUET.* Voronezh, 2023. pp. 384–385. (in Russian).

Rogozhnikova O.V., Ansfondyarova I.V. Innovations in the field of brewing and beer quality assessment. *Science Week of SPbPU: materials of the scientific conference with international participation.* Institute of Industrial Management, Economics and Trade. vol. 3. St. Petersburg, 2018. pp. 66–68. (in Russian).

Fedosееva K.V., Agaselimova S.S. Use of alternative raw materials in beer production and its impact on the quality of finished products. *Actual issues of modern scientific research: collection of articles of the IV international scientific and practical conference.* Penza, MCNS "Science and Education", 2023. pp. 34–39. (in Russian).

Khokonova M.B. Gluten-free beer technology. Safety and quality of goods: collection of materials of the XIII International scientific and practical conference. *Saratov, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov,* 2019. pp. 277–280. (in Russian).

Omary M.B., Fong C., Rothschild J., Finney P. Effects of germination on the nutritional profile of gluten-free cereals and pseudocereals: a review. *Cereal Chem.* 2012. vol. 89. pp. 1–14. doi: 10.1094/CCHEM 01-11-0008

Hager A.S., Makinem O.E., Arende E.K. Amylolytic activities and starch reserve mobilization during the germination of quinoa. *Eur Food Res Technol.* 2014. vol. 239. pp. 621–627. doi: 10.1007/s00217-014-2258-0

Jancurova M. Quinoa-a review. *Czech Journal of Food Science.* 2009. vol. 27. no. 2. pp. 71–79.

Rapers R., Fisher S. The production of gluten – free beer: Degradation of hordiens during malting and brewing and the application of modern process technology focusing on endogenous malt peptidases. *Trends in food science & technology.* 2017. vol. 67. pp. 129–138.

Valková V., Ďuranová H., Havrlentová M., Ivanišová E. et al. Selected physico-chemical, nutritional, antioxidant and sensory properties of wheat bread supplemented with apple pomace powder as a by-product from juice production. *Plants.* 2022.

Deng Y., Lim, J., Lee G.H., Nguyen T.T.H. et al. Brewing Rutin-Enriched Lager Beer with Buckwheat Malt as Adjuncts. *J. Microbiol. Biotechnol.* 2019. vol. 29. pp. 877–886.

Сведения об авторах

Даниил Р. Кулигин студент, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, kuligin470@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0007-3133-4467>

Алла Е. Чусова к.т.н., профессор, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, hycovai@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1237-4870>

Инна В. Новикова д.т.н., профессор, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, noviv@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

Елена А. Коротких к.т.н., доцент, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, dobruly@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5951-7085>

Александр С. Муравьев к.т.н., доцент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, hntrun@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5989-0752>

Александр С. Левашов аспирант, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия

Information about authors

Daniil R. Kuligin student, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kuligin470@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0007-3133-4467>

Alla E. Chusova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hycovai@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1237-4870>

Inna V. Novikova Dr. Sci. (Engin.), professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, noviv@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

Elena A. Korotkikh Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, dobruly@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5951-7085>

Alexander S. Muravyev Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, food processing machines and apparatuses department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hntrun@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5989-0752>

Alexander S. Levashov graduate student, food processing machines and apparatuses department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 21/06/2024

После редакции 11/07/2024

Принята в печать 31/07/2024

Received 21/06/2024

Accepted in revised 11/07/2024

Accepted 31/07/2024

Совершенствование технологии экстрагирования сахарозы при переработке некондиционного сырья

Надежда Г. Кульнева¹ ngkulneva@ya.ru  0000-0003-3802-9071
Юлия И. Последова² julija979@rambler.ru  0009-0009-5939-4490

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

2 ООО «Вестерос», ул. Бахметьева, д. 2Б, г. Воронеж, 394006, Россия

Аннотация. Длительное хранение больших объемов сахарной свеклы, обусловленное повышением производственной мощности предприятий, приводит к снижению технологического качества сырья. Нестабильные погодные условия вызывают замораживание и последующее оттаивание, что разрушает свекловичную ткань, повышая ее доступность действию микроорганизмов. Переработка некондиционного сырья сопровождается использованием целого спектра бактерицидных препаратов на разных этапах производства, к которым со временем вырабатывается резистентность сопутствующей микрофлоры. Для снижения степени инфицированности полупродуктов на верстаке производства предлагается использовать бактерицидный препарат на основе натриевой соли дихлоризоциануровой кислоты (ДХИЦН), который можно вводить в экстрагент перед подачей в диффузионный аппарат. Экспериментально установлено влияние количества, концентрации раствора ДХИЦН и температуры экстрагента на качественные характеристики диффузионного и очищенного соков. Выявлено положительное влияние ДХИЦН при переработке свеклы, обсемененной *Leuconostoc mesenteroides*. С использованием методов математического моделирования получены регрессионные зависимости, отражающие взаимосвязь параметров процесса и качественных характеристик соков. Установлены оптимальные параметры использования ДХИЦН при подготовке экстрагента для диффузионного процесса: температура 65°С, концентрация раствора ДХИЦН 0,05 %, его количество 15 %. Данный препарат может быть использован также на стадиях хранения сахарной свеклы, обработки свекловичной стружки перед экстрагированием, дезинфекции оборудования.

Ключевые слова: сахарная свекла, технологическое качество, экстрагирование, бактерицидный препарат, сахароза.

Improving sucrose extraction technology when processing substandard raw materials

Nadezhda G. Kulneva¹ ngkulneva@ya.ru  0000-0003-3802-9071
Yulia I. Posledova² julija979@rambler.ru  0009-0009-5939-4490

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

2 LLC "Vesteros", st. Bakhmetyeva, 2B, Voronezh, 394006, Russia

Abstract. Long-term storage of large volumes of sugar beets, due to an increase in the production capacity of enterprises, leads to a decrease in the technological quality of raw materials. Unstable weather conditions cause freezing and subsequent thawing, which destroys beet tissue, increasing its accessibility to microorganisms. Processing of substandard raw materials is accompanied by the use of a whole range of bactericidal drugs at different stages of production, to which resistance of the accompanying microflora develops over time. To reduce the degree of infection of intermediate products at the production site, it is proposed to use a bactericidal preparation based on the sodium salt of dichloroisocyanuric acid (DCCN), which can be introduced into the extractant before feeding it into the diffusion apparatus. The influence of the quantity, concentration of the DCCN solution and the temperature of the extractant on the qualitative characteristics of diffusion and purified juices was experimentally established. A positive effect of DCN was revealed during the processing of beets contaminated with *Leuconostoc mesenteroides*. Using mathematical modeling methods, regression dependencies were obtained that reflect the relationship between process parameters and quality characteristics of juices. The optimal parameters for the use of DCCN in preparing the extractant for the diffusion process have been established: temperature 65 °C, concentration of the DCCN solution 0.05 %, its amount 15 %. This drug can also be used at the stages of storing sugar beets, processing beet chips before extraction, and disinfecting equipment.

Keywords: sugar beet, technological quality, extraction, bactericidal preparation, sucrose.

Введение

В настоящее время на территории РФ действуют 65 сахарных заводов, из которых более половины перерабатывают в сутки по 6 тыс. т свеклы и более, что обуславливает заготовку и хранение большого количества сырья.

Возрастающая ежегодно урожайность сахарной свеклы приводит к увеличению продолжительности сезона переработки, что повышает эффективность использования основных производственных фондов и прибыль предприятия в целом.

Для цитирования

Кульнева Н.Г., Последова Ю.И. Совершенствование технологии экстрагирования сахарозы при переработке некондиционного сырья // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 122–128. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-122-128

For citation

Kulneva N.G., Posledova Yu.I. Improving sucrose extraction technology when processing substandard raw materials. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 122–128. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-122-128

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

Неблагоприятное влияние природно-климатических факторов затрудняет хранение больших объемов сахарной свеклы и отрицательно влияет на ее технологическое качество [1–3]. Чередование морозов и оттепелей вызывает подмораживание и последующее оттаивание свекловичной ткани: изменяется ее структура, снижается тургор, падает иммунитет, что приводит к поражению кагатной гнилью, а затем вторичной микрофлорой, среди которой преобладает *Leuconostoc mesenteroides* [4, 5].

Переработка пораженной слизистой микрофлорой свеклы имеет ряд сложностей, которые проявляются уже в свеклоперерабатывающем отделении, где температура 10–30 °С благоприятствует развитию данной группы микроорганизмов [6–8].

Для снижения активности бактериальной микрофлоры проводится антисептирование транспортерно-мочной воды известковым молоком и хлорной известью, сахарная свекла после мойки также ополаскивается хлорированной водой, вводят бактерицидные препараты непосредственно в диффузионный аппарат, жомопрессовую воду подвергают тепловой стерилизации, а добавочную сульфитируют, обрабатывают серной кислотой, подвергают электрохимическому воздействию [9–15].

Применение одних и тех же препаратов вызывает резистентность микроорганизмов и снижает эффективность их использования, поэтому исследования по внедрению новых бактерицидных агентов являются актуальными [16, 17].

Обсуждение

Предлагаемый реагент на основе натриевой соли дихлоризоциануровой кислоты (ДХЦН) относится к антисептическим хлорсодержащим препаратам, механизм действия которых состоит в хлорирующем и окислительном действии. Растворяясь в воде, хлор образует хлористоводородную и хлорноватистую кислоты, которые вступая в реакцию с белками, образуют соединения типа хлораминов и легко отдают атомарный хлор, который денатурирует белки и разрушает клеточные мембраны микробной клетки. Кроме этого, хлорноватистая кислота, разлагаясь, выделяет атомарный кислород, который окисляет ряд жизненно важных ферментов микробной клетки [18].

Данный препарат обладает отбеливающим действием и не вызывает коррозию металла.

Для выбора рациональной концентрации бактерицидного препарата использовали водные

растворы массовой долей 0,0325; 0,075; 0,15%, которые вводили в экстрагент для диффузионного процесса. В качестве сравнения проводили диффузию без обработки экстрагента ДХЦН.

Предварительно полученные растворы реагентов подогревали до 70 °С и добавляли в экстрагент в соотношении 10% раствора реагента + 90% конденсата. Подготовленный экстрагент вводили в предварительно ошпаренную стружку и проводили диффузию в течение 60 мин, отделяли диффузионный сок, термостатировали при температуре 20 °С, проводили его анализ (таблица 1).

Таблица 1.

Показатели диффузионного сока при различной концентрации ДХЦН в экстрагенте

Table 1.

Indicators of diffusion juice at different concentrations of DCCN in the extractant

Показатели Indicators	Массовая доля бактерицидного препарата, % Mass fraction of bactericidal drug, %			
	0	0,0325	0,075	0,15
Чистота, % Purity, %	90,1	90,8	92,0	90,7
Содержание белков, мг/см ³ Protein content, mg/cm ³	0,335	0,29	0,28	0,265

При обработке раствором ДХЦН концентрацией 0,075% экстрагента чистота диффузионного сока увеличивается, содержание белков снижается. При концентрации раствора реагента минимальной (0,0325%) и максимальной (0,15%) значительного повышения чистоты диффузионного сока в сравнении с классической диффузией не происходит.

После получения диффузионного сока проводили его очистку, включающую предварительную дефекацию при температуре 55–60 °С продолжительностью 15 мин с добавлением известкового молока ($\rho = 1,19 \text{ г/см}^3$) до значений pH сока 10,8–11,2, далее теплую и горячую ступени основной дефекации в течение 20 и 10 мин соответственно и обрабатывали сатурационным газом при температуре 90 °С до pH 11,0–11,2, отделяли осадок. В фильтрат добавляли известковое молоко 0,3% к массе сока и сатурировали при температуре 95 °С до pH сока 9,0–9,2. В полученном сатурационном соке определяли чистоту, цветность и массовую долю солей кальция (рисунок 1–3).

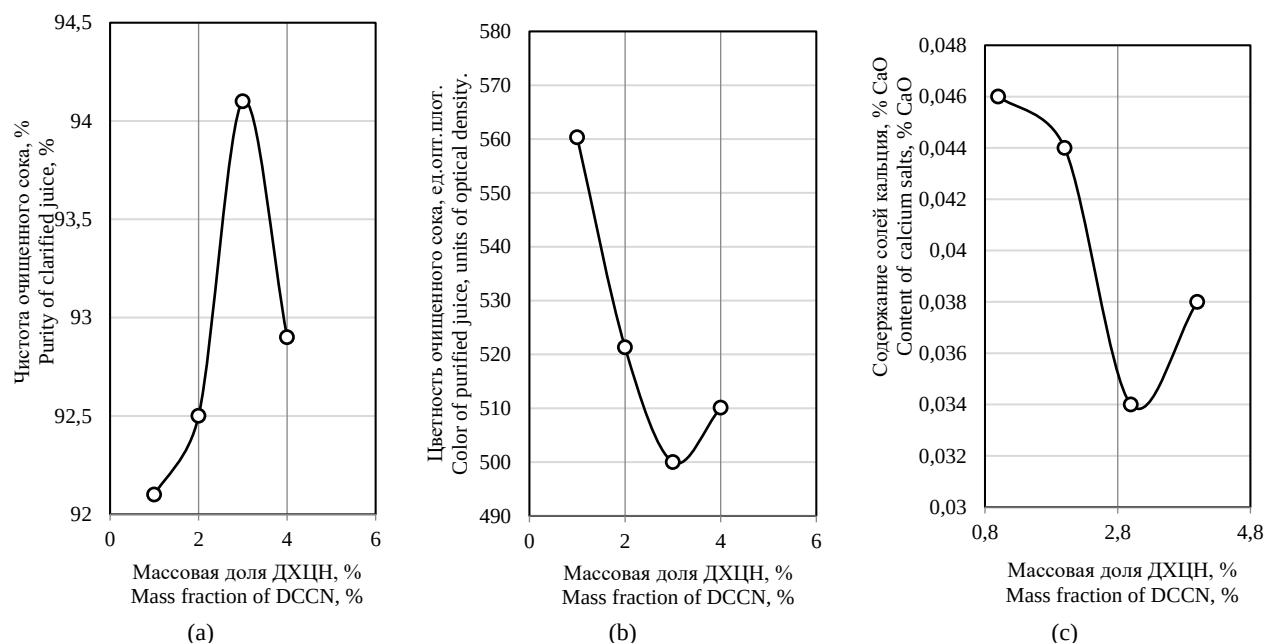


Рисунок 1. Зависимость чистоты очищенного сока (а), цветности (б) и содержания в нем солей кальция (в) от концентрации раствора бактерицидного препарата, применяемого на диффузии

Figure 1. Dependence of the purity of purified juice (a), color (b) and the content of calcium salts in it (c) on the concentration of the bactericidal solution used on diffusion

Установлено, что при проведении диффузии с добавлением раствора ДХЦН в экстрагент качественные показатели диффузионного и очищенного соков улучшаются. Наиболее высокие показатели при концентрации реагента 0,075%.

Перед проведением диффузии добавляли в экстрагент раствор хлорсодержащего реагента массовой долей 0,075% в количестве 10, 20 и 30% (таблица 2).

Таблица 2.

Показатели диффузионного сока в зависимости от количества раствора ДХЦН при обработке экстрагента

Table 2.

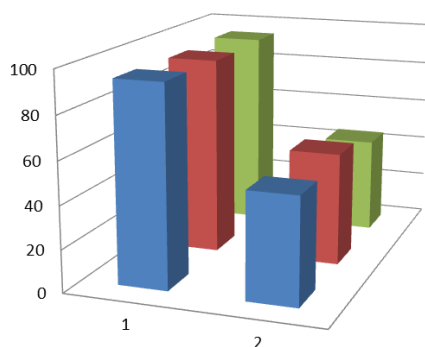
Indicators of diffusion juice depending on the amount of DCCN solution when processing the extractant

Показатели Indicators	Количество добавляемого реагента, % Amount of added reagent, %			
	0	10	20	30
Чистота, % Purity, %	85,8	87,1	87,3	87,4
Содержание белков, мг/см ³ Protein content, mg/cm ³	0,585	0,505	0,5	0,5
Массовая доля редуцирующих веществ, % Mass fraction of reducing substances, %	0,0978	0,0310	0,0357	0,0366

Из экспериментальных данных видно, что с увеличением количества раствора ДХЦН, используемого для подготовки экстрагента, чистота диффузионного сока увеличивается, содержание белка снижается. Но эти изменения незначительны. Минимальное содержание редуцирующих веществ соответствует добавлению раствора ДХЦН в экстрагент в количестве 10%. Следовательно, количество 10% достаточно для достижения хороших показателей на диффузии и рентабельно с экономической точки зрения.

Проведены исследования по выбору способа подготовки свекловичной стружки к экстрагированию путем ее предварительной тепловой обработки (для колонного и ротационного диффузионного аппарата) и без тепловой обработки (наклонный аппарат) (рисунок 2).

Для оценки влияния раствора ДХЦН в составе экстрагента на переработку свеклы, пораженной слизистым бактериозом, свеклу измельчали, обсеменяли чистой культурой *Leuconostoc mesenteroides* и оставляли на 72 часа в термостате при температуре 25 °С, затем получали свекловичную стружку, проводили экстрагирование и очистку полученного сока. Использовали экстрагент с концентрацией 0,075% в количестве 10% раствора ДХЦН (таблица 3).



■ типовая | typical; ■ с ошпариванием | with scalding; ■ без ошпаривания | without scalding

Рисунок 2. Показатели качества диффузионного сока при различных способах обработки стружки перед экстрагированием: 1 – чистота, %; 2 – содержание белка $\cdot 10^2$, mg/cm^3

Figure 2. Quality indicators of diffusion juice for different methods of processing shavings before extraction: 1 – purity, %; 2 – protein content $\cdot 10^2$, mg/cm^3

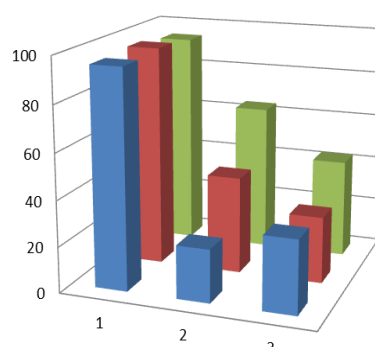


Рисунок 3. Показатели очищенного сока в способах с ошпариванием и без ошпаривания свекловичной стружки: 1 – чистота, %; 2 – цветность $\cdot 10^{-1}$, ед. опт. плот.; 3 – соли $\text{Ca} \cdot 10^3$, % CaO

Figure 3. Indicators of purified juice in methods with and without scalding of beet chips: 1 – purity, %; 2 – chromaticity $\cdot 10^{-1}$, units. wholesale raft.; 3 – salts $\text{Ca} \cdot 10^3$, % CaO

Таблица 3.

Показатели диффузионного и очищенного соков при переработке свеклы, обсемененной *Leuconostoc mesenteroides*

Table 3.

Indicators of diffusion and purified juices during the processing of beets contaminated with *Leuconostoc mesenteroides*

Показатели Indicators	Экстрагент без обработки Extractant without treatment	С раствором ДХЦН With DCC solution
Диффузионный сок Diffusion juice		
Чистота, % Purity, %	89,7	91,2
Содержание белков, mg/cm^3 Protein content, mg/cm^3	0,695	0,550
Очищенный сок Purified juice		
Чистота, % Purity, %	91,6	92,5
Цветность, ед. опт. плот. Color, units of optical density	251,6	233,2

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что добавление раствора ДХЦН в экстрагент при проведении диффузии благоприятно сказывается на качественных показателях соков из свеклы с начальной стадией поражения слизистым бактериозом.

Бактерицидное действие хлора связано с протеканием процессов окисления соединений, входящих в состав цитоплазмы клетки. Механизм бактерицидного действия хлора и его кислородсодержащих соединений заключается во взаимодействии с составными частями клеток микроорганизмов, в первую очередь с ферментами. Потеря биологической активности

ферментов может происходить в результате реакций окисления, хлорирования, замещения. Изменения в структуре ферментов ведут к нарушению обмена веществ в клетке микроорганизма и ее отмиранию [18].

Согласно современным представлениям, бактерицидное действие хлора обусловливается главным образом присутствием хлорноватистой кислоты HClO и ClO^- – ионов, которые непосредственно взаимодействуют с веществом бактериальной клетки. В результате в нем происходят необратимые изменения, обмен веществ в клетке нарушается, и бактерии гибнут [19].

Выбор оптимальных параметров бактерицидной обработки реагента осуществляли на основе методов математического моделирования [20].

Критериями оценки влияния параметров обработки экстрагента были выбраны: Y_1 – чистота диффузионного сока, %; Y_2 – содержание белков в диффузионном соке, mg/cm^3 ; Y_3 – чистота очищенного сока, %; Y_4 – цветность очищенного сока, ед. опт. плот.; Y_5 – содержание солей кальция в очищенном соке, % CaO; Y_6 – ЭКП преддефектованной суспензии.

Выбор интервалов изменения факторов обусловлен технологическими условиями проведения процесса и результатами проведенных исследований.

Для получения уравнений регрессии экспериментальные данные были обработаны при помощи программного комплекса SGWIN. Уравнения регрессии в физических переменных после удаления незначимых коэффициентов имеют вид:

$$\begin{aligned}
Y_1 &= 85,38690 - 2,53658 \cdot X_1 + 0,46589 \cdot X_2 - \\
&0,00300 \cdot X_3 - 2,80438 \cdot X_1 \cdot X_1 - 0,12500 \cdot X_1 \cdot \\
&X_2 - 0,37500 \cdot X_1 \cdot X_3 + 1,15445 \cdot X_2 \cdot X_2 - \\
&0,90000 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,59521 \cdot X_3 \cdot X_3 \\
Y_2 &= 0,16387 + 0,00081 \cdot X_1 - 0,00062 \cdot X_2 - \\
&0,01421 \cdot X_3 + 0,00093 \cdot X_1 \cdot X_1 + 0,01125 \cdot X_1 \cdot \\
&X_2 + 0,01250 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,01675 \cdot X_2 \cdot X_2 + \\
&0,00375 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,00172 \cdot X_3 \cdot X_3 \\
Y_3 &= 90,1123 - 2,97351 \cdot X_1 + 0,71056 \cdot X_2 + \\
&0,966478 \cdot X_3 - 4,77141 \cdot X_1 \cdot X_1 - 0,0375 \cdot X_1 \cdot \\
&X_2 - 0,5875 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,211696 \cdot X_2 \cdot X_2 - \\
&0,4375 \cdot X_2 \cdot X_3 - 1,60789 \cdot X_3 \cdot X_3 \\
Y_4 &= 1283,15 + 708,501 \cdot X_1 + 45,1163 \cdot X_2 - \\
&88,2021 \cdot X_3 + 895,713 \cdot X_1 \cdot X_1 + 18,7125 \cdot X_1 \cdot \\
&X_2 - 22,8125 \cdot X_1 \cdot X_3 + 161,457 \cdot X_2 \cdot X_2 + \\
&134,163 \cdot X_2 \cdot X_3 + 171,133 \cdot X_3 \cdot X_3 \\
Y_5 &= 0,01927 + 0,00709 \cdot X_1 - 0,00139 \cdot X_2 + \\
&0,00052 \cdot X_3 + 0,01041 \cdot X_1 \cdot X_1 - 0,00138 \cdot X_1 \cdot \\
&X_2 + 0,00413 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,00122 \cdot X_2 \cdot X_2 + \\
&0,00163 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,00581 \cdot X_3 \cdot X_3 \\
Y_6 &= 0,29629 + 0,03098 \cdot X_1 + 0,01095 \cdot X_2 - \\
&0,00270 \cdot X_3 + 0,06085 \cdot X_1 \cdot X_1 + 0,00500 \cdot X_1 \cdot \\
&X_2 + 0,01750 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,02551 \cdot X_2 \cdot X_2 + 0,01750 \cdot \\
&X_2 \cdot X_3 - 0,01338 \cdot X_3 \cdot X_3
\end{aligned}$$

Анализ данных уравнений позволяет выделить факторы, оказывающие значимое влияние на рассматриваемый процесс.

Чистота диффузионного сока увеличивается при повышении температуры раствора реагента. Это объясняется тем, что происходит более быстрое нагревание стружки до активной температуры денатурации белков. Увеличение концентрации и количества раствора реагента отрицательно сказывается на процессе диффузии, что обусловлено интенсивным протеканием окислительных процессов в аппарате.

Повышение температуры и количества раствора ДХЦН снижает содержание белков в диффузионном соке.

Чистота очищенного сока увеличивается с повышением температуры и количества раствора реагента, а цветность его снижается.

Повышение концентрации ДХЦН практически во всех опытах приводит к снижению качественных показателей, в том числе увеличивает содержание солей кальция в соке.

Учитывая, что исследуемые факторы (температура раствора ДХЦН, его концентрация и количество) неоднозначно влияют на качественные показатели диффузионного и очищенного соков, проведен выбор оптимальных условий процесса. Задача оптимизации обработки экстрагента раствором ДХЦН заключалась в поиске условий, при которых чистота диффузионного и очищенного соков максимальна, а цветность,

ЭКП, содержание солей кальция и белков – минимальны. Для решения задачи оптимизации с большим количеством откликов использована обобщенная функция желательности D – критерий Харрингтона (таблица 4).

Таблица 4.
Частные и обобщенная функции
желательности

Table 4.

Particular and generalized desirability functions

№ no.	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₆	D
1	0,5632	0,4290	0,6184	0,7232	0,6620	0,5638	0,526
2	0,7178	0,6852	0,6639	0,7526	0,7651	0,5430	0,634
3	0,2130	0,6852	0,2051	0,2051	0,3401	0,4090	0,243
4	0,3919	0,5236	0,3164	0,2257	0,4628	0,3623	0,301
5	0,6597	0,8018	0,7207	0,7959	0,8259	0,6926	0,705
6	0,6944	0,8018	0,7541	0,7470	0,7841	0,5638	0,674
7	0,2660	0,6614	0,3125	0,3428	0,2051	0,4321	0,278
8	0,2872	0,5822	0,2971	0,2440	0,3401	0,2051	0,243
9	0,2051	0,2660	0,2051	0,3118	0,3577	0,4090	0,220
10	0,2618	0,4928	0,3358	0,2948	0,5613	0,4321	0,315
11	0,6614	0,6837	0,7531	0,8018	0,583	0,6037	0,625
12	0,6852	0,7472	0,7421	0,8018	0,586	0,6590	0,650
13	0,2660	0,5656	0,7415	0,6996	0,396	0,7903	0,475
14	0,5822	0,6371	0,7457	0,6209	0,491	0,8018	0,582
15	0,6852	0,7105	0,7680	0,7551	0,542	0,7781	0,652
16	0,2051	0,6184	0,7498	0,7551	0,418	0,6412	0,453
17	0,5236	0,7257	0,8001	0,8405	0,579	0,5430	0,603
18	0,5822	0,8018	0,8076	0,8540	0,570	0,7085	0,664

Обобщенная функция желательности определена по формуле:

$$D = \sqrt[6]{d_{i=1..6}}$$

и приведена в последней графе таблицы 4.

Анализируя полученные значения обобщенной функции желательности, можно сделать вывод об оптимальных условиях обработки экстрагента: температура раствора 65 °С, концентрация ДХЦН 0,05%, его количество 15%.

Заключение

Предлагаемый бактерицидный препарат на основе ДХЦН отличается умеренной токсичностью (3 класс опасности по ГОСТ 12.1.007–76) при непосредственном попадании в организм человека, рекомендован для обезвреживания питьевой воды, дезинфекции посуды, помещений, отходов.

Рекомендуемая концентрация является безопасной, и в составе готовой продукции ее следов не остается за счет разложения в условиях производства.

За счет невысокой стоимости и доступности данный реагент может быть включен в список дезинфицирующих препаратов для сахарного производства.

Данный препарат может быть использован также на стадиях хранения сахарной свеклы, обработки свекловичной стружки перед экстрагированием, дезинфекции оборудования.

Литература

- 1 Maui A.A., Aipeisova S.A., Utarbaeva N.A., Matsyura A.V. Effect of agrotechnical and chemical practices on Fusarium rot root in sugar beet production // Ukrainian Journal of Ecology Ukrainian Journal of Ecology. 2020. №. 10(5). P. 217–222. doi: 10.15421/2020_233
- 2 Maui A.A., Anuarova L.E., Aitzhanova M. The role of precursors in reducing the harmfulness of fusarium rot of sugar beet roots // Қазақ мемлекеттік қыздар педагогикалық университетінің Хабаршысы. 2018. №. 1 (73). P. 6–12.
- 3 Голыбин В.А., Федорук В.А., Матвиенко Н.А., Ромашова В.Б. Эффективность переработки свеклы пониженного качества. // Вестник ВГУИТ. 2018 Т. 80. № 2. С. 206–210. doi:10.20914/2310–1202–2018–2–206–210.
- 4 Арапов Д.В., Коробова Л.А., Кульнева Н.Г. Предупреждение развития кагатной гнили на этапе послеуборочного хранения сахарной свеклы. // Сахар. 2023. № 7. С. 26–30. doi: 10.24412/2413–5518–2023–7–20–24
- 5 Гусятинская Н.А., Нечипор Т.М. Технологические аспекты переработки буриаков, зараженных слизистым бактериозом. // Цукор Украины. 2016. № 11–12 (131–132). С. 53–58.
- 6 Путилина Л.Н., Лазутина Н.А. Формирование технологического качества и продуктивности сахарной свеклы в результате действия современных фунгицидов // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. № 1. С. 38–49. doi: 10.36107/spfp.2021.184
- 7 Беляева Л.И., Пружин М.К., Остапенко А.В., Гурова В.Н. и др. Технологические приемы ингибирования бактериальной инфицированности процесса экстрагирования сахарозы при производстве сахара // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 2. С. 66–72.
- 8 Belyaeva L.I., Gurova V.N., Pruzhin M.K., Ostapenko A.V. et al. Effect of enzyme treatment on the viscosity of bacterially infected diffusion juice of sugar beet production // Food processing industry. 2021. P. 18–20. doi: 10.52653/ppi.2021.9.9.003
- 9 Беляева Л.И., Пружин М.К., Остапенко А.В., Сысоева Т.И. Состояние и перспективы совершенствования применения технологических вспомогательных средств в производстве белого свекловичного сахара. // Хранение и переработка сельхозсырья. 2023. № 3. С. 43–58. doi: 10.36107/spfp.2023.469
- 10 Беляева Л.И., Пружин М.К., Остапенко А.В., Гурова В.Н. Улучшение технологических индикаторов полуфабрикатов производства сахара из бактериально инфицированной сахарной свеклы // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 458–469. doi: 10.21603/2074–9414–2021–3–458–469
- 11 Городецкий В.О., Семенихин С.О., Даишева Н.М., Котляревская Н.И. и др. Влияние способов приготовления экстрактов на микробиологическую загрязненность промежуточных продуктов станции получения сока сахарной свеклы // Ecology, Environment and Conservation. 2019. Т. 25. № 3. С. 1267–1271.
- 12 Dolgoplova N., Kaluzhskikh A., Kotelnikova M. State-of-the-Art Methods for Eradication of Pathogenic Microflora in Sugar Production // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 666. 052031. doi: 10.1088/1755–1315/666/5/052031
- 13 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/
- 14 Корнеева О.С., Яковлева С.Ф., Матвиенко Н.А., Фролова Л.Н. и др. Перспективные методы интенсификации процесса экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки. // Вестник ВГУИТ. 2023. № 85(1). С. 149–155. doi: 10.20914/2310–1202–2023–1–149–155/.
- 15 Vorobiev E., Lebovka N. Processing of sugar beets assisted by pulsed electric fields // Research in Agricultural Engineering. 2022. V. 68(2). P. 63–79. doi: 10.17221/91/2021-RAE
- 16 Yousef M., Zohri A., Darwish A., Shamseldin A. et al. Exploring the antibacterial potential of plant extracts and essential oils against *Bacillus thermophilus* in beet sugar for enhanced sucrose retention: a comparative assessment and implications // Front. Microbiol. 2023. V. 14. doi: 10.3389/fmicb.2023.1219823
- 17 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.
- 18 Гусятинская Н., Нечипор Т. Исследование эффективности дезинфицирующего средства в отношении контаминирующей микрофлоры при производстве сахара // Эврика: науки о жизни. 2018. № 5. С. 15–21. doi: 10.21303/2504–5695.2018.00726.
- 19 Гусятинская Н., Нечипор Т. Ингибирование микробиологических процессов при экстракции сахарозы // Украинский пищевой журнал. 2017. № 6 (3). С. 504–513. doi: 10.24263/2304–974x-2017–6–3–10
- 20 Hosseini S.Z., Behrooz A.S. Simulation of mass transfer during sucrose extraction from sugar beet using a combined analytical and semi-empirical model // Chemical Engineering Communications. 2023. V. 210(11). P. 1873–1884. doi: 10.1080/00986445.2022.2150618

References

- 1 Maui A.A., Aipeisova S.A., Utarbaeva N.A., Matsyura A.V. Effect of agrotechnical and chemical practices on Fusarium rot root in sugar beet production. Ukrainian Journal of Ecology Ukrainian Journal of Ecology. 2020. no. 10(5). pp. 217–222. doi: 10.15421/2020_233
- 2 Maui A.A., Anuarova L.E., Aitzhanova M. The role of precursors in reducing the harmfulness of fusarium rot of sugar beet roots. Herald of the Kazakh State Girls' Pedagogical University. 2018. no. 1 (73). pp. 6–12.
- 3 Golybin V.A., Fedoruk V.A., Matvienko N.A., Romashova V.B. Efficiency of low quality beet processing. Proceedings of VSUET. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 206–210. doi: 10.20914/2310–1202–2018–2–206–210 (in Russian).
- 4 Arapov D.V., Korobova L.A., Kulneva N.G. Prevention of the development of black rot at the stage of post-harvest storage of sugar beets. Sugar. 2023. no. 7. pp. 26–30. doi: 10.24412/2413–5518–2023–7–20–24 (in Russian).

- 5 Gusyatsinskaya N.A., Nechipor T.M. Technological aspects of processing beries infected with mucous bacteriosis. Tsukor of Ukraine. 2016. no.11–12(131–132). pp.53–58.
- 6 Putilina L.N., Lazutina N.A. Forming of Technological Quality and Productivity of Sugar Beet as a Result of Action of Modern Fungicides. Storage and Processing of Farm Products. 2021. no. 1. pp. 38–49. doi: 10.36107/spfp.2021.184 (in Russian).
- 7 Belyaeva L.I., Pruzhin M.K., Ostapenko A.V., Gurova V.N. et al. Technological methods for inhibiting bacterial infection of the sucrose extraction process in sugar production. Achievements of science and technology of agro-industrial complex. 2021. vol. 35. no. 2. pp. 66–72.
- 8 Belyaeva L.I., Gurova V.N., Pruzhin M.K., Ostapenko A.V. et al. Effect of enzyme treatment on the viscosity of bacterially infected diffusion juice of sugar beet production. Food processing industry. 2021. pp. 18–20. doi: 10.52653/ppi.2021.9.9.003
- 9 Belyaeva L.I., Pruzhin M.K., Ostapenko A.V., Sysoeva T.I. State and Prospects for Improving the Use of Technological Aids in the White Beet Sugar Production. Storage and Processing of Farm Products. 2023. no. 3. doi: 10.36107/spfp.2023.469. (in Russian).
- 10 Belyaeva L.I., Pruzhin M.K., Ostapenko A.V., Gurova V.N. Improvement of Technological Indicators of Semi-Finished Products of Sugar Production from Bacterially Infected Sugar Beet. Food Processing: Techniques and Technology. 2021. vol. 51(3). pp. 458–469. doi: 10.21603/2074–9414–2021–3–458–469 (in Russian).
- 11 Gorodetsky V.O., Semenikhin S.O., Daisheva N.M., Kotlyarevskaya N.I. et al. The influence of extract preparation methods on the microbiological contamination of intermediate products of the sugar beet juice production station. Ecology, Environment and Conservation. 2019. vol. 25. no. 3. pp. 1267–1271. (in Russian).
- 12 Dolgoplova N., Kaluzhskikh A., Kotelnikova M. State-of-the-Art Methods for Eradication of Pathogenic Microflora in Sugar Production. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. vol. 666. pp. 052031. doi: 10.1088/1755–1315/666/5/052031
- 13 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
- 14 Korneeva O.S., Yakovleva S.F., Matvienko N.A., Frolova L.N. et al. Promising methods for intensifying the process of sucrose extraction from beet chips. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2023. vol. 85(1). pp. 149–155. doi: 10.20914/2310–1202–2023–1–149–155. (in Russian).
- 15 Vorobiev E., Lebovka N. Processing of sugar beets assisted by pulsed electric fields. Research in Agricultural Engineering. 2022. vol. 68 (2). pp. 63–79. doi: 10.17221/91/2021-RAE
- 16 Yousef M., Zohri A., Darwish A., Shamseldin A. et al. Exploring the antibacterial potential of plant extracts and essential oils against *Bacillus thermophilus* in beet sugar for enhanced sucrose retention: a comparative assessment and implications. Front. Microbiol. 2023. vol. 14. doi: 10.3389/fmicb.2023.1219823
- 17 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.
- 18 Gusyatsinskaya N., Nechipor T. Investigation of disinfectant's effectiveness as to contaminating microflora in sugar production. Eureka: Life Sciences. 2018. vol. 5. pp. 15–21. doi: 10.21303/2504–5695.2018.00726
- 19 Gusyatsinskaya N., Nechipor T. Inhibition of microbiological processes during sucrose extraction. Ukrainian Food Journal. 2017. vol. 6(3). pp.504–513. doi: 10.24263/2304–974x-2017–6–3–10
- 20 Hosseini S.Z., Behrooz A.S. Simulation of mass transfer during sucrose extraction from sugar beet using a combined analytical and semi-empirical model. Chemical Engineering Communications. 2023. vol. 210(11). pp. 1873–1884. doi: 10.1080/00986445.2022.2150618

Сведения об авторах

Надежда Г. Кульнева д.т.н., профессор, кафедра броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ngkulneva@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-3802-9071>

Юлия И. Последова к.т.н., доцент, ведущий инженер, Отдел технологического проектирования, ООО «Вестерос», ул. Бахметьева, д. 2Б, г. Воронеж, 394006, Россия, julija979@rambler.ru
 <https://orcid.org/0009-0009-5939-4490>

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

Nadezhda G. Kulneva Dr. Sci. (Engin.), professor, fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ngkulneva@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3802-9071>

Yulia I. Posledova Can. Sci. (Engin.), associate professor, leading engineer, Department of technological design, LLC "Westeros", Bakhmeteva st., 2B, Voronezh, 394006, Russia, julija979@rambler.ru

 <https://orcid.org/0009-0009-5939-4490>

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 17/07/2024	После редакции 08/08/2024	Принята в печать 26/08/2024
Received 17/07/2024	Accepted in revised 08/08/2024	Accepted 26/08/2024

Анализ потребительского рынка спортивного питания в Орловской области

Ольга Ю. Еремина¹ o140170@rambler.ru  0000-0003-4808-2829
Юрий В. Анохин¹ yura.anohin69@gmail.com  0009-0004-8146-8592

¹ Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева ул. Комсомольская 95, г. Орел, 3020260, Россия

Аннотация. Аналитический обзор существующих исследований показал, что значительное число спортсменов испытывает дефицит макро- и микронутриентов. Наиболее распространенными дефицитами являются недостаток витаминов группы D, C, B1, B2, фолатов, A, E а также минеральных элементов, таких как магний, кальций и цинк. В последние годы популярность спортивного питания растет, что связано с растущим интересом к здоровому образу жизни и правильному питанию. Целью данного исследования является изучение ассортимента и потребительских предпочтений в продуктах спортивного питания в Орловской области. Анализ ассортимента спортивного питания в магазинах на территории г. Орла показал, что многие магазины имеют высокие показатели широты ассортимента, но сталкиваются с низким коэффициентом новизны и устойчивости. Это указывает на необходимость улучшения ассортимента новинок и повышения стабильности товарных предложений. Исследование потребительских предпочтений в Орловской области показывает, что спортивное питание в основном используется для укрепления здоровья (41%) и повышения иммунитета (38,5%). Большинство респондентов не придают большого значения стране производства, предпочитая отечественные бренды лишь немного более иностранным. Наибольшей популярностью пользуются витаминно-минеральные комплексы (43,6%) и протеины (41%), в то время как заменители пищи и предтренировочные комплексы вызывают меньший интерес. При выборе продуктов наиболее важными характеристиками являются вкус, цена, состав и отзывы других потребителей. Бренд и удобство использования имеют наименьшее значение. Более 70% респондентов готовы сменить бренд при наличии аналогичного продукта с улучшенным составом. Более 50% доверяют рекомендациям других спортсменов, а 33,3% – советам тренера или диетолога. Представленные данные о дефиците витаминов и минеральных элементов, а также существующий спрос потребителей демонстрируют необходимость разработки таких видов спортивного питания как протеины, витаминные и минеральные комплексы, аминокислоты и термогенетики.

Ключевые слова: анализ рынка, спортивное питание, ассортимент, товарные предложения, правильное питание .

Analysis of the consumer market for sports nutrition in the Oryol region

Olga Yu. Eremina¹ o140170@rambler.ru  0000-0003-4808-2829
Yuri V. Anokhin¹ yura.anohin69@gmail.com  0009-0004-8146-8592

¹ Orel State University, 95 Komsomolskaya str., Orel, 302026, Russia

Abstract. An analytical review of existing studies has shown that a significant number of athletes experience a deficiency of macro- and micronutrients. The most common deficiencies are vitamins D, C, B1, B2, folate, A, E, and minerals such as magnesium, calcium, and zinc. In recent years, the popularity of sports nutrition has been growing, which is associated with a growing interest in a healthy lifestyle and proper nutrition. The purpose of this study is to study the range of sports nutrition products and consumer preferences in the Oryol region. An analysis of the range of sports nutrition in stores in the city of Oryol showed that many stores have high rates of product range, but face a low coefficient of novelty and stability. This indicates the need to improve the range of new products and increase the stability of product offerings. A study of consumer preferences in the Oryol region shows that sports nutrition is mainly used to improve health (41%) and enhance immunity (38.5%). Most respondents do not attach much importance to the country of manufacture, preferring domestic brands only slightly more foreign. The most popular are vitamin and mineral complexes (43.6%) and proteins (41%), while meal replacements and pre-workout complexes are of less interest. When choosing products, the most important characteristics are taste, price, composition and reviews of other consumers. Brand and ease of use are of the least importance. More than 70% of respondents are ready to change the brand if there is a similar product with an improved composition. More than 50% trust the recommendations of other athletes, and 33.3% - the advice of a trainer or nutritionist. The presented data on the deficiency of vitamins and minerals, as well as the existing consumer demand, demonstrate the need to develop such types of sports nutrition as proteins, vitamin and mineral complexes, amino acids and thermogenetics.

Keywords: market analysis, sports nutrition, assortment, product offerings, healthy eating.

Для цитирования

Еремина О.Ю., Анохин Ю.В. Анализ потребительского рынка спортивного питания в Орловской области // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 129–138. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-129-138

For citation

Eremina O.Yu., Anokhin Yu.V. Analysis of the consumer market for sports nutrition in the Oryol region. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 129–138. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-129-138

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

Введение

В течение последних 20 лет было проведено множество аналитических исследований, целью которых было выявление дефицита витаминов, макро- и микроэлементов у людей, занимающихся разными видами спорта. Об этом свидетельствует ряд исследований, проведенных учеными по всему миру.

На данный вопрос существуют различные равноправные точки зрения: одни исследователи заявляют о дефиците макро- и микронутриентов другие утверждения противоположны.

Одно из наиболее значимых исследований было осуществлено в Нидерландах группой ученых под руководством F. Wardenaar. Исследование выявило недостаточный уровень потребления витаминов B1, B2 и A и относительно низкий уровень витаминов B3, C и микроэлемента селена у спортсменов. При этом, в исследовании предлагается использование комбинации пищевых добавок, которые будут увеличивать в рационе спортсменов количество недостающих макро- и микронутриентов [1].

В исследовании A. Cupisti и его коллег была проведена проверка знаний атлетов о питании и оценка состава их диеты. В результате было выявлено недостаточное потребление спортсменами витаминов B1, B2 кальция, железа и цинка [2].

Под руководством Susan Heaney было проведено исследование среди профессиональных спортсменов и выявлен недостаток витамина D, фолатов (48%), кальция (24%), магния (19%) и железа (4%) [3].

В исследовании, проведенном Alicja Wiemiuk и Dariusz Włodarek, целью которого являлось оценка потребления энергии и питательных веществ молодыми мужчинами, занимающимися аэробными видами спорта, был выявлен значительный дефицит следующих микронутриентов: витаминов A (44%), C (80%), D (92%), фолиевой кислоты (84%), кальция (52%) и магния (60%). Потребление витамина E однако превышало уровень адекватного потребления. Почти все испытуемые получали достаточное количество витаминов B1, B2, B6, B12, ниацина и цинка [4].

В исследовании, проведенном Jorge Molina-López и его коллегами по потреблению витаминов, было выявлено, что все витамины группы B, а также витамин C превышают рекомендации суточной нормы потребления. Фактически, среднее потребление витамина B₁₂ наблюдаемыми участниками составило $784,39 \pm 307,41\%$ от рекомендованной нормы. Напротив, потребление витаминов A, D и E во всех трех временных точках (на 0-ой, 8-ой и 16-ой неделях) было ниже нормы для населения Испании и Европейского союза [5].

Под руководством Короновой Т.Л. был исследован уровень обеспеченности витамином D у спортсменов, занимающихся различными видами спорта. Так, низкий уровень витамина D в сыворотке крови был выявлен у 103 обследованных атлетов (86,6%), в том числе у 51,3% диагностирован дефицит витамина D [6]. Уровень витамина D в крови у атлетов, занимающихся в зале и более 2-х часов ежедневно на улице, достоверно не отличался ($21,9 \pm 1,2$ и $21,1 \pm 0,9$ нг/мл, $p > 0,05$). Наименьший уровень витамина D был у баскетболистов, волейболистов, гандболистов, по сравнению с данным показателем у других атлетов ($16,8 \pm 1,1$ и $21,7 \pm 1,6$ нг/мл, $p < 0,05$) [6].

Под руководством Рахманова Р.С. был проведен анализ витаминно-минеральной насыщенности организма спортсменов в зависимости от длительности и интенсивности физических нагрузок. Исследование проводилось на спортсменах двух видов спорта: прыгунах на лыжах с трамплина и гребцов по академической гребле [7]. В результате исследования было выявлено, что у 14,3% прыгунов на лыжах с трамплина изначально наблюдался низкий уровень витамина A в крови. К концу наблюдений среди спортсменов отмечена тенденция к снижению уровня этого витамина. Однако доля спортсменов с дефицитом витамина A возросла до четверти, у которых уровень был на 13,3% ниже нормы. Перед тренировками у половины спортсменов был недостаточный уровень витамина E в крови. К концу исследования этот дефицит увеличился до 62,5%, при этом уровень витамина был на 20,0% ниже нормы [7]. Отмечено, что у всех спортсменов наблюдался дефицит витамина B1 на протяжении всего исследования, с максимальным снижением уровня до 51,6% от нормы. Уровень витамина B2 также оставался неизменным: практически у всех спортсменов весь период наблюдения был выявлен его дефицит [7].

Противоположной точки зрения придерживаются другие исследователи. Так P.S. Hinton и коллеги выявили, что у учащихся колледжа, занимающихся спортом, среднее потребление соответствовало или превышало рекомендуемый уровень потребления всех питательных веществ, за исключением витамина E, магния, фолатов и цинка [8].

В аналогичном исследовании ученых под руководством E.F. De Sousa было выявлено, что витамины A и B12, а также минеральные элементы медь и железо обеспечивали адекватное потребление в процентах, равных или превышающих 97%, среди подростков обоего пола. Витамины B2 и C, а также цинк, составляли высокий процент потребления (от 92 до 96,9%) в исследуемой группе, как у мужчин, так и

у женщин. Процент удовлетворения витаминов В6 и ниацина превышал 93% для мужчин, но был ниже этого уровня для женщин. Самые низкие показатели потребления витаминов были выявлены по витаминам В1 (74% от рекомендованного уровня потребления), Е (66%) и фолиевой кислоты (11%). Что касается минеральных веществ, то среди обследованных подростков процентное соотношение магния составляло (76%), фосфора (69%) [9].

В последнее время популярность спортивного питания возрастает с каждым годом, данная тенденция объясняется стремлением все большего числа людей к здоровому образу жизни, правильному питанию, что, в свою очередь, порождает увеличение спроса на эту группу продуктов.

Как видно из представленных данных (таблица 1) в целом, доля граждан, систематически занимающихся физической культурой и спортом как в России в целом, так и в Орловской области, растет. Доля занимающихся в Орловской области была ниже, чем в среднем по России во все годы. Это может указывать на необходимость дополнительных усилий по популяризации физической активности на уровне региона.

За первые шесть месяцев 2024 года доля населения, занимающимся спортом в Орловской области (53,6%), была чуть ниже, чем в России в целом (56,4%). Разница в данном случае составляет 2,8 процентных пункта, что является значимым, но менее выраженным, чем в предыдущие годы. В Орловской области наблюдается стабильный рост доли граждан, занимающихся спортом. С 2020 по 2024 год она увеличилась с 40,5% до 53,6%. Самый значительный рост был отмечен в 2022 году, когда показатель вырос на 4,4 процентных пункта по сравнению с 2021 годом. В 2024 году, по состоянию на июнь, рост замедлился, но всё ещё продолжается тенденция увеличения.

Таблица 1.

Доля граждан, систематически занимающихся физической культурой и спортом, %

Table 1.

Share of citizens systematically engaged in physical culture and sports, %

ОКАТО	2020	2021	2022	2023	2024 январь– июнь jan-june
Россия Russia	45,4	49,4	52,9	56,8	56,4
Орловская область Orel region	40,5	45,1	49,5	53,9	53,6

Общее увеличение доли населения, занимающегося спортом, может оказать значительное влияние на спрос на спортивное питание. Людям, которые систематически занимаются спортом, часто требуется дополнительное питание для поддержки своих тренировок и восстановления. Это могут быть белковые добавки, аминокислоты, витамины, минеральные вещества и другие специализированные продукты. Основными целями употребления спортивного питания является восполнение дефицита витаминов и минеральных веществ, увеличение мышечной массы, восстановление после тренировок и соревнований, повышение иммунитета, когнитивных функций и концентрации. Спортивное питание помогает достигать конкретных целей, таких как наращивание мышечной массы, улучшение выносливости или восстановление после тренировки. По мере роста числа занимающихся спортом растет и потребность в таких продуктах. Спрос на спортивное питание, в т. ч. протеин, растет как со стороны людей, занимающихся спортом, так и со стороны тех, кто следит за количеством белка в рационе. Формирование ассортимента спортивного питания, позволяющего компенсировать дефицит витаминов, минеральных элементов и белка, – важная задача производителей.

Проектирование продуктов традиционного и специального спортивного питания на основе изучения потребительских предпочтений спортсменов в настоящий момент является актуальным вопросом, требующим проведения ряда исследований с целью его решения.

Все больший интерес для потребителей приобретают продукты спортивного питания нового вида, например, гели и энергетические жевательные конфеты, содержащие смесь углеводов и электролитов [10,11], обогащенные продукты, в том числе содержащие продукты пчеловодства [12,13], экстракты растительного сырья [14], живые клетки микроводорослей [15], гидролизат сывороточного белка [16].

При разработке продуктов спортивного питания большое внимание уделяется использованию побочных продуктов переработки сырья в производстве продуктов спортивного питания [17,18]. Преимущество такого использования выражается в возможности сократить производственные затраты, увеличить выход пищевой продукции, расширить линейку новых продуктов спортивного питания и снизить экологическую нагрузку на окружающую среду. Примерами таких побочных продуктов является рыбный коллаген [19].

Цель работы – изучение ассортимента и потребительских предпочтений в продуктах спортивного питания в Орловской области.

Материалы и методы

В ходе работы были рассчитаны следующие показатели ассортимента спортивного питания.

1. Коэффициент широты ассортимента ($K_{Ш}$) – отношение действительной широты ассортимента к базовой широте, определяется по следующей формуле (1).

$$K_{Ш} = \frac{Ш_{Д}}{Ш_{Б}} 100\%, \quad (1)$$

где $Ш_{Д}$ – действительная широта ассортимента (количество видов, разновидностей и наименований товаров, имеющихся в наличии); $Ш_{Б}$ – базовая широта ассортимента (широта, принятая за основу для сравнения)

Коэффициент широты используется для оценки насыщенности ассортимента и для сравнения с ассортиментами конкурентов.

Широким ассортимент является при значении – 50% и более.

2. Коэффициент полноты ассортимента ($K_{П}$) – соотношение действительной и базовой полноты торгового ассортимента, определяется по следующей формуле (2):

$$K_{П} = \frac{П_{Д}}{П_{Б}} 100\%, \quad (2)$$

где $П_{Д}$ – действительная полнота ассортимента (т. е. фактическое число видов, разновидностей и наименований товаров внутри однородной группы); $П_{Б}$ – базовая полнота (т. е. планируемое или регламентированное число видов, разновидностей и наименований товаров).

Коэффициент полноты ассортимента ($K_{П}$) показывает, насколько текущий ассортимент товаров в магазине соответствует запланированному ассортименту, который должен удовлетворять спрос покупателей.

Оптимальное значение коэффициента полноты ассортимента зависит от конкретного магазина и его стратегии. В идеале коэффициент должен быть как можно ближе к 100%, что означает полное соответствие ассортимента плану.

3. Коэффициент устойчивости ($K_{У}$) – соотношение числа видов, разновидностей и наименований товаров (изделий), которые пользуются устойчивым потребительским спросом ($У$), и общего числа видов, разновидностей и наименований товаров внутри тех же однородных групп или категорий (т. е. действительной полноты ассортимента, $П_{Д}$), определяется по следующей формуле (3):

$$K_{У} = \frac{У}{П_{Б}} 100\%, \quad (3)$$

Коэффициент устойчивости ассортимента – показатель, отражающий способность набора товаров (изделий) удовлетворять спрос на одни и те же товары. Описывает изменения широты и глубины ассортимента товаров (изделий) в течение определённого периода времени.

Оптимальный коэффициент устойчивости ассортимента для специализированных магазинов должен составлять 75–80%.

4. Коэффициент новизны ($K_{Н}$) рассчитывается как соотношение числа новых товарных групп или подгрупп ($Н$), входящих в ассортимент, и их фактического числа (т. е. действительной широты ассортимента, $Ш_{Д}$), определяется по следующей формуле 4:

$$K_{Н} = \frac{Н}{Ш_{Д}} 100\%, \quad (4)$$

Показатель новизны считается наиболее благоприятным при значениях 15–25%

Исследование проводилось посредством опроса в онлайн формате. Анкета была разработана на базе сервиса Google Forms. Анкета состояла из 13 вопросов, часть из которых предполагала выбор только одного ответа, а другая часть – несколько из приведенных ответов или свой вариант. Полученные ответы автоматически переносились в Google таблицы для дальнейшей обработки. Обработку результатов исследования осуществляли с помощью программы MS Excel.

Социологическое исследование потребительских предпочтений в продуктах спортивного питания было проведено среди населения Орловской области. Объем выборки составил 5% от населения Орловской области. В опросе по демографическому принципу принимали участие респонденты, различные по возрасту и уровню дохода, роду занятий, образованию, интенсивности потребления, отношению к товару.

Результаты

На первом этапе работы был проведен анализ ассортимента продуктов для питания спортсменов на территории г. Орла. Торговые сети «Европа-24», Siberian Wellness, 2scoop, Gladiator, Dorss были выбраны для анализа в связи с их популярностью среди покупателей продуктов спортивного питания и их ключевому положению на рынке г. Орла. На рисунке 1 представлены расчеты таких показателей ассортимента как коэффициент широты, устойчивости, новизны продуктов спортивного питания, реализуемого в торговых сетях г. Орла.

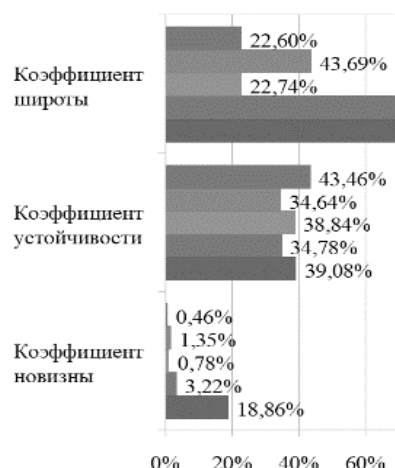


Рисунок 1. Результаты проведенных расчетов показателей ассортимента

Figure 1. Results of calculations of assortment indicators

Анализ коэффициента широты ассортимента показал, что в торговых организациях «Европа-24» и Siberian Wellness ассортимент представлен достаточно широко, так как коэффициент составляет $> 50\%$. Коэффициент широты в торговых организациях 2scoop, Gladiator и Dorss составляет $< 50\%$ в связи с тем, что большинство товарных позиций в них фактически отсутствуют, однако товары доступны для заказа. Торговым сетям 2scoop, Gladiator и Dorss необходимо повысить широту ассортимента путем увеличения разновидностей товаров, доступных к покупке.

Анализ коэффициента устойчивости демонстрирует, что ни один магазин не имеет достаточно стабильного спроса на представленный ассортимент, данный факт можно объяснить специфичностью продукции. Оптимальное значение коэффициента устойчивости находится в пределах от 75–80%. Таким образом, магазинам стоит изымать из ассортимента товар, не пользующийся достаточным спросом, и предлагать потребителям новые виды спортивного питания, которые будут пользоваться устойчивым спросом.

Расчет коэффициента новизны ассортимента спортивного питания показал, что новизна ассортимента выше в торговой сети «Европа-24», при этом, как было сказано ранее, показатель новизны считается наиболее благоприятным при значении 15–25%. Остальным магазинам стоит увеличить новизну ассортимента спортивного питания.

На рисунке 2 представлен расчет коэффициента полноты ассортимента брендов спортивного питания в торговых сетях города Орла. Полноту ассортимента рассчитывали по количеству производителей, представленных в магазинах г. Орла.

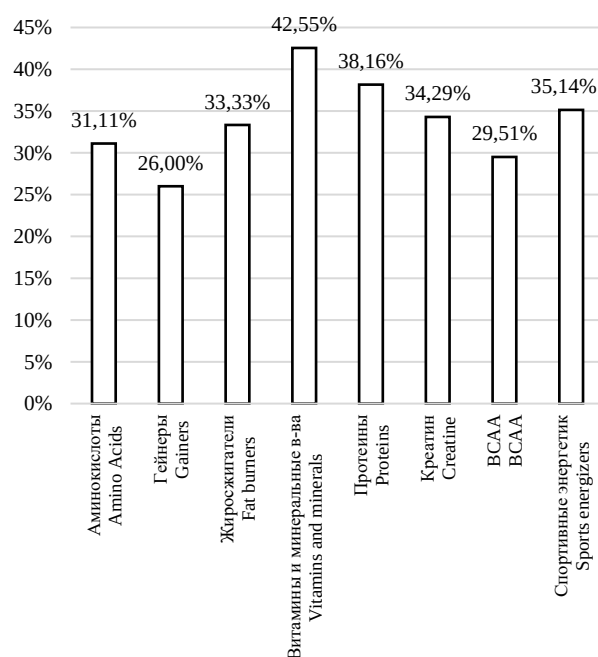


Рисунок 2. Результаты проведенных расчетов показателей ассортимента

Figure 2. Results of calculations of assortment indicators

Расчет коэффициента полноты ассортимента спортивного питания в магазинах г. Орла по производителям составляет менее 50%, что свидетельствует о необходимости расширения ассортимента по брендам. Наибольшая представленность ассортимента характерна для витаминных и минеральных комплексов (42,55%) и протеинов (38,16%), которые имеют наивысшие коэффициенты полноты, но они всё ещё далеки от идеала (100%). Это означает, что несмотря на достаточно обширный ассортимент этих категорий, он всё не полностью соответствует потребительскому спросу. Средняя представленность характерна для жиросжигателей (33,33%), креатина (34,29%), спортивных энергетиков и изотоников (35,14%), которые имеют умеренно высокий коэффициент полноты, что также указывает на необходимость расширения ассортимента в этих категориях. Наименьшая представленность характерна для гейнеров (26,00%) и предтренировочных комплексов (25,66%), которые имеют наименьшие коэффициенты полноты. Это означает, что выбор в этих категориях крайне ограничен и требует значительного увеличения для удовлетворения потребности покупателей.

На следующем этапе работы был проведен анализ потребительских предпочтений на продукты спортивного питания в Орловской области.

В процессе анкетирования потребителям был задан вопрос о частоте занятия спортом. Результаты о частоте занятия спортом представлены на рисунке 3.

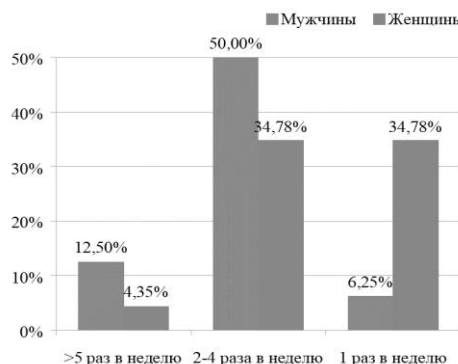


Рисунок 3. Частота занятий спортом
Figure 3. Frequency of sports activities

Представленная диаграмма демонстрирует, что мужчины чаще занимаются спортом чем женщины. Так, более 5 раз в неделю занимаются 12,5% мужчин и 4,35% женщин. При этом уже 2–4 раза в неделю занимаются 50% мужчин и 34,78% женщин, количество женщин, занимающихся 1 раз в неделю, составляет (34,78%), при этом число мужчин наименьшее (6,25%). Вообще не занимаются спортом 18,75% опрошенных мужчин и 17,39% женщин.

Также респонденты были опрошены о том, как часто они приобретают продукты спортивного питания. Результаты опроса о частоте покупки представлены на рисунке 4.

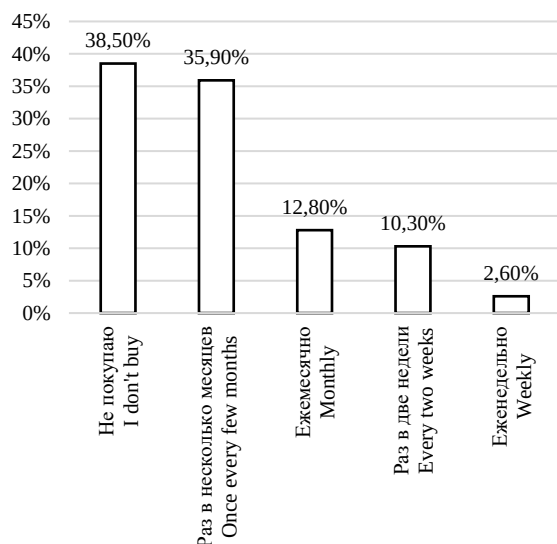


Рисунок 4. Частота покупки продуктов спортивного питания

Figure 4. Frequency of purchase of sports nutrition products

Представленная диаграмма демонстрирует, что большинство респондентов покупают спортивное питание раз в несколько месяцев (35,90%), 38,5% респондентов ответили, что не покупают продукты спортивного питания. Только 2,6% опрошенных респондентов ответили, что покупают спортивное питания еженедельно.

Следующий вопрос анкетирования связан с целью использования спортивного питания. Результаты представлены на рисунке 5.

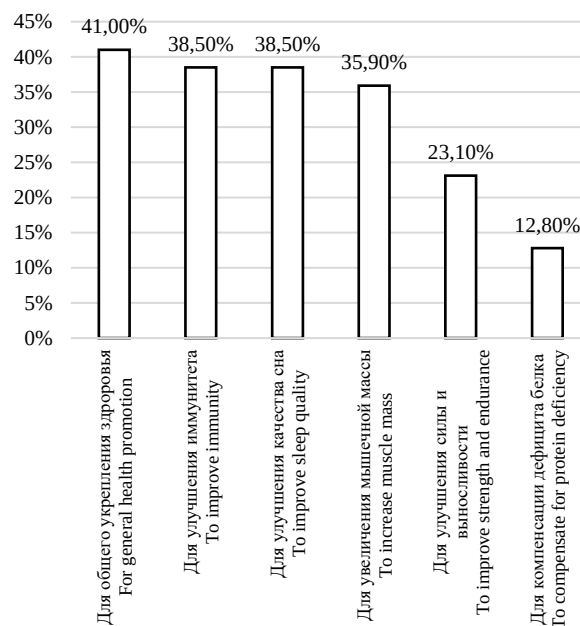


Рисунок 5. Цели использования продуктов спортивного питания

Figure 5. Purposes of using sports nutrition products

Представленная диаграмма демонстрирует, что большинство респондентов используют спортивное питание для общего укрепления здоровья (41%) и для улучшения иммунитета (38,5%). Использование спортивного питания с целью увеличения мышечной массы выбрали 35,9% респондентов, снижение веса – 30,8%. Меньше всего спортивное питание используют для балансировки рациона питания и улучшения качества сна (по 7,7% соответственно).

В анкете также был задан вопрос о влиянии страны производства спортивного питания на выбор потребителей. Результаты представлены на рисунке 6.

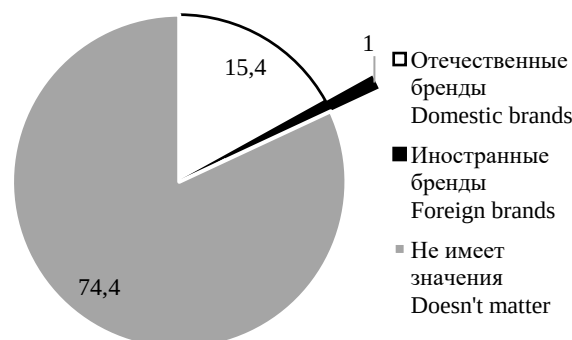


Рисунок 6. Предпочтения потребителей относительно страны производства спортивного питания

Figure 6. Consumers' preferences regarding the country of production of sports nutrition products

Из представленной диаграммы, можно увидеть, что для 74,4% опрошенных не имеет значения, иностранный или отечественный бренд питания они приобретают. Отечественные бренды пользуются популярностью у 15,4% опрошенных респондентов, иностранные бренды предпочитают только 10,3% опрошенных.

Относительно видов продуктов спортивного питания мнения респондентов распределились следующим образом (рисунок 7).

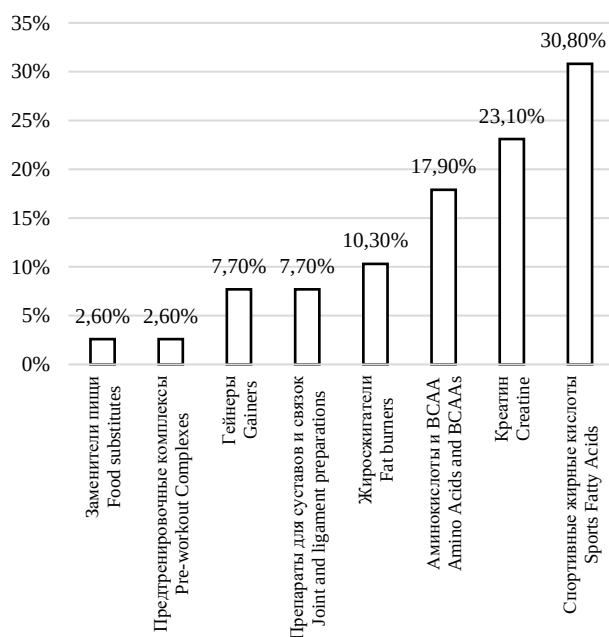


Рисунок 7. Предпочтения потребителей в выборе товаров спортивного питания

Figure 7. Consumers' preferences in the choice of sports nutrition products

Из представленной диаграммы видно, что наибольшей популярностью среди респондентов пользуются витамины и минеральные комплексы (43,60%), протеины (41%), аминокислоты и ВСАА (аминокислоты с разветвлёнными боковыми цепями) (17,9%) и спортивные напитки и энергетики (30,8%). Наименее респондентам интересны заменители пищи, спортивные жирные кислоты, предтренировочные комплексы (по 2,6% соответственно).

Также у респондентов выяснили, какими наиболее важными для них являются характеристики при выборе товаров спортивного питания. Ответы респондентов представлены на рисунке 8.

Представленная диаграмма демонстрирует, что более половины опрошенных выбрали такие характеристики как вкус, цена, состав продукта, отзывы других потребителей. Наименьшее значение у опрашиваемых при выборе продуктов спортивного питания имеют такие характеристики как бренд и удобство использования.

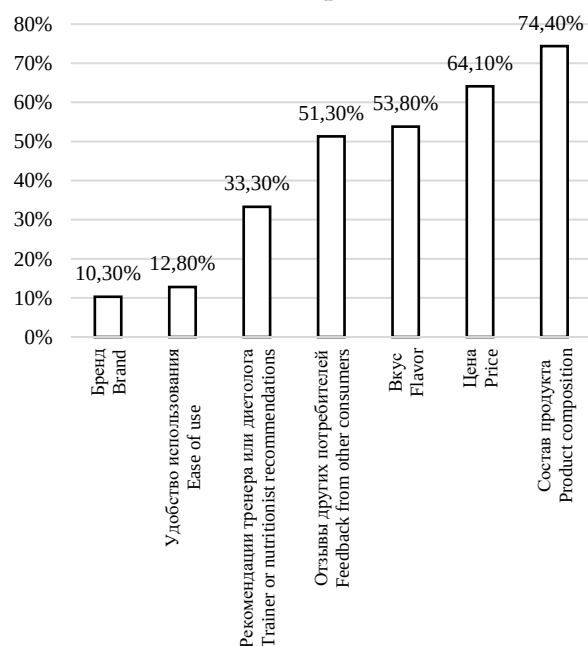


Рисунок 8. Характеристики, которыми руководствуются потребители при выборе товаров спортивного питания

Figure 8. Characteristics that guide consumers in choosing sports nutrition products

Один из заключительных вопросов анкетирования касался места покупки респондентами продуктов спортивного питания, результаты представлены на рисунке 9.

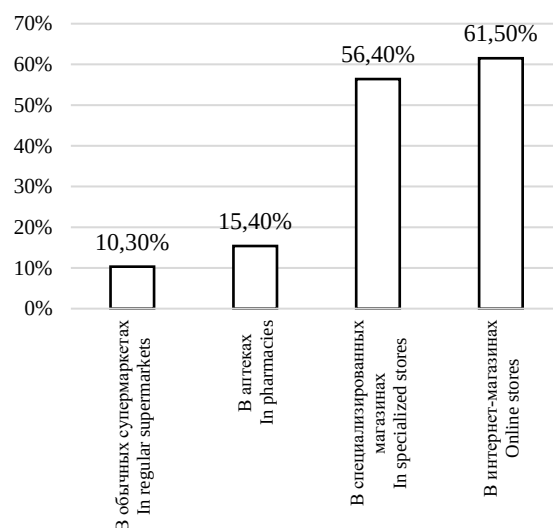


Рисунок 9. Место покупки продуктов спортивного питания

Figure 9. Place of purchase of sports nutrition products

Из представленной диаграммы следует, что наибольшее число потребителей покупает спортивное питание в интернет-магазинах (61,5%), так же более половины опрошенных респондентов делают покупки в специализированных магазинах (56,4%). Меньше всего покупки осуществляются в аптеках и супермаркетах.

Заключительный вопрос анкетирования касался факторов, которые убедят сменить текущий бренд спортивного питания респондентов, результаты представлены на рисунке 10.

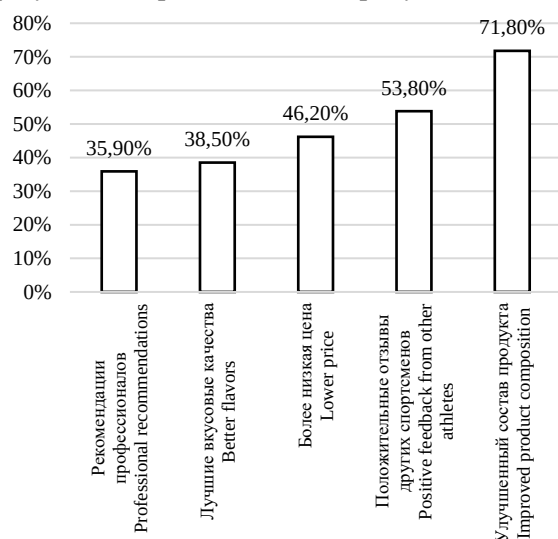


Рисунок 10. Факторы, побуждающие сменить текущий используемый бренд спортивного питания

Figure 10. Factors prompting to change the current sports nutrition brand in use

Из представленной диаграммы видно, что более 70% респондентов предпочтут сменить текущий бренд спортивного питания при наличии у аналога улучшенного состава, более 50% респондентов доверяют мнению других спортсменов и готовы сменить текущий бренд при наличии рекомендаций. Мнению профессионалов доверяет наименьшее число респондентов (35,9%).

Заключение

Аналитический обзор существующих исследований показал, что значительное число спортсменов испытывает дефицит ряда витаминов и минеральных веществ, которые критически важны для поддержания оптимальной физической формы, восстановления после нагрузок и общего здоровья. Наиболее распространенными дефицитами являются недостаток витаминов группы D (86,6% – 92% от рекомендуемой нормы), С (80%), В1 (51,6%), В2 (не приводятся конкретные данные, но упоминается, что дефицит был у всех спортсменов на протяжении всего исследования), фолатов (84%), А (13,3% и 44%) Е (20%) а также минеральных элементов, таких как магний (19% и 60%), кальций (24% и 52%) и цинк (дефицит выявлен у всех спортсменов без указания конкретных данных).

Дефицит указанных микронутриентов может негативно сказаться на физической выносливости, скорости восстановления и общем самочувствии спортсменов. Проблемы могут

включать снижение энергии, утомляемость, повышенную предрасположенность к травмам и снижение иммунитета.

На основе вышеприведенных результатов, было установлено, что торговые сети «Европа-24» и Siberian Wellness обладают достаточно широким ассортиментом, в то время как 2scoop, Gladiator и Dorss имеют более узкий выбор товаров, что требует увеличения разнообразия в их предложениях. Все магазины испытывают недостаток стабильного спроса на представленные товары, что можно объяснить спецификой продукции, поэтому необходимо оптимизировать ассортимент, убирая товары с низким спросом и вводя новые виды спортивного питания. Коэффициент новизны ассортимента наиболее благоприятен у «Европа-24», другим магазинам следует увеличить количество новых видов товаров. Полнота ассортимента варьируется по категориям: наивысшая представленность у витаминных комплексов и протеинов (42,55% и 38,16% соответственно), но эти категории все еще не полностью удовлетворяют спрос. Жиросжигатели (33,33%), креатин (34,29%) и спортивные энергетики (35,14%) имеют среднюю представленность и требуют улучшения, в то время как гейнеры (26,00%) и предтренировочные комплексы (25,66%) имеют наименьшую представленность и нуждаются в значительном расширении.

Существующие спортивные добавки и диеты не всегда могут полностью покрывать потребности спортсменов в витаминах и минералах из-за недостатка удобства, вариативности или доступности. Это создает потребность в инновационном продукте, который мог бы эффективно компенсировать дефицит необходимых микроэлементов.

Анализ потребительских предпочтений в Орловской области показывает, что спортивное питание в основном используется для укрепления здоровья (41%) и улучшения иммунитета (38,5%). Большинство опрошенных не обращают внимания на страну производства, предпочитая отечественные бренды незначительно больше иностранных. Наиболее популярны витамины и минеральные комплексы (43,60%), протеины (41%), в то время как заменители пищи и предтренировочные комплексы имеют низкий интерес. При выборе продуктов важнейшими характеристиками являются вкус, цена, состав и отзывы других потребителей. Бренд и удобство использования имеют наименьшее значение. Более 70% респондентов готовы сменить бренд при наличии улучшенного состава у аналога. Более 50% доверяют рекомендациям других спортсменов, а 33,3% – рекомендациям тренера или диетолога.

Представленные данные о дефиците витаминов и минеральных веществ, а также выявленные цели использования спортивного питания опрошенных потребителей, основной из которой является поддержка здоровья и иммунитета, демонстрируют необходимость разработки таких

видов спортивного питания, как витаминно-минеральные комплексы. Также другими основными целями являются увеличение мышечной массы и контроля веса, что подчеркивает необходимость в протеинах, аминокислотах и термогенных добавках.

Литература

- 1 Wardenaar F. et al. Micronutrient intakes in 553 Dutch elite and sub-elite athletes: prevalence of low and high intakes in users and non-users of nutritional supplements // *Nutrients*. 2017. V. 9. № 2. P. 142. doi: 10.3390/nu9020142
- 2 Cupisti A. et al. Nutrition knowledge and dietary composition in Italian adolescent female athletes and non-athletes // *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*. 2002. V. 12. № 2. P. 207-219. doi: 10.1123/ijnsnem.12.2.207
- 3 Heaney S., O'Connor, H., Gifford, J., & Naughton, G. Comparison of strategies for assessing nutritional adequacy in elite female athletes' dietary intake // *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*. 2010. V. 20. № 3. P. 245-256. doi: 10.1123/ijnsnem.20.3.245
- 4 Wierniuk A., Włodarek D. Estimation of energy and nutritional intake of young men practicing aerobic sports // *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*. 2013. V. 64. № 2.
- 5 Molina-López J., Molina J.M., Chiroso L.J., Florea D. et al. Implementation of a nutrition education program in a handball team; consequences on nutritional status // *Nutricion hospitalaria*. 2013. V. 28. № 4. P. 1065-1076. doi: 10.3305/nh.2013.28.4.6600
- 6 Каронова Т.Л., Глоба П.Ю., Андреева А.Т., Шишкин С.А., Буданова М.В., Байрамов А.А. Уровень обеспеченности витамином D и композиционный состав тела у спортсменов // *Остеопороз и остеопатии*. 2016. № 2. doi: 10.14341/osteop2016243-43
- 7 Рахманов Р.С., Разгулин С.А., Пискарев Ю.Г., Царяпкин В.Е. Сравнительный анализ витаминно-минеральной насыщенности организма спортсменов при различных физических нагрузках // *Медицинский альманах*. 2013. № 5 (28). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-vitaminno-mineralnoy-nasyschennosti-organizma-sportsmenov-pri-razlichnyh-fizicheskikh-nagruzkah>
- 8 Hinton P.S., Sanford T.C., Davidson M.M., Yakushko O.F. et al. Nutrient intakes and dietary behaviors of male and female collegiate athletes // *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2004. V. 14. № 4. P. 389-405. doi: 10.1123/ijnsnem.14.4.389
- 9 de Sousa E.F., Da Costa T.H., Nogueira J.A., Vivaldi L.J. et al. Assessment of nutrient and water intake among adolescents from sports federations in the Federal District, Brazil // *British Journal of Nutrition*. 2008. V. 99. № 6. P. 1275-1283. doi: 10.1017/S0007114507864841
- 10 Пат. № 2748893, RU, A 23 C 21/00, A 23 C 21/08. Углеводно-белковый гель для спортивного питания и способ его получения на основе нанофильтра-концентрата творожной сыворотки / Новокшанова А.Л., Матвеева Н.О., Никитюк Д.Б., Абрамова И.М. № 2020116661; Заявл. 21.05.2020; Опубл. 01.06.2021.
- 11 Пат. № 2814836, RU, A 23 G 3/36. Способ получения жевательной конфеты / Бобылева Е.И., Митрошина Д.П., Славянский А.А., Грибкова В.А., Шарова Т.Н. № 2022124772; Заявл. 21.09.2022; Опубл. 05.03.2024.
- 12 Пат. № 2727011, RU, A 23 G 3/38, A 23 G 3/48. Способ производства фруктовых драже с мёдом для функционального, спортивного и школьного питания / Винницкая В.Ф., Попова Е.И., Богданова Ю.С., Данилин С.И. № 2019112367; Заявл. 23.04.2019; Опубл. 17.07.2020.
- 13 Прохода И.А., Фещенко В.В., Галичева Т.А., Мясникова Е.Н. Инновационные технологии в спортивном питании. Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. 2023. Т. 20. № 5. С. 25-32. doi: 10.21686/2413-2829-2023-25-32
- 14 Пат. № 2764439, RU, A 61 K 36/21, B 01 D 11/02, A 61 K 131/00. Способ получения экстракта из зерен киноа, обогащенного фитостероидами / Зорин С.Н., Мазо В.К., Сидорова Ю.С., Петров Н.А. и др. № 2021109798; Заявл. 09.04.2021; Опубл. 17.01.2022.
- 15 Пат. № 2733121, RU, A 23 L 33/00. Способ обогащения пищевого продукта живыми клетками микроводорослей и пищевой продукт, полученный данным способом / Куницын М.В. № 2019136991; Заявл. 19.11.2019; Опубл. 29.09.2020.
- 16 Пат. № 2779114, RU, A 23 C 21/02, A 23 L 2/38, 2/60, 2/66. Напиток на основе гидролизата сывороточных белков / Мельникова Е.И., Богданова Е.В., Алехина А.С. № 2021127410; Заявл. 17.09.2021; Опубл. 31.08.2022.
- 17 Заугольников Е.В., Еремина О.Ю. Использование побочных продуктов переработки пшеницы в пищевой промышленности // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. Научно-практический журнал. ОГУ им. И.С. Тургенева, 2018. № 6 (53). С. 74-80.
- 18 Еремина О.Ю., Иванова Т.Н. Использование вторичных продуктов переработки ячменя // *Пищевая промышленность*, 2009. № 6. С. 34-35.
- 19 Пат. № 2764996, RU, A 23 L 29/00. Способ получения пищевых коллагенсодержащих продуктов / Воробьев В.И. № 2021102316; Заявл. 01.02.2021; Опубл. 24.01.2022.
- 20 Arenas-Jal M., Suñé-Negre J.M., Pérez-Lozano P., García-Montoya E. Trends in the food and sports nutrition industry: A review // *Critical reviews in food science and nutrition*. 2020. V. 60. № 14. P. 2405-2421.

References

- 1 Wardenaar F. et al. Micronutrient intakes in 553 Dutch elite and sub-elite athletes: prevalence of low and high intakes in users and non-users of nutritional supplements. *Nutrients*. 2017. vol. 9. no. 2. pp. 142. doi: 10.3390/nu9020142
- 2 Cupisti A. et al. Nutrition knowledge and dietary composition in Italian adolescent female athletes and non-athletes. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*. 2002. vol. 12. no. 2. pp. 207-219. doi: 10.1123/ijnsnem.12.2.207
- 3 Heaney S., O'Connor, H., Gifford, J., & Naughton, G. Comparison of strategies for assessing nutritional adequacy in elite female athletes' dietary intake. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*. 2010. vol. 20. no. 3. pp. 245-256. doi: 10.1123/ijnsnem.20.3.245

- 4 Wierniuk A., Wlodarek D. Estimation of energy and nutritional intake of young men practicing aerobic sports. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*. 2013. vol. 64. no. 2.
- 5 Molina-López J., Molina J.M., Chiroso L.J., Florea D. et al. Implementation of a nutrition education program in a handball team; consequences on nutritional status. *Nutricion hospitalaria*. 2013. vol. 28. no. 4. pp. 1065-1076. doi: 10.3305/nh.2013.28.4.6600
- 6 Karonova T.L., Globa P.Yu., Andreeva A.T., Shishkin S.A., Budanova M.V., Bayramov A.A. Level of vitamin D status and body composition in athletes. *Osteoporosis and osteopathy*. 2016. no. 2. doi: 10.14341/osteo2016243-43 (in Russian).
- 7 Rakhmanov R.S., Razgulin S.A., Piskarev Yu.G., Tsaryapkin V.E. Comparative analysis of vitamin and mineral saturation of the athletes' body under various physical loads. *Medical almanac*. 2013. no. 5 (28). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-vitaminno-mineralnoy-nasyschennosti-organizma-sportsmenov-pri-razlichnyh-fizicheskikh-nagruzkah> (in Russian).
- 8 Hinton P.S., Sanford T.C., Davidson M.M., Yakushko O.F. et al. Nutrient intakes and dietary behaviors of male and female collegiate athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2004. vol. 14. no. 4. pp. 389-405. doi: 10.1123/ijsnem.14.4.389
- 9 de Sousa E.F., Da Costa T.H., Nogueira J.A., Vivaldi L.J. et al. Assessment of nutrient and water intake among adolescents from sports federations in the Federal District, Brazil. *British Journal of Nutrition*. 2008. vol. 99. no. 6. pp. 1275-1283. doi: 10.1017/S0007114507864841
- 10 Novokshanova A.L., Matveeva N.O., Nikityuk D.B., Abramova I.M. Carbohydrate-protein gel for sports nutrition and the method for producing it based on a curd whey nanofiltrate concentrate. Patent RF, no. 2748893, 2021.
- 11 Bobyleva E.I., Mitroshina D.P., Slavyansky A.A., Gribkova V.A., Sharova T.N. Method for producing a chewing candy. Patent RF, no. 28148362024.
- 12 Vinnitskaya V.F., Popova E.I., Bogdanova Yu.S., Danilin S.I. Method for the production of fruit dragees with honey for functional, sports and school nutrition. Patent RF, no. 2727011, 2020.
- 13 Prokhoda I.A., Feshchenko V.V., Galicheva T.A., Myasnikova E.N. Innovative technologies in sports nutrition. *Bulletin of the Plekhanov Russian University of Economics*. 2023. vol. 20. no. 5. pp. 25-32. doi: 10.21686/2413-2829-2023-25-32 (in Russian).
- 14 Zorin S.N., Mazo V.K., Sidorova Yu.S., Petrov N.A. et al. Method for obtaining an extract from quinoa grains enriched with phytoecdysteroids. Patent RF, no. 2764439, 2022.
- 15 Kunitsyn M.V. Method for enriching a food product with living microalgae cells and a food product obtained by this method. Patent RF, no. 2733121, 2020.
- 16 Melnikova E.I., Bogdanova E.V., Alekhina A.S. Whey protein hydrolysate-based drink. Patent RF, no. 2779114, 2022.
- 17 Zaugolnikova E.V., Eremina O.Yu. Use of by-products of wheat processing in the food industry // *Technology and commodity science of innovative food products. Scientific and practical journal. OSU named after I.S. Turgenev*. 2018. no. 6 (53). pp. 74-80. (in Russian).
- 18 Eremina O.Yu., Ivanova T.N. Use of secondary products of barley processing. *Food industry*, 2009. no. 6. pp. 34-35. (in Russian).
- 19 Vorobyov V.I. Method for obtaining collagen-containing food products. Patent RF, no. 2764996, 2022.
- 20 Arenas-Jal M., Suñé-Negre J.M., Pérez-Lozano P., García-Montoya E. Trends in the food and sports nutrition industry: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2020. vol. 60. no. 14. pp. 2405-2421.

Сведения об авторах

Ольга Ю. Еремина д.т.н., доцент, зав. кафедрой, кафедра товароведения и таможенного дела, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, ул. Комсомольская 95, г. Орел, 302026, Россия, o140170@rambler.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-4808-2829>

Юрий В. Анохин аспирант, кафедра товароведения и таможенного дела, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, ул. Комсомольская 95, г. Орел, 302026, Россия, yura.anohin69@gmail.com
 <https://orcid.org/0009-0004-8146-8592>

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 Yu. Eremina Dr. Sci. (Engin.), associate professor, head of department, commodity science and customs affairs department, I.S. Turgenev Oryol State University, 95 Komsomolskaya str., Orel, 302026, Russia, o140170@rambler.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-4808-2829>

Yuri V. Anokhin postgraduate student, commodity and customs science department, I.S. Turgenev Orel State University, 95 Komsomolskaya str., Orel, 302026, Russia, yura.anohin69@gmail.com
 <https://orcid.org/0009-0004-8146-8592>

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 27/06/2024	После редакции 12/08/2024	Принята в печать 28/08/2024
Received 27/06/2024	Accepted in revised 12/08/2024	Accepted 28/08/2024

Исследование процесса производства кондитерского жира со сбалансированным жирнокислотным составом на основе растительных культур

Екатерина Ю. Желтоухова	¹	katsturova@gmail.com	 0000-0002-7463-9013
Анастасия В. Терехина	¹	gorbatova.nastia@yandex.ru	 0000-0003-4433-9615
Лариса А. Лобосова	¹	lobosova63@mail.ru	 0000-0001-7147-1297
Максим А. Барбашин	¹		
Юлия С. Щедрина	¹		

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

Аннотация. Кондитерские жиры содержат большое количество насыщенных жирных кислот, придающие продуктам заданную плотность и увеличивают температуру плавления. Приведена разработка технологии и расчет рецептуры кондитерского жира на основе растительных культур и совершенствоваться известные способы по переработке растительных масел. В работе при производстве жиров использовались очищенные растительные масла: пальмовое, ши, подсолнечное, оливковое, соевое, рапсовое, льняное и другие, их фракции, а также модифицированные масла и жиры. В ходе эксперимента были сделаны три различных смеси жиров объемом 200 мл по предполагаемым рецептурам. Далее проходил процесс переэтерификации на пилотных установках, образцами по 10 кг. Переэтерифицированные образцы получили названия Баланс-1, Баланс-2, Баланс-3 и Баланс-4 и направлены на дезодорацию. После изучения физико-химических свойств разработанных жиров, было принято решение выработать из двух производственных жиров «Эконат 2004» и «Эконат 3004-32» и очищенных пилотных образцов Баланс-2, Баланс-3, Баланс-4 шоколадно-ореховую пасту по классической рецептуре. При выработке смотрели на технологические свойства. В результате было выработано по две баночки шоколадно-ореховой пасты из каждого образца.

Ключевые слова: кондитерский жир, рецептура, растительные культуры, шоколадно-ореховая паста, технологические свойства.

Research into the production process of confectionery fat with a balanced fatty acid composition based on plant crops

Ekaterina Yu. Zheltoukhova	¹	katsturova@gmail.com	 0000-0002-7463-9013
Anastasia V. Terekhina	¹	gorbatova.nastia@yandex.ru	 0000-0003-4433-9615
Larisa A. Lobosova	¹	lobosova63@mail.ru	 0000-0001-7147-1297
Maxim A. Barbashin	¹		
Yulia S. Shchedrina	¹		

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

Abstract. Confectionery fats contain a large amount of saturated fatty acids, which give products a given density and increase the melting point. The development of technology and calculation of the formulation of confectionery fat based on vegetable crops and the improvement of known methods for processing vegetable oils are presented. In the production of fats, purified vegetable oils were used: palm, shea, sunflower, olive, soybean, rapeseed, flaxseed and others, their fractions, as well as modified oils and fats. During the experiment, three different mixtures of fats with a volume of 200 ml were made according to the proposed recipes. Next, the trans-esterification process took place in pilot plants, with samples of 10 kg each. The transesterified samples were named Balance-1, Balance-2, Balance-3 and Balance-4 and were used for deodorization. After studying the physicochemical properties of the developed fats, it was decided to develop chocolate-nut paste from two production fats "Econat 2004" and "Econat 3004-32" and purified pilot samples Balance-2, Balance-3, Balance-4 according to classic recipe. During production, we looked at the technological properties. As a result, two jars of chocolate-nut butter were produced from each sample

Keywords: confectionery fat, recipe, plant crops, chocolate-nut paste, technological properties..

Введение

В современном мире население начинает больше задумываться и заботиться о здоровье в результате увеличивается потребность в продуктах питания специального назначения со сбалансированным жирнокислотным составом на основе растительных культур. Происходит увеличение выбора кондитерских изделий, за счет оптимизации и модернизации способов

их производства. Поэтому необходимо фиксировать и регламентировать нормы к составляющим компонентам, в том числе к кондитерским жирам. Жир является составляющей большей части кондитерских изделий. С учетом дозирования жир осуществляет функцию соответствующего структурообразователя. Преобразование зависимости подобранных жиров помогает получить большой выбор жиров для кондитерской

Для цитирования

Желтоухова Е.Ю., Терехина А.В., Лобосова Л.А., Барбашин М.А., Щедрина Ю.С. Исследование процесса производства кондитерского жира со сбалансированным жирнокислотным составом на основе растительных культур // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 139–145. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-139-145

For citation

Zheltoukhova E.Yu., Terekhina A.V., Lobosova L.A., Barbashin M.A., Shchedrina Yu.S. Research into the production process of confectionery fat with a balanced fatty acid composition based on plant crops. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 139–145. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-139-145

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

промышленности: выпечка, заменитель какао-масла, для вафель и начинок конфет и так далее. У существующих жиры есть ряд различий: температура плавления, количественный состав твёрдых триглицеридов, необходимость темпирования, содержание добавок.

Таже они имеют существенный недостаток – содержание значительного количества насыщенных жирных кислот, которые создают у изделия заданную плотность и увеличивают температуру плавления. При использовании этих жиров в промышленности в превышающих фиксированное значение стандартом оказывается отрицательное влияние на организм человека. Они превращают продукты кондитерской отрасли в более калорийные образцы, которые наносят отрицательное воздействие на организм человека. Цель данной работы заключается в разработке технологии и расчет рецептуры кондитерского жира со сбалансированным жирнокислотным составом за счет внедрения новых ингредиентов на основе растительных культур. Исходя из этого, ставится задача в разработке новых рецептур за счет внедрения новых ингредиентов и совершенствование существующих технологий по переработке растительных масел и получения жировых продуктов с определённым жирнокислотным составом и структурированных липидов отвечающим заданным требованиям. Для решения поставленной задачи необходимо сделать его более близким по составу с жирнокислотным и отойти от способа гидрогенизации масел. Так как при этом возникают трансизомеры жирных кислот, нахождение которых в продуктах нужно приближать к минимальному значению или отсутствию.

Материалы и методы

Объектами исследования являлась линия производства кондитерских жиров. Предмет исследования – технология и рецептура кондитерского жира на основе растительных культур. При выработке кондитерских жиров основным сырьем является очищенные растительные масла, такие как пальмовое, ши, подсолнечное, оливковое, соевое, рапсовое, льняное и другие) и их фракции (олеин, стеарин), а также модифицированные масла и жиры (после гидрогенизации, переэтерификации). Пальмовое масло относят к маслам тропического происхождения, также как и пальмоядровое, кокосовое, которые производят в Малайзии, Индонезии, Колумбии. Оно является одним из самых распространенных видов пищевого растительного масла в мире, так же как подсолнечное, соевое, оливковое, кукурузное. После отжима мясистой части плодов

пальмы масличной получают свежее масло темного или темно-красного оттенка, которое после дистилляции при пониженной температуре можно использовать как отдельный продукт – красное пальмовое масло. Для его дальнейшего использования в промышленности необходима многоступенчатая очистка, результатом которой становится рафинированное отбеленное масло.

Масло ши (карите) – масло растительного происхождения, добываемое из семян тропического дерева ши методом холодного отжима. В последнее время оно набирает все большую популярность в пищевой отрасли, так как по некоторым своим свойствам и внешнему виду похоже на какао-масло. Масло ши содержит в себе следующие жирные кислоты: олеиновая (40–55%), стеариновая (35–45%), пальмитиновая (3–7%), линолевая (3–8%) и леноленовая (1%). В масле ши содержится больше неомыляемых веществ (до 17%), чем в какао-масле; в среднем в масле карите содержится 8% неомыляемых веществ. Они представляют собой обезжиренную фракцию, состоящую из фенолов, токоферолов, тритерпенов (альфа-амирина, лупеол, бутироспермол, паркеол), стероидов и углеводов (2–3%). Масло также содержит терпеновые спирты. Масло карите имеет твёрдую структуру, похожую на топленое сливочное масло. Температура плавления 36–46 °C. Цвет масла ши белый, с кремово-розовым оттенком, запах нежно-ореховый. Калорийность масла ши (карите) составляет 884 ккал на 100 граммов продукта. Компоненты входящие в состав подсолнечного масла в основном зависят от сорта подсолнечника, географического места произрастания, технологии извлечения масла и его очистки. Такое масло представляет собой смесь триглицеридов жирных кислот состава: ненасыщенные кислоты: 46–62% линолевой, 24–40% олеиновой, меньше 1% линоленовой; насыщенные кислоты: 3,5–9,0% пальмитиновой, 1,6–4,6% стеариновой, 0,7–0,9% арахисовой, меньше 1% миристиновой. Содержит также 0,3–0,7% неомыляемых веществ (токоферолы, фосфолипиды, стерины, сквален, воски и воскообразные продукты) и около 1–1,5% свободных жирных кислот. Выработка кондитерских жиров начинается с детальной и многоступенчатой очистки его жировых составляющих. Масла растительного происхождения и жиры проходят полную рафинацию (нейтрализации, дезодорации, отбелке, вымораживанию (при необходимости), потому что надо полностью очистить сырьё от примесей (пестицидов, свободных жирных кислот, ароматических, красящих веществ и др.). После очистки растительные масла могут подвергнуть различным модификациям (фракционирование, гидрогенизация, переэтерификация), если это

предусмотрено рецептурой. Жиры поступают в плавители, оснащенные с трубными решетками, по которым поступает горячая вода. Заданные показатели температура горячей воды автоматически поддерживается в требуемых пределах для создания стабильного нагрева жиров до температуры 50–55 °С с целью предотвращения окисления продукта. Растопленные масла по трубопроводам из плавителей дозируются в определенном количестве в вертикальный смеситель с механической мешалкой, где идет смешивание жировой смеси и достигается равномерное распределение всех компонентов. Потом смесь жиров перемещают на этап дезодорации, для исключения появления реверсии органолептических показателей. Она представляет собой дистилляционный процесс, проводимый паром в условиях глубокого вакуума и высокой температуры. Извлечение одорирующих компонентов и свободных жирных кислот в этих условиях происходит за счет того, что общая масса имеет упругость паров большую, чем триглицериды. Эти вещества обладают большей летучестью. Смесь жиров поступает в дезодоратор периодического действия, где его температура увеличивается до 170–210 °С, продолжительность процесса дезодорации длится около 1 часа при давлении пара около 3–4 МПа. После этапа дезодорации у смеси жиров понижается температура за счет охлаждения до 38–40 °С и вводят дополнительные ингредиенты – антиокислители, эмульгаторы и другие. Далее кондитерский жир отправляют на этап кристаллизации в специальные кристаллизаторы, где необходимо следить за скоростью понижения температуры и процессом смешивания. При постепенном понижении и охлаждении появляются крупные кристаллы, характерные для наиболее высокоплавкой, стабильной кристаллической β-формы, которая обуславливает гетерогенность структуры, придающей продукту грубость вкуса, «мучнистость», «мраморность» и так далее.

При хранении такой кондитерский жир приобретает крошистую структуру. Для получения гомогенной структуры жиры кондитерского назначения после глубокого охлаждения подвергают активному перемешиванию и продолжительной механической обработке. Затем жиры кондитерского назначения доводятся до температуры розлива в короба, упаковываются и транспортируют в холодильник для окончательного охлаждения и стабилизации. Получение всех видов кондитерских жиров – твердых (фасованных и в монолите), мягких и жидких – проводятся на автоматизированных непрерывно работающих линиях, которые предусматривают последовательное проведение всех заданных технологических этапов производства.

Результаты и обсуждение

В ходе эксперимента были сделаны три различных смеси жира объемом 200 мл по предполагаемым рецептурам. Полученные смеси были отправлены на анализ, который подтвердил, что полученные смеси имеют сбалансированный жирнокислотный состав на основе растительных культур. Чтобы избежать отсечения жидких растительных масел в образцах из-за неравномерного распределения насыщенных жирных кислот между триглицеридами, а также для придания кондитерскому жиру определенных свойств (температура плавления, пластичность, твердость), было принято решение отправить их на переэтерификацию. Процесс переэтерификации производился на пилотных установках, образцами по 10 кг, после процесса образцы каждого жира были направлены в лабораторию. Переэтерифицированные образцы получили названия Баланс-1, Баланс-2, Баланс-3 и Баланс-4. По показаниям видно, что переэтерификации в образце Баланс-1 не прошла (малые различия анализов до/после), поэтому было принято решение не использовать этот образец для дальнейшей работы. В таблице 2 представлено соответствие жирнокислотного состава пилотных образцов к рассчитанному.

Таблица 1.

Физико-химические свойства пилотных образцов

Table 1.

Physico-chemical properties of pilot samples

Образец Sample	Температура плавления, °C Melting point, °C		Йодное число, г I ₂ /100 г. Iodine number, g I ₂ /100 g	Содержание ТТГ, % TTG content, %			
				10 °C	20 °C	30 °C	35 °C
1	2		3	4	5	6	7
Баланс 1 Пальмовое масло – 56%, подсолнечное масло – 44%. Balance 1 Palm oil – 56%, sunflower oil – 44%.	Д В	29	87,75	17,4	6,0	2,1	1,2
	П А	37.9	87,75	18,6	6,0	1,6	0,1
Баланс 2 Подсолнечное масло – 45%, масло ши – 55%. Balance 2 Sunflower oil – 45%, shea butter – 55%	Д В	47,2	79,24	50,8	41,9	20,2	2,0
	П А	48,4	75,74	25,4	13,7	8,6	6,3

Продолжение таблицы 1 | Continuation of table 1

1	2		3	4	5	6	7
Баланс 3 Пальмовое масло – 50%, подсолнечное масло – 40%, масло ши – 10%. Balance 3 Palm oil – 50%, sunflower oil – 40%, shea butter – 10%	Д В	37,8	60,21	19,3	9,1	4,6	3,1
	П А	37,0	86,55	16,0	7,0	2,5	0,3
Баланс 4 Подсолнечный олеин – 30%, подсолнечное масло – 40%, масло ши -30%. Balance 4 Sunflower olein – 30%, sunflower oil – 40%, shea butter -30%	Д В	35,3	85,12	17,4	1,4	0,1	0,1
	П А	40,5	85,58	13,0	5,9	2,3	0,3

Таблица 2.

Жирынокислотный состав пилотных образцов (постановка смесей)

Table 2.

Fatty acid composition of pilot samples (formulation of mixtures)

Показатель Index	Баланс-3 Balance-3		Баланс-4 Balance-4		Баланс-2 Balance-2	
	расчет est.	анализ analysis	расчет est.	анализ analysis	расчет est.	анализ analysis
Лауриновая C12:0 Lauric C12:0	0,39	0,2	0,43	0,12	0,6	0,36
Миристиновая C14:0 Myristic C14:0	0,7	0,52	0,59	0,35	0,48	0,18
Пальмитиновая C16:0 Palmitic C16:0	24,23	23,81	16,22	15,96	6,09	4,89
Пальмитолеиновая C16:1 Palmitoleic C16:1	0,4	0,12	0,36	0,1	0,3	0,05
Стеариновая C18:0 Stearic C18:0	7,76	7,76	13,48	15,57	21,41	34,35
Олеиновая C18:1 Oleic C18:1	34,6	33,21	36,75	36,44	36,4	28,58
Линолевая C18:2 Linoleic C18:2	29,41	33,15	28,59	31,0	29,48	29,47
Линоленовая C18:3 Linolenic C18:3	0,7	0,12	1,5	0,12	2,47	0
Арахидиновая C20:0 Arachidic C20:0	0,97	0,42	1,32	0,62	2,06	1,41
Гондоиновая C20:1 Gondoinovaya S20:1	0,32	0,15	0,24	0,18	0,14	0,09
Бегеновая C22:0 Begenovaya S22:0	0,4	0,38	0,4	0,37	0,45	0,42
Лигноцеридиновая C24:0 Lignoceric C24:0	0,12	0,16	0,12	0,17	0,13	0,2
Итого Total						
НЖК SFA	34,57	33,25	32,56	33,15	31,21	41,81
ПНЖК PSFA	35,32	33,48	37,35	36,72	36,84	28,72
ННЖК UFA	30,11	33,27	30,09	31,0	31,95	29,47

Таблица 3.

Жирынокислотный состав пилотных образцов (постановка смесей)

Table 3.

Fatty acid composition of pilot samples (formulation of mixtures)

Показатель Index	Баланс-2 Balance-2		Баланс-3 Balance-3		Баланс-4 Balance-4	
	до before	после пере и дезо after pere and deso	до before	после пере и дезо after pere and deso	до before	после пере и дезо after pere and deso
Т плавления, °C Melting temperature, °C	47,2	37,0	37,8	32,8	35,3	34,5
Йодное ч., г J ₂ /100г Iodine part, g J ₂ /100g	79,24	75,26	60,21	85,75	85,12	84,77
Перекисное ч., мэкв/кг Peroxide part, meq/kg	-	0,1	-	4,5	-	0,9
Кислотное ч., мгКОН/г Acid content, mgKOH/g	-	1,04	-	0,18	-	0,2
ТТГ, % 10 °C TSH, % 10 °C	50,8	25,8	19,3	17,0	17,4	14,4
ТТГ, % 20 °C TSH, % 20 °C	41,9	13,2	9,1	7,8	1,4	6,6
ТТГ, % 30 °C TSH, % 30 °C	20,2	9,0	4,6	3,0	0,1	2,5
ТТГ, % 35 °C TSH, % 35 °C	2,0	6,7	3,1	0,5	0,1	0,9

Чтобы полученные образцы жира можно было безопасно использовать в приготовлении кондитерских изделий, они были направлены на дезодорацию, которая проводилась на пилотных установках периодического действия. После дезодорации еще раз была проведена лабораторная экспертиза полученных образцов на показатели: Тпл, ЙЧ, ПЧ, КЧ, содержание ТТГ.

После изучения физико-химических свойств разработанных жиров, было принято решение выработать из двух производственных жиров «Эконат 2004» и «Эконат 3004–32» и очищенных пилотных образцов Баланс-2, Баланс-3,

Баланс-4 шоколадно-ореховую пасту по классической рецептуре. При выработке смотрели на технологические свойства жиров – текучесть, вязкость продукта, время застывания:

– «Эконат 3004–32» – самое быстрое время застывания, твердый при +18 °C, средняя вязкость готовой пасты при 50 °C;

– «Эконат 2004» – самое долгое время застывания, очень мягкий при +18 °C, средняя вязкость готовой пасты при 50 °C;

– Баланс-2 – быстрое время застывания, средней мягкости при +18 °C, самая высокая вязкость готовой пасты при 50 °C;

– Баланс-3 – среднее время застывания, мягкий при +18 °С, средняя вязкость готовой пасты при 50 °С;

– Баланс-4 – долгое время застывания, средней мягкости при +18 °С, низкая вязкость готовой пасты при 50 °С;

Было выработано по две баночки шоколадно-ореховой пасты из каждого образца, одна отправилась на окончательную кристаллизацию при +18 °С, другая при +3 °С, после 24 часов образцы были продегустированы комиссией и

определены основные органолептические показатели продукта. Образец КЖ Баланс-2 не пригоден для изготовления паст из-за своей высокой твердости, может подойти для конфет типа пралине, батончиков. Образцы КЖ Баланс-3 и Баланс-4 по своим свойствам расположены между производственными КЖ «Эконат 3004–32 и «Эконат 2004» и могут быть использованы в качестве жировой основы для получения паст, мягких начинок для конфет «Ассорти», полых вафель.

Таблица 4.

Органолептическая оценка образцов паст

able 4.

Organoleptic evaluation of paste samples

Название образца КЖ Name of QOL sample	Вкус и запах Taste and smell	Твердость Hardness		Интенсивность плавления/Салистость Melting intensity/Solidity
		при +3 °С at + 3 °С	при +18 °С at + 18 °С	
Эконат 3004–32 Econat 3004–32	7,0	4,5	3,6	4,5
Эконат 2004 Econat 2004	6,9	4,0	2,6	4,8
Баланс-2 Balance-2	5,2	6,2	5,3	3,4
Баланс-3 Balance-3	6,4	4,1	3,1	4,4
Баланс-4 Balance-4	6,3	4,1	2,9	4,3

Заключение

В работе предложена технология производства и рецептура кондитерского жира с заданным и сбалансированным жирнокислотным составом на основе растительных культур. В ходе обзора литературы было определено, что сбалансированным является жир, содержащий в себе по 33% насыщенных, моновенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот, а так же имеющий соотношение омега-3(линоленовая) к омега-6 (линолевая) в пределах от 1:4 до 1:10. Изучены существующие технологии производства специализированных жиров и маргаринов, выявлены преимущества и недостатки для каждой. На основе полученных знаний была составлена собственная технология производства кондитерских жиров путем смешивания с этапом внесения дополнительных ингредиентов, а также было выбрано оптимальное сырьё для производства кондитерских жиров со сбалансированным жирнокислотным составом. В экспериментальной части были получены три смеси жиров,

по предполагаемым рецептурам, которые были изучены в лаборатории. По полученным лабораторным показателям были откорректированы рецептуры кондитерских жиров и по итогам работы были выпущены пилотные образцы по 10 кг. Анализ пилотных образцов показал, что их жирнокислотный состав практически точно соответствует сбалансированному жирнокислотному составу (по 33% НЖК, МНЖК, ПНЖК). Так же анализ показал, существенные различия жиров по температуре плавления, содержанию твердых триглицеридов. После дезодорации из пилотных образцов были выработаны орехово-шоколадные пасты, проведена дегустация полученных образцов, сравнение с пастой на производственных кондитерских жирах марки «Эконат». По итогам дегустации и анализов, было определено две лучших рецептуры кондитерского жира со сбалансированным составом – рецептура 1 (Баланс-3) и рецептура 2 (Баланс-4). Кондитерский жир Баланс-2 (рецептура 3) не пригоден для использования в производстве паст и мягких начинок из-за своей высокой твердости.

Литература

- 1 Желтоухова Е.Ю., Тронза П.А., Терёхина А.В. Оптимизация технологии высоковязких жидких сред с использованием отходов масложировой промышленности // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2 (92). С. 152–161.
- 2 Шленская Т.В., Паронян В.Х., Восканян О.С. Перспективные способы производства жировых продуктов питания на основе традиционного и нетрадиционного сырья. М.: Пищепромиздат, 2003. 284 с.
- 3 Арутюнян Н.С., Корнена Е.П., Янова Л.Н. и др. Технология переработки жиров. М.: Пищепромиздат, 1998. 452 с.
- 4 Паронян В.Х., Шленская Т.В., Восканян О.С. Научные основы процессов жиропереработки. М.: Пищепромиздат, 2004. 192 с.
- 5 Zheltoukhova E.Y. et al. Development of technology and formulation of high-viscosity liquid media using by-products of the oil and fat industry // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2022. V. 1052. №. 1. P. 012088.

- 6 Желтоухова Е.Ю., Тронза П.А. Рецептуры кондитерского жира со сбалансированным жирнокислотным составом // X Международная научная конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Кемерово, 2022. С. 28–29.
- 7 Тронза П.А., Желтоухова Е.Ю. Разработка рецептуры кондитерского жира со сбалансированным жирнокислотным составом // Материалы студенческой научной конференции за 2022 год. 2022. С. 217–218.
- 8 Венникова Н.А., Скобельская З.Г., Бессараб А.В. Отечественный жир Эколад-11-заменитель какао-масла // Кондитерское производство. 2005. № 5. С. 25.
- 9 Григорьева В.Н., Лисицын А.Н. Смеси растительных масел – биологически ценные продукты // Масло-жировая промышленность. 2005. 210 с.
- 10 Padley F. B. Chocolate and confectionery fats // *Lipid technologies and applications*. Routledge, 2018. P. 391-432.
- 11 Talbot G. Fats for chocolate and sugar confectionery // *Fats in Food Technology* 2e. 2014. P. 169-211.
- 12 Haque Akanda M.J. et al. Hard fats improve the physicochemical and thermal properties of seed fats for applications in confectionery products // *Food Reviews International*. 2020. V. 36. №. 6. P. 601-625. doi: 10.1080/87559129.2019.1657443
- 13 Kalic M., Krstonosic V., Hadnadev M., Gregersen S.B. et al. Impact of different sugar and cocoa powder particle sizes on crystallization of fat used for the production of confectionery products: Particle size distribution influences fat crystallization // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2018. V. 42. №. 12. P. e13848. doi: 10.1111/jfpp.13848
- 14 West R., Rousseau D. The role of nonfat ingredients on confectionery fat crystallization // *Critical reviews in food science and nutrition*. 2018. V. 58. №. 11. P. 1917-1936. doi: 10.1080/10408398.2017.1286293
- 15 Caggia C., Palmeri R., Russo N., Timpone R. et al. Employ of citrus by-product as fat replacer ingredient for bakery confectionery products // *Frontiers in nutrition*. 2020. V. 7. P. 46. doi:10.3389/fnut.2020.00046
- 16 Tsakona S., Papadaki A., Kopsahelis N., Kachrimanidou V. et al. Development of a circular oriented bioprocess for microbial oil production using diversified mixed confectionery side-streams // *Foods*. 2019. V. 8. №. 8. P. 300. doi: 10.3390/foods8080300
- 17 Pilarska A.A., Wolna-Maruwka A., Boniecki P. et al. Use of confectionery waste in biogas production by the anaerobic digestion process // *Molecules*. 2018. V 24. №. 1. P. 37.
- 18 Talbot G. Specialty oils and fats in confectionery // *Specialty oils and fats in food and nutrition*. Woodhead Publishing, 2015. p. 221-239. doi: 10.1016/B978-1-78242-376-8.00009-0
- 19 Żbikowska A., Rutkowska J., Kowalska M. Consumption safety of pastries, confectioneries, and potato products as related to fat content // *Journal of the American College of Nutrition*. 2015. V. 34. №. 6. P. 507-514.
- 20 Edwards W.P. The science of sugar confectionery. Royal Society of Chemistry, 2018.

References

- 1 Zheltouhova E.Yu., Tronza P.A., Terekhova A.V. Optimization of the technology of high-viscosity liquid media using waste from the oil and fat industry. *Proceedings of VSUET*. 2022. vol. 84. no. 2 (92). pp. 152–161. (in Russian).
- 2 Shlenskaya T.V., Paronyan V.Kh., Voskanyan O.S. Promising methods for the production of fatty food products based on traditional and non-traditional raw materials. Moscow, Pishchepromizdat, 2003. 284 p. (in Russian).
- 3 Arutyunyan N.S., Kornena E.P., Yanova L.N. et al. Fat processing technology. Moscow, Pishchepromizdat, 1998. 452 p. (in Russian).
- 4 Paronyan V.Kh., Shlenskaya T.V., Voskanyan O.S. Scientific bases of fat processing processes. Moscow, Pishchepromizdat, 2004. 192 p. (in Russian).
- 5 Zheltoukhova E.Y. et al. Development of technology and formulation of high-viscosity liquid media using by-products of the oil and fat industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2022. vol. 1052. no. 1. pp. 012088.
- 6 Zheltouhova E.Yu., Tronza P.A. Formulations of confectionery fat with a balanced fatty acid composition. X International scientific conference of students, postgraduates and young scientists. Kemerovo, 2022. pp. 28–29. (in Russian).
- 7 Tronza P.A., Zheltouhova E.Yu. Development of a formulation of confectionery fat with a balanced fatty acid composition. *Proceedings of the student scientific conference for 2022*. 2022. pp. 217–218. (in Russian).
- 8 Vennikova N.A., Skobelskaya Z.G., Bessarab A.V. Domestic fat Ecolad 11 cocoa butter substitute. Confectionery production. 2005. no. 5. pp. 25. (in Russian).
- 9 Grigorieva V.N., Lisitsyn A.N. Mixtures of vegetable oils – biologically valuable products. Oil and fat industry. 2005. 210 p. (in Russian).
- 10 Padley F. B. Chocolate and confectionery fats. *Lipid technologies and applications*. Routledge, 2018. pp. 391-432.
- 11 Talbot G. Fats for chocolate and sugar confectionery. *Fats in Food Technology* 2e. 2014. pp. 169-211.
- 12 Haque Akanda M.J. et al. Hard fats improve the physicochemical and thermal properties of seed fats for applications in confectionery products. *Food Reviews International*. 2020. vol. 36. no. 6. pp. 601-625. doi: 10.1080/87559129.2019.1657443
- 13 Kalic M., Krstonosic V., Hadnadev M., Gregersen S.B. et al. Impact of different sugar and cocoa powder particle sizes on crystallization of fat used for the production of confectionery products: Particle size distribution influences fat crystallization. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2018. vol. 42. no. 12. pp. e13848. doi: 10.1111/jfpp.13848
- 14 West R., Rousseau D. The role of nonfat ingredients on confectionery fat crystallization. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2018. vol. 58. no. 11. pp. 1917-1936. doi: 10.1080/10408398.2017.1286293
- 15 Caggia C., Palmeri R., Russo N., Timpone R. et al. Employ of citrus by-product as fat replacer ingredient for bakery confectionery products. *Frontiers in nutrition*. 2020. vol. 7. pp. 46. doi:10.3389/fnut.2020.00046
- 16 Tsakona S., Papadaki A., Kopsahelis N., Kachrimanidou V. et al. Development of a circular oriented bioprocess for microbial oil production using diversified mixed confectionery side-streams. *Foods*. 2019. vol. 8. no. 8. pp. 300. doi: 10.3390/foods8080300
- 17 Pilarska A.A., Wolna-Maruwka A., Boniecki P. et al. Use of confectionery waste in biogas production by the anaerobic digestion process. *Molecules*. 2018. vol. 24. no. 1. pp. 37.

18 Talbot G. Specialty oils and fats in confectionery. Specialty oils and fats in food and nutrition. Woodhead Publishing, 2015. pp. 221-239. doi: 10.1016/B978-1-78242-376-8.00009-0

19 Żbikowska A., Rutkowska J., Kowalska M. Consumption safety of pastries, confectioneries, and potato products as related to fat content. Journal of the American College of Nutrition. 2015. vol. 34. no. 6. pp. 507-514.

20 Edwards W.P. The science of sugar confectionery. Royal Society of Chemistry, 2018.

Сведения об авторах

Екатерина Ю. Желтоухова к.т.н, доцент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, katsturova@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7463-9013>

Анастасия В. Терехина к.т.н, доцент, кафедра жиров, процессов и аппаратов химической и пищевой промышленности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gorbatova.nastia@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4433-9615>

Лариса А. Лобосова к.т.н, доцент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lobosova63@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7147-1297>

Максим А. Барбашин студент, кафедра жиров, процессов и аппаратов химической и пищевой промышленности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Юлия С. Щедрина студент, кафедра жиров, процессов и аппаратов химической и пищевой промышленности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

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 Yu. Zheltoukhova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food processing machines and apparatuses department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, katsturova@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7463-9013>

Anastasia V. Terekhina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fat, processes and devices of chemical and food industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia, gorbatova.nastia@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4433-9615>

Larisa A. Lobosova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia, lobosova63@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7147-1297>

Maxim A. Barbashin student, fat, processes and devices of chemical and food industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia

Yulia S. Shchedrina student, fat, processes and devices of chemical and food industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/07/2024	После редакции 17/07/2024	Принята в печать 17/08/2024
Received 01/07/2024	Accepted in revised 17/07/2024	Accepted 17/08/2024

Обзор рынка пищевых производств России

Алишер Ш. Субхонбердиев	¹	alisher-man@mail.ru	 0000-0002-9105-7875
Валерий А. Иванников	¹	ivannikov_vrn@mail.ru	 0000-0002-6652-3934
Ольга С. Сапрыкина	¹	olga.sergeevnaa@mail.ru	
Галина Н. Егорова	²	egorovahp@gmail.com	 0000-0002-9907-9649

¹ Воронежский государственный лесотехнический университет, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия

² Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Рынок производства продуктов питания является одним из ключевых компонентов экономики, который удовлетворяет потребности населения в продовольствии. В последние годы тенденции здорового образа жизни, повышение осведомленности потребителей о качестве продукции и устойчивое развитие привели к росту интереса к этой области. Основные направления анализа рынка пищевого производства включают исследования динамики инноваций в области производства, потребления, технологий и упаковки. Важным аспектом также является влияние глобальных изменений, таких как изменение климата и экономические и политические факторы, на доступность и стоимость продовольствия. На современные тенденции на рынке также влияет потребительский спрос на органические и экологически чистые продукты, что в результате побуждает сельскохозяйственные компании внедрять более устойчивые методы производства. Рынок также сталкивается с такими проблемами, как соблюдение стандартов безопасности пищевых продуктов, управление отходами и необходимость сохранения биоразнообразия. Поэтому рынок производства продуктов питания играет важную роль в обеспечении продовольственной безопасности, и его дальнейшее развитие требует комплексного подхода, который учитывает экономические, социальные и экологические факторы.

Ключевые слова: потребности населения, здоровый образ жизни, долгое развитие, инновации, органические продукты, пищевые продукты, продовольственная безопасность.

Overview of the russian food production market

Alisher S. Subhonberdiev	¹	alisher-man@mail.ru	 0000-0002-9105-7875
Valery A. Ivannikov	¹	ivannikov_vrn@mail.ru	 0000-0002-6652-3934
Olga S. Saprykina	¹	olga.sergeevnaa@mail.ru	
Galina N. Egorova	²	egorovahp@gmail.com	 0000-0002-9907-9649

¹ Voronezh state forestry engineering University, 8 Timiryazev str., Voronezh, 394087, Russia

² Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The food production market is one of the key components of the economy that meets the population's needs for food. In recent years, healthy lifestyle trends, increasing consumer awareness of product quality and sustainable development have led to increased interest in this area. The main areas of food production market analysis include research into the dynamics of innovations in production, consumption, technology and packaging. An important aspect is also the impact of global changes, such as climate change and economic and political factors, on the availability and cost of food. Current market trends are also influenced by consumer demand for organic and environmentally friendly products, which ultimately encourages agricultural companies to implement more sustainable production methods. The market also faces challenges such as compliance with food safety standards, waste management and the need to preserve biodiversity. Therefore, the food production market plays an important role in ensuring food security, and its further development requires an integrated approach that takes into account economic, social and environmental factors.

Keywords: population needs, healthy lifestyle, sustainable development, innovation, products, food safety, food security.

Введение

Пищевая промышленность занимает важное место в экономике большинства стран и играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности и удовлетворении потребностей населения в качественных и безопасных продуктах питания. В глобализованном мире, быстро меняющихся потребительских предпочтениях и технологических достижениях, этот сектор сталкивается со многими новыми проблемами и возможностями. Устойчивое развитие, экологичность и инновационные процессы становятся

важными факторами, определяющими конкурентоспособность компаний этой отрасли. Современные тенденции, такие как растущий интерес к здоровому образу жизни, потреблению органических и экологически чистых продуктов, возрастающая социальная озабоченность, соблюдение стандартов, безопасность, становятся все более важными для пищевых компаний. Стратегия и структура влияния. На быстро меняющемся рынке производители вынуждены адаптироваться к новым условиям, внедряя инновации в технологии, упаковке и контроле качества. Это требует

Для цитирования

Субхонбердиев А.Ш., Иванников В.А., Сапрыкина О.С., Егорова Г.Н. Обзор рынка пищевых производств России // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 146–151. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-146-151

For citation

Subhonberdiev A.Sh., Ivannikov V.A., Saprykina O.S., Egorova G.N. Overview of the russian food production market. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 146–151. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-146-151

комплексного подхода, учитывающего как экономические, так и социальные факторы, а также влияние глобальных изменений, таких как изменение климата и продовольственные кризисы.

Перерабатывающая и пищевая промышленность России являются важной частью агропромышленного комплекса (АПК) страны. Примерно 95% продуктов питания, потребляемых в России, производится внутри страны. На эти расходы люди тратят около трех четвертей своего дохода. Несмотря на стагнацию развития этой отрасли в период кризиса, пищевая промышленность России остается одной из стратегически важных отраслей экономики, на долю которой приходится около 15% общего производства продуктов питания. Это позволит обеспечить население всеми необходимыми продуктами питания. Пищевая промышленность России включает около 30 отраслей и более 60 видов производств, объединяющих более 22 тысяч предприятий, на которых занято около 2 миллионов человек.

В настоящее время дефицита продовольствия в России нет. В магазинах и крупных супермаркетах представлен широкий ассортимент продукции, и каждый потребитель может выбрать и приобрести продукцию по своему вкусу и финансовым возможностям. Эта отрасль имеет большой потенциал благодаря большой сырьевой базе, обеспечивающей обилие продуктов питания, производимых сельским хозяйством. Вся продукция отличается высоким качеством и завоевала доверие и признание не только среди россиян, но и на международной арене.

Сегодня российская пищевая промышленность стала приоритетным направлением развития. Основываясь на опыте зарубежных коллег, отечественные предприниматели активно экспериментируют с производством высококачественной продукции. Важным аспектом этого процесса является постоянный мониторинг и совершенствование всех технических процедур. Государство строго следит за соблюдением всех норм и стандартов, касающихся качества и безопасности продуктов питания.

В настоящее время российская пищевая промышленность состоит из нескольких тысяч предприятий с различной структурой собственности и масштабами производства. Продукты

питания становятся все более специализированными, поскольку большинство продуктов питания имеют ограниченный срок хранения. Это побудило производителей изучить новые и инновационные методы, позволяющие продлить свежесть своей продукции.

Многие западные производители ушли из России, вынудив отечественные компании искать альтернативу на внутреннем рынке. Хотя производство в России увеличивается, его объемы все еще недостаточны для удовлетворения растущего спроса, особенно с учетом необходимости модернизации оборудования, износ которого может превышать 70%.

По мнению экспертов, основными факторами роста являются инвестиции в расширение и модернизацию производства, разработку нового оборудования, постоянное улучшение качества отечественной продукции, а также эффективные меры государственной поддержки. В 2023 году экспорт оборудования для пищевой и перерабатывающей промышленности снизился на 32% по сравнению с предыдущим годом, достигнув 11 млрд рублей. По мнению «Роспецмаша», это связано с поворотом на новые рынки, находящиеся под санкциями. Российские производители выразили обеспокоенность резким увеличением импорта. К 2022 году стоимость поставок оборудования для пищевой и перерабатывающей промышленности из-за рубежа в Россию увеличится на 107%, до 140 млрд рублей, что негативно отразится на доле российского производства на внутреннем рынке.

Методы

На 2022 год выпуск оборудования в России достиг 32,25 млрд рублей и увеличился на 11%, в частности, для производства продуктов питания, а так же напитков и табачных изделий.

Наибольший рост зафиксирован по следующим видам оборудования:

- На переработку и переработку молока – 33%.
- На измельчение и переработку зерна или сушеных овощей – 27%.
- Виноделие, производство сидра, фруктовых соков и аналогичных напитков – 11%.

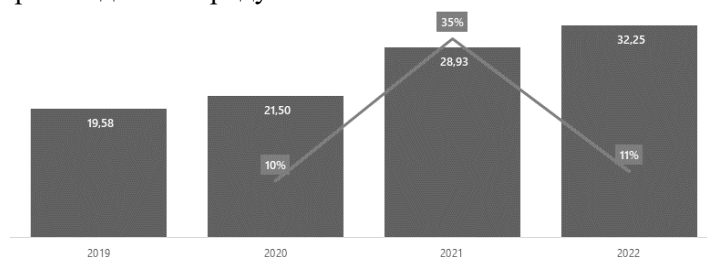


Рисунок 1. Тенденции производства оборудования для производства продуктов питания, напитков и табачных изделий в России в 2019–2022 гг., без учета запчастей, 1 млрд руб

Figure 1. Trends in production of equipment for food, beverages and tobacco products in Russia in 2019-2022, excluding spare parts, 1 bln RUB

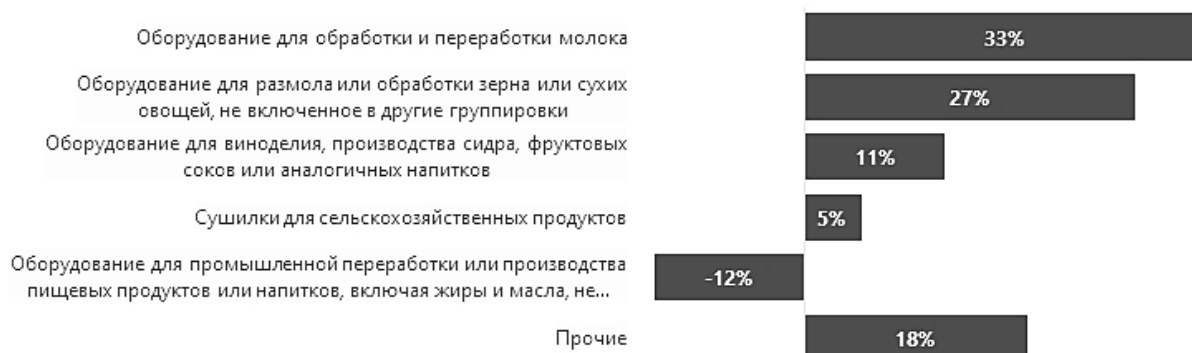


Рисунок 2. Динамика производства оборудования для пищевой промышленности по категориям

Figure 2. Dynamics of food processing equipment production by category

Несмотря на сокращение предложения по всем категориям товаров, уровень импорта по-прежнему превышает внутреннее производство. Наиболее существенное снижение зафиксировано в секторе сушилок для сельскохозяйственной продукции и в секторе оборудования для измельчения и переработки зерна и сушеных овощей.

сировано в секторе сушилок для сельскохозяйственной продукции и в секторе оборудования для измельчения и переработки зерна и сушеных овощей.

Таблица 1.

Тенденции импорта оборудования для пищевой промышленности и табачных изделий в 2019–2022 гг. (млрд руб.)

Table 1.

Trends in imports of food processing equipment and tobacco products in 2019-2022 (RUB bln)

Категория	2019	2020	2021	2022
Оборудование для обработки и переработки молока Equipment for handling and processing milk	4,48	6,60	4,18	3,64
Оборудование для размолки или обработки зерна или сухих овощей, не включенное в другие группировки Equipment for milling or processing grain or dried vegetables, not included in other groupings	0,13	0,11	0,21	0,01
Оборудование для виноделия, производства сидра, фруктовых соков или аналогичных напитков Equipment for winemaking, production of cider, fruit juice or similar beverages	0,51	1,27	0,70	0,37
Сушилки для сельскохозяйственных продуктов Dryers for agricultural products	1,39	3,06	2,65	-
Оборудование для промышленной переработки или производства пищевых продуктов или напитков, включая жиры и масла, не включенное в другие группировки Equipment for industrial processing or production of foodstuffs or beverages, including fats and oils, not included in other groupings.	37,39	51,14	42,23	30,20
Прочие Other	16,05	12,87	13,31	6,34
Итого Total	59,95	75,04	50,21	40,56

Снижение экспорта в этот период было куда более существенным: 67% против 36%, благодаря чему было обеспечено увеличение предложения на внутреннем рынке.

Таблица 2.

Тенденции экспорта оборудования для пищевой промышленности и табачных изделий в 2019–2022 гг. (млрд руб.).

Table 2.

Trends in exports of food processing equipment and tobacco products in 2019-2022 (RUB bln).

Категория	2019	2020	2021	2022
Оборудование для обработки и переработки молока Equipment for handling and processing milk	0,46	0,67	0,51	0,19
Оборудование для размолки или обработки зерна или сухих овощей, не включенное в другие группировки Equipment for milling or processing grain or dried vegetables, not included in other groupings	1,97	1,37	1,93	1,08
Оборудование для виноделия, производства сидра, фруктовых соков или аналогичных напитков Equipment for winemaking, production of cider, fruit juice or similar beverages	0,06	0,02	0,01	0,00
Сушилки для сельскохозяйственных продуктов Dryers for agricultural products	0,17	0,21	0,35	0,01
Оборудование для промышленной переработки или производства пищевых продуктов или напитков, включая жиры и масла, не включенное в другие группировки Equipment for industrial processing or production of foodstuffs or beverages, including fats and oils, not included in other groupings.	1,68	1,87	2,06	0,38
Прочие Other	2,03	1,50	1,83	0,52
Итого Total	6,37	5,64	6,69	2,19

На основе данных из проведенного выше анализа мы можем использовать следующую формулу, чтобы оценить объем рынка:

$$\text{Объем рынка} = \text{Производство} - \text{Экспорт} + \text{Импорт}$$

По оценкам, объем рынка продукта по итогам года составил 70,63 млрд руб., что

на 17% меньше, чем в 2021 году. Данное снижение обусловлено как снижением объемов импорта, так и отсутствием российских производственных мощностей. Такие данные указывают на потенциал развития рынка и необходимость усиления процесса импортозамещения в отрасли.

Таблица 3.

Рыночные тенденции оборудования для промышленности: пищевой и табачных изделий в 2019–2022 годах, в млрд руб

Table 3.

Market trends in equipment for food and tobacco industries in 2019-2022, RUB bln

Категория	2019	2020	2021	2022
Оборудование для обработки и переработки молока Equipment for handling and processing milk	5,95	7,88	5,74	6,20
Оборудование для размола или обработки зерна или сухих овощей, не включенное в другие группировки Equipment for milling or processing grain or dried vegetables, not included in other groupings	1,34	1,79	1,80	3,39
Оборудование для виноделия, производства сидра, фруктовых соков или аналогичных напитков Equipment for winemaking, production of cider, fruit juice or similar beverages	0,61	1,34	0,80	0,49
Сушилки для сельскохозяйственных продуктов Dryers for agricultural products products	2,37	5,09	6,01	3,88
Оборудование для промышленной переработки или производства пищевых продуктов или напитков, включая жиры и масла, не включенное в другие группировки Equipment for industrial processing or production of foodstuffs or beverages, including fats and oils, not included in other groupings.	40,06	54,36	46,87	35,71
Прочие Other	22,83	20,42	24,30	20,96
Итого Total	73,15	90,89	85,52	70,63

Заключение

Эксперты отмечают, что доля устаревшего оборудования в пищевой и перерабатывающей промышленности России составляет 58%. По данным Московского государственного университета пищевых производств (МГУПП), уровень износа основных фондов при производстве масложировой

продукции достигает 83% в сахарной отрасли и 86% в мясной отрасли. 71% в рыбной промышленности и 75% в молочной и хлебопекарной промышленности. Поэтому задача обеспечения отечественного производства достаточного количества оборудования становится еще более важной.

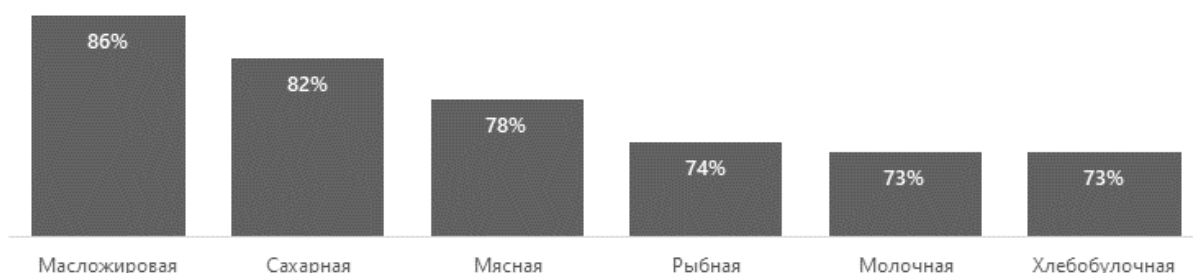


Рисунок 3. Износ оборудования в различных сегментах пищевой промышленности

Figure 3. Depreciation of equipment in various segments of the food processing industry

Без государственной поддержки решить эту проблему невозможно. В соответствии с планами Правительства РФ в рамках базового сценария развития в период с 2025 по 2035 год планируется увеличить долю отечественных предприятий на внутреннем рынке с 47% до 69%. Машиностроение в пищевой и перерабатывающей промышленности. В качестве стимула предусмотрены субсидии на различные расходы, связанные

с исследованиями и разработками, лизингом, транспортировкой и т. д. Кроме того, планируются конкретные меры по изменению нормативной базы, поддержке экспорта и помощи российским производителям, столкнувшимся с трудностями. Это важная миссия, которая напрямую связана с обеспечением продовольственной безопасности страны.

Литература

- 1 Головнев Д., Веденецкая И. Брендинг молочных продуктов // Молочная промышленность. 2020. №. 1. С. 24-25.
- 2 Топникова Е.В., Рогов Г.Н. Сыроделие и маслоделие сегодня: проблемы и возможные пути их решения. 2022.
- 3 Рынок оборудования для пищевой промышленности в новой реальности: нужно ускорять импортозамещение. URL: https://www.megaresearch.ru/new_reality/rynok-oborudovaniya-dlya-pischevoy-promyshlennosti-v-novoy-realnosti-nuzhno-uskoryat-importozameschenie
- 4 Производство пищевого оборудования в России увеличится в 2023 году на 28%. URL: <https://milknews.ru/index/oborudovanie-rost-proizvodstvo.html>
- 5 Юрова Е.А. Контроль качества и безопасности продуктов функциональной направленности на молочной основе // Молочная промышленность. 2020. №. 6. С. 12-15.
- 6 Пищевая промышленность России URL: <https://www.agroprod mash-expo.ru/ru/articles/pishchevaya-promyshlennost-rossii/>
- 7 Степанов К.М. и др. Безотходная переработка молочного сырья // Молочная промышленность. 2020. №. 2. С. 43-45.
- 8 Бегунова А.В. и др. Антимикробные свойства *Lactobacillus* в кисломолочных продуктах // Молочная промышленность. 2020. №. 6. С. 22.
- 9 Радионова А.В. Анализ состояния и перспектив развития российского рынка функциональных напитков // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2014. №. 1. С. 22.
- 10 Александрова Е.Н., Сташ Р.И. Обзор современных проблем и тенденций развития отрасли пищевой промышленности России // Экономика устойчивого развития. 2018. №. 4. С. 99-102.
- 11 Suhag R., Kumar N., Petkoska A.T., Upadhyay A. Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review // Food Research International. 2020. V. 136. P. 109582. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109582
- 12 Specht K., Siebert R., Hartmann I., Freisinger U.B. et al. Urban agriculture of the future: an overview of sustainability aspects of food production in and on buildings // Agriculture and human values. 2014. V. 31. P. 33-51. doi: 10.1007/s10460-013-9448-4
- 13 Vigani M., Parisi C., Rodríguez-Cerezo E., Barbosa M.J. et al. Food and feed products from micro-algae: Market opportunities and challenges for the EU // Trends in Food Science & Technology. 2015. V. 42. №. 1. P. 81-92. doi: 10.1016/j.tifs.2014.12.004
- 14 Caporgno M.P., Mathys A. Trends in microalgae incorporation into innovative food products with potential health benefits // Frontiers in nutrition. 2018. V. 5. P. 58. doi: 10.3389/fnut.2018.00058
- 15 Borsellino V., Schimmenti E., El Bilali H. Agri-food markets towards sustainable patterns // Sustainability. 2020. V. 12. №. 6. P. 2193. doi: 10.3390/su12062193
- 16 Watts D.C.H., Ilbery B., Maye D. Making reconnections in agro-food geography: alternative systems of food provision // The rural. 2017. P. 165-184.
- 17 Asioli D. et al. Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications // Food Research International. 2017. V. 99. P. 58-71. doi: 10.1016/j.foodres.2017.07.022
- 18 Sekhon B.S. Nanotechnology in agri-food production: an overview // Nanotechnology, science and applications. 2014. P. 31-53.
- 19 Moye Z.D., Woolston J., Sulakvelidze A. Bacteriophage applications for food production and processing // Viruses. 2018. V. 10. №. 4. P. 205. doi: 10.3390/v10040205
- 20 Eigenbrod C., Gruda N. Urban vegetable for food security in cities. A review // Agronomy for Sustainable Development. 2015. V. 35. P. 483-498. doi: 10.1126/science.1239402

References

- 1 Golovnev D., Vedenetskaya I. Branding of dairy products. Dairy industry. 2020. no. 1. pp. 24-25. (in Russian).
- 2 Topnikova E.V., Rogov G.N. Cheese and butter making today: problems and possible solutions. 2022. (in Russian).
- 3 The food industry equipment market in the new reality: we need to accelerate import substitution. Available at: https://www.megaresearch.ru/new_reality/rynok-oborudovaniya-dlya-pischevoy-promyshlennosti-v-novoy-realnosti-nuzhno-uskoryat-importozameschenie (in Russian).
- 4 Food equipment production in Russia will increase by 28% in 2023. Available at: <https://milknews.ru/index/oborudovanie-rost-proizvodstvo.html> (in Russian).
- 5 Yurova E.A. Quality and safety control of functional dairy-based products. Dairy industry. 2020. no. 6. pp. 12-15. (in Russian).
- 6 Food industry of Russia. Available at: <https://www.agroprod mash-expo.ru/ru/articles/pishchevaya-promyshlennost-rossii/> (in Russian).
- 7 Stepanov K.M. et al. Waste-free processing of dairy raw materials. Dairy industry. 2020. no. 2. pp. 43-45. (in Russian).
- 8 Begunova A.V. et al. Antimicrobial properties of *Lactobacillus* in fermented milk products. Dairy industry. 2020. no. 6. pp. 22. (in Russian).
- 9 Radionova A.V. Analysis of the state and development prospects of the Russian functional beverage market. Scientific journal of NRU ITMO. Series "Processes and equipment of food production". 2014. no. 1. pp. 22. (in Russian).
- 10 Aleksandrova E.N., Stash R.I. Review of modern problems and trends in the development of the food industry in Russia. Economics of sustainable development. 2018. no. 4. pp. 99-102. (in Russian).
- 11 Suhag R., Kumar N., Petkoska A.T., Upadhyay A. Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. Food Research International. 2020. vol. 136. pp. 109582. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109582
- 12 Specht K., Siebert R., Hartmann I., Freisinger U.B. et al. Urban agriculture of the future: an overview of sustainability aspects of food production in and on buildings. Agriculture and human values. 2014. vol. 31. pp. 33-51. doi: 10.1007/s10460-013-9448-4
- 13 Vigani M., Parisi C., Rodríguez-Cerezo E., Barbosa M.J. et al. Food and feed products from micro-algae: Market opportunities and challenges for the EU. Trends in Food Science & Technology. 2015. vol. 42. no. 1. pp. 81-92. doi: 10.1016/j.tifs.2014.12.004
- 14 Caporgno M.P., Mathys A. Trends in microalgae incorporation into innovative food products with potential health benefits. Frontiers in nutrition. 2018. vol. 5. pp. 58. doi: 10.3389/fnut.2018.00058

- 15 Borsellino V., Schimmenti E., El Bilali H. Agri-food markets towards sustainable patterns. Sustainability. 2020. vol. 12. no. 6. pp. 2193. doi: 10.3390/su12062193
- 16 Watts D.C.H., Ilbery B., Maye D. Making reconnections in agro-food geography: alternative systems of food provision. The rural. 2017. pp. 165-184.
- 17 Asioli D. et al. Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. Food Research International. 2017. vol. 99. pp. 58-71. doi: 10.1016/j.foodres.2017.07.022
- 18 Sekhon B.S. Nanotechnology in agri-food production: an overview. Nanotechnology, science and applications. 2014. pp. 31-53.
- 19 Moye Z.D., Woolston J., Sulakvelidze A. Bacteriophage applications for food production and processing. Viruses. 2018. vol. 10. no. 4. pp. 205. doi: 10.3390/v10040205
- 20 Eigenbrod C., Gruda N. Urban vegetable for food security in cities. A review. Agronomy for Sustainable Development. 2015. vol. 35. pp. 483-498. doi: 10.1126/science.1239402

Сведения об авторах

Алишер Ш. Субхонбердиев к.э.н., доцент, кафедра мировой и национальной экономики, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия, alisher-man@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-9105-7875>

Валерий А. Иванников студент, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия, ivannikov_vrn@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6652-3934>

Ольга С. Сапрыкина студент, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия, olga.sergeevnaa@mail.ru

Галина Н. Егорова к.п.н, доцент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394000, Россия, egorovahp@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9907-9649>

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

Alisher S. Subhonberdiev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, world and national economics departments, Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, Timiryazeva 8, Voronezh, 394087, Russia, alisher-man@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9105-7875>

Valery A. Ivannikov student, Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, Timiryazeva 8, Voronezh, 394087, Russia, ivannikov_vrn@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6652-3934>

Olga S. Saprykina student, Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, Timiryazeva 8, Voronezh, 394087, Russia, olga.sergeevnaa@mail.ru

Galina N. Egorova Cand. Sci. (Ped.), associate professor, industrial ecology and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, 394000, Russia, egorovahp@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9907-9649>

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 15/07/2024	После редакции 01/08/2024	Принята в печать 21/08/2024
Received 15/07/2024	Accepted in revised 01/08/2024	Accepted 21/08/2024

Лебеда как биологически активная добавка в продуктах питания: химический состав, свойства и перспективы использования

Наталья П. Деркачева	1	npetrovaderkacheva@mail.ru	 0009-0009-2940-2023
Лариса А. Новикова	1	novikovalarisa1307@gmail.com	 0009-0005-7723-589X
Светлана В. Недомолкина	1	lane.nedomolkina@mail.ru	 0009-0005-7269-6742
Анна А. Дерканосова	1	aa-derk@ya.ru	 0000-0002-9726-9262
Галина Н. Егорова	1	egorovahp@gmail.com	 0000-0002-9907-9649
Елена Е. Курчаева	2	alena.kurchaeva@ya.ru	 0000-0001-5958-0909

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

2 Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, улица Мичурина, 1 Воронеж, 394087, Россия, alena.kurchaeva@ya.ru

Аннотация. Лебеда (*Chenopodium album*) — однолетнее растение семейства Амарантовые, богатое питательными веществами, используется как биологически активная добавка в пищевые продукты. Это неприхотливое растение содержит витамины А, С, группы В, минералы (кальций, железо, магний) и антиоксиданты (флавоноиды и фенольные соединения), которые поддерживают иммунитет, улучшают пищеварение и обладают противовоспалительными свойствами. Семена лебеды содержат больше белка и сложных углеводов, чем листья, что делает их отличным источником питания для поддержания мышечной массы и нормализации работы ЖКТ. Пророщенные семена лебеды повышают биодоступность питательных веществ и активных ферментов, что способствует улучшению пищеварения и антиоксидантной защите. Лебеда нашла применение в кулинарии — свежие листья добавляют в салаты и супы, а семена перемалывают в муку для выпечки. Однако стоит учитывать высокое содержание оксалатов и нитратов в растении, что требует умеренности в употреблении и термической обработки. Лебеда используется также в народной медицине для улучшения пищеварения, заживления ран и как диуретик. Несмотря на широкие возможности использования, лебеда требует дальнейших исследований для подтверждения её лечебных свойств и влияния на здоровье человека при долгосрочном употреблении.

Ключевые слова: лебеда, семена лебеды, БАД, лечебные свойства, продукты питания.

Quinoa as a biologically active additive in food: chemical composition, properties and prospects of use

Natalia P. Derkacheva	1	npetrovaderkacheva@mail.ru	 0009-0009-2940-2023
Larisa A. Novikova	1	novikovalarisa1307@gmail.com	 0009-0005-7723-589X
Svetlana V. Nedomolkina	1	lane.nedomolkina@mail.ru	 0009-0005-7269-6742
Anna A. Derkanosova	1	aa-derk@ya.ru	 0000-0002-9726-9262
Galina N. Egorova	1	egorovahp@gmail.com	 0000-0002-9907-9649
Elena E. Kurchaeva	2	alena.kurchaeva@ya.ru	 0000-0001-5958-0909

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

2 Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina Street, 1 Voronezh, 394087, Russia

Abstract. Quinoa (*Chenopodium album*) is an annual plant of the Amaranth family, rich in nutrients, used as a biologically active additive in food products. This unpretentious plant contains vitamins A, C, group B, minerals (calcium, iron, magnesium) and antioxidants (flavonoids and phenolic compounds) that support the immune system, improve digestion and have anti-inflammatory properties. Quinoa seeds contain more protein and complex carbohydrates than leaves, which makes them an excellent source of nutrition for maintaining muscle mass and normalizing the digestive tract. Sprouted quinoa seeds increase the bioavailability of nutrients and active enzymes, which helps improve digestion and antioxidant protection. Quinoa has found use in cooking — fresh leaves are added to salads and soups, and the seeds are ground into flour for baking. However, it is worth considering the high content of oxalates and nitrates in the plant, which requires moderation in use and thermal treatment.

Keywords: quinoa, quinoa seeds, dietary supplement, medicinal properties, food products.

Для цитирования

Деркачева Н.П., Новикова Л.А., Недомолкина С.В., Дерканосова А.А., Егорова Г.Н., Курчаева Е.Е. Лебеда как биологически активная добавка в продуктах питания: химический состав, свойства и перспективы использования // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 152–157. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-152-157

For citation

Derkacheva N.P., Novikova L.A., Nedomolkina S.V., Derkanosova A.A., Egorova G.N., Kurchaeva E.E. Quinoa as a biologically active additive in food: chemical composition, properties and prospects of use. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 152–157. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-152-157

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

Введение

Материалы и методы

Лебеда обыкновенная (лат. *Chenopodium album*), известная также как белая марь, является ценным растением с богатым химическим составом и потенциальными лечебными свойствами. Благодаря высокому содержанию белков, витаминов, минералов и антиоксидантов, лебеда рассматривается как перспективная биологически активная добавка в продукты питания. В данной статье представлены ботаническое описание растения, его химический состав, пищевые и лечебные свойства, а также способы использования лебеды в пищевой промышленности и кулинарии.

Лебеда обыкновенная представляет собой однолетнее травянистое растение высотой от 10 до 150 см. Стебель прямостоячий, ветвистый, часто покрыт беловатым мучнистым налетом. Листья очередные, треугольно-яйцевидные или ромбические, длиной 3–7 см, с зубчатым или волнистым краем. Верхняя сторона листа зелёная, нижняя может иметь белый или сероватый налёт [1–3].

Цветки мелкие, зелёного цвета, собраны в плотные колосовидные соцветия. Цветение происходит с июня по сентябрь. Плоды – мелкие семечки с чёрными или тёмно-коричневыми блестящими семенами. Корневая система стержневая, хорошо развита, что позволяет растению выдерживать засушливые условия [4].

Исторически лебеда использовалась в питании и народной медицине благодаря своим питательным и лечебным свойствам. В современном мире растёт интерес к использованию лебеды как биологически активной добавки в продукты питания, что обусловлено ее богатым химическим составом и полезными свойствами.

Цель работы – структурировать и обобщить информацию о лебеде как потенциальной биологически активной добавке, рассмотрев ее ботанические характеристики, химический состав, пищевые и лечебные свойства, а также возможные способы применения в пищевой промышленности.

Для анализа пищевой и лечебной ценности лебеды были изучены следующие параметры: химический состав, аминокислотный профиль, антиоксидантная активность и влияние различных частей растения на здоровье человека. Эксперименты проводились на основе анализа литературных данных и лабораторных исследований.

Химический состав. Лебеда богата разнообразными питательными веществами:

Белки и углеводы: Содержание белка в листьях составляет около 4–5 г на 100 г продукта. Углеводы представлены клетчаткой, способствующей нормализации пищеварения [5]. В 100 граммах свежей лебеды содержится приблизительно 3 грамма клетчатки.

Витамины: Листья содержат витамины А, С, группы В (В₁, В₂, В₃, В₆) и фолиевую кислоту (В₉), которые участвуют в метаболических процессах и поддерживают иммунную систему.

Минералы: кальций, железо, магний, калий, фосфор, цинк и медь – важные элементы для функционирования организма.

Другие компоненты: антиоксиданты (флавоноиды, фенольные соединения), сапонины и небольшое количество омега-3 жирных кислот.

Пищевые свойства: высокое содержание белка и клетчатки делает лебеду ценным продуктом для диетического питания. Антиоксиданты в составе защищают клетки от окислительного стресса.

Лечебные свойства: обладает противовоспалительным действием, диуретическим эффектом, улучшает пищеварение и способствует заживлению ран при наружном применении [6–15].

Лебеда может использоваться в различных формах: свежие листья добавляются в салаты, бутерброды или используются в приготовлении супов и рагу, аналогично шпинату; измельченные семена используются для приготовления муки, добавляемой в хлебобулочные изделия, блинчики или каши; пророщенные семена добавляются в салаты и смузи, повышая их питательную ценность.

Химический состав и полезные свойства различных частей лебеды

Table 1.

Продукт Product	Химический состав Chemical composition	Полезные свойства Useful properties
Листья лебеды Quinoa leaves	Белки, витамины А, С, К, группы В, минералы Proteins, vitamins A, C, K, B groups, minerals	Антиоксидантное действие, укрепление иммунной системы Antioxidant effect, strengthening the immune system
Семена лебеды Quinoa seeds	Высокое содержание белка, сложные углеводы, жирные кислоты High protein content, complex carbohydrates, fatty acids	Поддержка мышечной массы, улучшение работы ЖКТ Support of muscle mass, improvement of the gastrointestinal tract
Пророщенные семена Germinated seeds	Повышенная биодоступность витаминов и антиоксидантов Increased bioavailability of vitamins and antioxidants	Улучшение усвоения питательных веществ, антиоксидантная защита Improved absorption of nutrients, antioxidant protection
Мука из лебеды Quinoa flour	Белки, пищевые волокна, витамины и минералы Proteins, dietary fibers, vitamins and minerals	Альтернатива безглютеновой муке, поддержка уровня энергии An alternative to gluten-free flour, energy support

Аминокислотный состав листьев и семян лебеды (г на 100 г. белка)

Table 2.

Amino acid composition of quinoa leaves and seeds (g per 100 g of protein)

Аминокислота Amino Acid	Семена (г) Seeds (g)	Листья (г) Leaves (g)	Разница (г) Difference (g)	Комментарий Comment
Лизин Lysine	5.5	6.0	+0.5	В листьях больше лизина There is more lysine in the leaves
Метионин Methionine	2.2	1.5	-0.7	В семенах больше метионина There is more methionine in the seeds
Цистин Cystine	1.6	1.8	+0.2	Немного больше в листьях A little more in the leaves
Фенилаланин Phenylalanine	4.6	5.0	+0.4	В листьях немного больше There is a little more in the leaves
Тирозин Tyrosine	3.8	4.0	+0.2	В листьях немного больше тирозина There is a little more tyrosine in the leaves
Лейцин Leucine	7.0	7.5	+0.5	В листьях больше лейцина There is more leucine in the leaves
Изолейцин Isoleucine	4.5	4.8	+0.3	В листьях немного больше излейцина There is a little more iseucine in the leaves
Треонин Threonine	4.0	4.2	+0.2	В листьях немного больше треонина There is a little more threonine in the leaves
Валин Valin	5.0	5.5	+0.5	В листьях больше валина There is more valine in the leaves
Гистидин Histidine	2.7	2.9	+0.2	В листьях немного больше гистидина There is a little more histidine in the leaves
Триптофан Tryptophan	1.2	1.3	+0.1	В листьях немного больше триптофоана There is a little more tryptophan in the leaves
Итого незаменимых аминокислот Total essential amino acids	42.1	44.5	+2.4	Общее содержание выше в листьях The total content is higher in the leaves

Для расчета аминокислотного сора (ААС) необходимо сравнить содержание незаменимых аминокислот в исследуемых продуктах (семенах и листьях) с эталонным аминокислотным составом, установленным FAO/WHO для взрослых. Эталонные значения представлены в мг на грамм белка и для удобства сравнения будут пересчитаны в граммы на 100 г белка.

Все аминокислотные скоры превышают 100%, что свидетельствует о том, что как семена, так и листья являются отличными источниками незаменимых аминокислот.

Листья имеют более высокие ААС по большинству аминокислот, что указывает на более богатый аминокислотный профиль.

Метионин + Цистин: Семена имеют более высокий ААС (173%) по сравнению с листьями (150%), что делает их более ценными по содержанию серосодержащих аминокислот.

Оба продукта могут использоваться в качестве источников высококачественного белка в рационе питания [16–21].

Расчет аминокислотного сора показал, что и семена, и листья содержат все незаменимые аминокислоты в количествах, превышающих эталонные значения. Это свидетельствует о высокой биологической ценности белков этих продуктов и их значимости в питании человека.

Общее содержание незаменимых аминокислот в листьях лебеды выше на 2.4 г. по сравнению с семенами, что свидетельствует о более богатом аминокислотном профиле листьев.

Листья лебеды имеют более высокое содержание большинства незаменимых аминокислот, включая лизин, лейцин, фенилаланин и валин. Это делает их ценным источником белка для рациона.

Метионин является единственной аминокислотой, которая в большем количестве содержится в семенах. Это важно учитывать при составлении диеты, особенно для вегетарианцев и веганов.

Незначительные различия в содержании цистина, тирозина, изолейцина, треонина, гистидина и триптофана могут быть обусловлены естественной вариабельностью и не оказывают существенного влияния на общий аминокислотный профиль.

Сочетание семян и листьев лебеды в рационе может обеспечить более сбалансированное поступление всех незаменимых аминокислот.

Для увеличения потребления метионина, если вы предпочитаете листья, можно добавить в рацион другие продукты, богатые этой аминокислотой, например, бобовые или орехи.

Листья лебеды могут быть особенно полезны для тех, кто ищет растительные источники белка с высоким содержанием незаменимых аминокислот.

Для расчета аминокислотного сора (ААС) необходимо сравнить содержание незаменимых аминокислот в исследуемых продуктах (семенах и листьях) с эталонным аминокислотным составом, установленным FAO/WHO для взрослых. Эталонные значения представлены в мг на грамм белка и для удобства сравнения были пересчитаны в граммы на 100 г белка.

Все аминокислотные скоры превышают 100%, что свидетельствует о том, что как семена, так и листья являются отличными источниками незаменимых аминокислот.

Листья имеют более высокие ААС по большинству аминокислот, что указывает на более богатый аминокислотный профиль.

Метионин + Цистин : Семена имеют более высокий ААС (173%) по сравнению с листьями (150%), что делает их более ценными по содержанию серосодержащих аминокислот.

Оба продукта могут использоваться в качестве источников высококачественного белка в рационе питания.

Расчет аминокислотного сора показал, что и семена, и листья содержат все незаменимые аминокислоты в количествах, превышающих эталонные значения. Это свидетельствует о высокой биологической ценности белков этих продуктов и их значимости в питании человека.

Сравнительный анализ антиоксидантной активности семян и листьев лебеды

Table 3.

Параметр Parameter	Семена лебеды Quinoa seeds	Листья лебеды Quinoa leaves
Общая антиоксидантная активность Total antioxidant activity	Умеренная Moderate	Высокая High
Содержание фенольных соединений Content of phenolic compounds	Среднее Average	Высокое High
Содержание флавоноидов Content of flavonoids	Низкое Low	Высокое High
Витамины с антиоксидантными свойствами Vitamins with antioxidant properties	Витамин E Vitamin E	Витамины C и A Vitamins C and A

Согласно представленным данным, листья лебеды обладают более высокой антиоксидантной активностью по сравнению с семенами. Это выражается в следующих показателях.

Общее содержание антиоксидантов в листьях выше, что обусловлено высоким содержанием фенольных соединений и флавоноидов.

Листья богаты витаминами С и А, которые являются мощными антиоксидантами, тогда как семена содержат преимущественно витамин Е.

Фенольные соединения и флавоноиды в листьях значительно превышают их содержание в семенах, что усиливает антиоксидантные свойства листьев.

Употребление листьев лебеды может быть более эффективным для защиты организма от окислительного стресса и борьбы со свободными радикалами.

Семена лебеды, несмотря на более низкую антиоксидантную активность, остаются ценным источником масел и белков, дополняя рацион необходимыми питательными веществами.

Заключение

Лебеда обыкновенная представляет собой ценное растение с богатым химическим составом и разнообразными полезными свойствами.

Ее листья и семена могут использоваться в пищевой промышленности и кулинарии для обогащения рациона белками, витаминами, минералами и антиоксидантами. Сочетание различных частей лебеды в питании способствует полноценному поступлению необходимых питательных веществ.

При использовании лебеды важно учитывать возможные предостережения, связанные с содержанием оксалатов и нитратов, и придерживаться рекомендаций по умеренному потреблению и правильной обработке растения.

Дальнейшее изучение лебеды может открыть новые возможности ее применения в медицине и пищевой промышленности, включая разработку функциональных продуктов питания и биологически активных добавок.

Если вы планируете включить лебеду в свой рацион. Начинать с небольших порций: 50–100 граммов свежих листьев в день. Термическая обработка: Приготовление на пару или варка могут снизить содержание вредных веществ. Разнообразие питания: не ограничивайтесь одним видом зелени; сочетайте лебеду с другими овощами и зеленью.

Литература

1 Mohamed Ahmed I.A., Al Juhaimi F., Özcan M.M. Insights into the nutritional value and bioactive properties of quinoa (Chenopodium quinoa): past, present and future prospective // International Journal of Food Science & Technology. 2021. V. 56. №. 8. P. 3726–3741.

2 Zaini N.S.M. et al. Enhancing the nutritional profile of vegan diet: A review of fermented plant-based milk as a nutritious supplement // Journal of Food Composition and Analysis. 2023. P. 105567.

3 Abdelshafy A.M., Rashwan A.K., Osman A.I. Potential food applications and biological activities of fermented quinoa: a review // Trends in Food Science & Technology. 2024. P. 104339.

4 Wang S. et al. Metabolomics analysis of different quinoa cultivars based on UPLC-ZenoTOF-MS/MS and investigation into their antioxidant characteristics // Plants. 2024. V. 13. №. 2. P. 240.

- 5 Wang S., Miao S., Sun D.W. Modifying structural and techno-functional properties of quinoa proteins through extraction techniques and modification methods // *Trends in Food Science & Technology*. 2023. P. 104285.
- 6 Tian J. et al. QPH-FR: A Novel Quinoa Peptide Enhances Chemosensitivity by Targeting Leucine-Rich Repeat-Containing G Protein-Coupled Receptor 5 in Colorectal Cancer // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2024. V. 72. №. 31. P. 17417–17430.
- 7 Liu Y. et al. Genome-Wide Identification and Analysis of R2R3-MYB Genes Response to Saline – Alkali Stress in Quinoa // *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. V. 24. №. 11. P. 9132.
- 8 Li Y. et al. Quinoa Peptides Alleviate Obesity in Mice Induced by a High-Fat Diet via Regulating of the PPAR- α / γ Signaling Pathway and Gut Microbiota // *Molecular Nutrition & Food Research*. 2023. V. 67. №. 22. P. 2300258.
- 9 Casalvara R.F.A. et al. Biotechnological, nutritional, and therapeutic applications of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and its by-products: a review of the past five-year findings // *Nutrients*. 2024. V. 16. №. 6. P. 840.
- 10 Ramos-Pacheco B.S. et al. Effect of Germination on the Physicochemical Properties, Functional Groups, Content of Bioactive Compounds, and Antioxidant Capacity of Different Varieties of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Grown in the High Andean Zone of Peru // *Foods*. 2024. V. 13. №. 3. P. 417.
- 11 La X. et al. Isolation and purification of flavonoids from quinoa whole grain and its inhibitory effect on lipid accumulation in nonalcoholic fatty liver disease by inhibiting the expression of CD36 and FASN // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2024.
- 12 Song J., Peng J. Qualitative and quantitative analysis of characteristic sugars in three colored quinoas based on untargeted and targeted metabolomics // *Journal of Food Composition and Analysis*. 2024. V. 126. P. 105880.
- 13 Бондарева Л.П., Загорюлько Е.А., Астапов А.В. Извлечение алифатических аминокислот из водных сред аминокислотным ионообменником // *Вестник ВГУИТ*. 2022. Т. 84. № 4. С. 185–191. doi: 10.20914/2310-1202-2022-4-185-191
- 14 Тефикина С.Н., Никитин И.А., Гончаров А.В., Соколов И.В. и др. Применение методов математического моделирования при проектировании хлебобулочных изделий заданного состава // *Вестник ВГУИТ*. 2022. Т. 84. № 3. С. 47–52. doi: 10.20914/2310-1202-2022-3-47-52
- 15 Занданова Т.Н., Иванова К.В., Мырьянова Т.П. Влияние закваски на аминокислотный состав кисломолочных продуктов // *Вестник ВГУИТ*. 2021. Т. 83. № 1. С. 258–262. doi: 10.20914/2310-1202-2021-1-258-262
- 16 Li J. et al. Potential structure–function relationships of pectic polysaccharides from quinoa microgreens: Impact of various esterification degrees // *Food Research International*. 2024. V. 187. P. 114395.
- 17 Manzanilla-Valdez M.L. et al. Decoding the Duality of Antinutrients: Assessing the Impact of Protein Extraction Methods on Plant-Based Protein Sources // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2024.
- 18 Manzanilla-Valdez M.L. et al. Unveiling the nutritional spectrum: A comprehensive analysis of protein quality and antinutritional factors in three varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) // *Food Chemistry: X*. 2024. P. 101814.
- 19 Zang Y. et al. Anti-diabetic effect of red quinoa polysaccharide on type 2 diabetic mellitus mice induced by streptozotocin and high-fat diet // *Frontiers in Microbiology*. 2024. V. 15. P. 1308866.
- 20 Pereira R.C. et al. Color stability of enamel treated with different antioxidant agents following at-home bleaching with 10% hydrogen peroxide // *Journal of Applied Oral Science*. 2024. V. 32. P. e20240056.
- 21 Дерканосова А.А., Курчаева Е.Е., Панина Е.В. Технологические подходы к производству мясных рубленых полуфабрикатов, обогащенных композитами животного и растительного происхождения // *Вестник ВГУИТ*. 2024. Т. 86. № 2. С. 237–247. doi: 10.20914/2310-1202-2024-2-237-247

References

- 1 Mohamed Ahmed I.A., Al Juhaimi F., Özcan M.M. Insights into the nutritional value and bioactive properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*): past, present and future prospective. *International Journal of Food Science & Technology*. 2021. vol. 56. no. 8. pp. 3726–3741.
- 2 Zaini N.S.M. et al. Enhancing the nutritional profile of vegan diet: A review of fermented plant-based milk as a nutritious supplement. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2023. pp. 105567.
- 3 Abdelshafy A.M., Rashwan A.K., Osman A.I. Potential food applications and biological activities of fermented quinoa: a review. *Trends in Food Science & Technology*. 2024. pp. 104339.
- 4 Wang S. et al. Metabolomics analysis of different quinoa cultivars based on UPLC-ZenoTOF-MS/MS and investigation into their antioxidant characteristics. *Plants*. 2024. vol. 13. no. 2. pp. 240.
- 5 Wang S., Miao S., Sun D.W. Modifying structural and techno-functional properties of quinoa proteins through extraction techniques and modification methods. *Trends in Food Science & Technology*. 2023. pp. 104285.
- 6 Tian J. et al. QPH-FR: A Novel Quinoa Peptide Enhances Chemosensitivity by Targeting Leucine-Rich Repeat-Containing G Protein-Coupled Receptor 5 in Colorectal Cancer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2024. vol. 72. no. 31. pp. 17417–17430.
- 7 Liu Y. et al. Genome-Wide Identification and Analysis of R2R3 MYB Genes Response to Saline – Alkali Stress in Quinoa. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. vol. 24. no. 11. pp. 9132.
- 8 Li Y. et al. Quinoa Peptides Alleviate Obesity in Mice Induced by a High-Fat Diet via Regulating of the PPAR- α / γ Signaling Pathway and Gut Microbiota. *Molecular Nutrition & Food Research*. 2023. vol. 67. no. 22. pp. 2300258.
- 9 Casalvara R.F.A. et al. Biotechnological, nutritional, and therapeutic applications of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and its by-products: a review of the past five-year findings. *Nutrients*. 2024. vol. 16. no. 6. p. 840.
- 10 Ramos-Pacheco B.S. et al. Effect of Germination on the Physicochemical Properties, Functional Groups, Content of Bioactive Compounds, and Antioxidant Capacity of Different Varieties of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Grown in the High Andean Zone of Peru. *Foods*. 2024. vol. 13. no. 3. pp. 417.
- 11 La X. et al. Isolation and purification of flavonoids from quinoa whole grain and its inhibitory effect on lipid accumulation in nonalcoholic fatty liver disease by inhibiting the expression of CD36 and FASN. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2024.

- 12 Song J., Peng J. Qualitative and quantitative analysis of characteristic sugars in three colored quinoas based on untargeted and targeted metabolomics. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2024. vol. 126. pp. 105880.
- 13 Bondareva L.P., Zagorulko E.A., Astapov A.V. Extraction of aliphatic amino acids from aqueous media using an aminophosphonic ion exchanger. *Proceedings of VSUET*. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 185–191. doi: 10.20914/2310-1202-2022-4-185-191 (in Russian).
- 14 Tefikova S.N., Nikitin I.A., Goncharov A.V., Sokolov I.V. et al. Application of mathematical modeling methods in the design of bakery products of a given composition. *Proceedings of VSUET*. 2022. vol. 84. no. 3. pp. 47–52. doi: 10.20914/2310-1202-2022-3-47-52 (in Russian).
- 15 Zandanova T.N., Ivanova K.V., Myryanova T.P. The influence of starter on the amino acid composition of fermented milk products. *Proceedings of VSUET*. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 258–262. doi: 10.20914/2310-1202-2021-1-258-262 (in Russian).
- 16 Li J. et al. Potential structure–function relationships of pectic polysaccharides from quinoa microgreens: Impact of various esterification degrees. *Food Research International*. 2024. vol. 187. pp. 114395.
- 17 Manzanilla-Valdez M.L. et al. Decoding the Duality of Antinutrients: Assessing the Impact of Protein Extraction Methods on Plant-Based Protein Sources. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2024.
- 18 Manzanilla-Valdez M.L. et al. Unveiling the nutritional spectrum: A comprehensive analysis of protein quality and antinutritional factors in three varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild). *Food Chemistry: X*. 2024. pp. 101814.
- 19 Zang Y. et al. Anti-diabetic effect of red quinoa polysaccharide on type 2 diabetic mellitus mice induced by streptozotocin and high-fat diet. *Frontiers in Microbiology*. 2024. vol. 15. pp. 1308866.
- 20 Pereira R.C. et al. Color stability of enamel treated with different antioxidant agents following at-home bleaching with 10% hydrogen peroxide. *Journal of Applied Oral Science*. 2024. vol. 32. pp. e20240056.
- 21 Derkanosova A.A., Kurchaeva E.E., Panina E.V. Technological approaches to the production of minced meat semi-finished products enriched with composites of animal and plant origin. *Proceedings of VSUET*. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 237–247. doi: 10.20914/2310-1202-2024-2-237-247

Сведения об авторах

Наталья П. Деркачева старший преподаватель, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, npetrovaderkacheva@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0009-0009-2940-2023>

Лариса А. Новикова старший преподаватель, кафедра физической культуры и спорта, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394000, Россия, novikovalarisa1307@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-7723-589X>

Светлана В. Недомолкина старший преподаватель, кафедра физической культуры и спорта, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394000, Россия, lana.nedomolkina@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0005-7269-6742>

Анна А. Дерканосова д.т.н., профессор, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, aa-derk@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

Галина Н. Егорова к.п.н., доцент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394000, Россия, egorovahp@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9907-9649>

Елена Е. Курчаева д.с.-х.н., профессор, кафедра частной зоотехнии, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1 Воронеж, 394087, Россия, alena.kurchaeva@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5958-0909>

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

Natalia P. Derkacheva senior lecturer, physical culture and sports department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, npetrovaderkacheva@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0009-2940-2023>

Larisa A. Novikova senior lecturer, physical culture and sports department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, 394000, Russia, novikovalarisa1307@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-7723-589X>

Svetlana V. Nedomolkina senior lecturer, physical culture and sports department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, 394000, Russia, lana.nedomolkina@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0005-7269-6742>

Anna A. Derkanosova Dr. Sci. (Engin.), professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, 394000, Russia, aa-derk@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

Galina N. Egorova Cand. Sci. (Ped.), associate, industrial ecology and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, 394000, Russia, egorovahp@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9907-9649>

Elena E. Kurchaeva Dr. Sci. (Agric.), professor, private animal science department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina Street, 1 Voronezh, 394087, Russia, alena.kurchaeva@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5958-0909>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/07/2024	После редакции 12/08/2024	Принята в печать 29/08/2024
Received 18/07/2024	Accepted in revised 12/08/2024	Accepted 29/08/2024

Разработка технологии охлажденной кулинарной продукции с пролонгированными сроками хранения

Юлия Н. Багмут	¹	bagmut1980@gmail.com	 0000-0002-6976-7299
Ольга В. Чугунова	¹	chugun.ova@ya.ru	 0000-0002-7039-4047
Лариса А. Кокорева	¹	lariko77@mail.ru	 0000-0002-8618-8301
Екатерина В. Пастушкова	¹	pas-ekaterina@ya.ru	 0000-0001-6992-1201
Алексей Ю. Волков	²	volkov@imp.uran.ru	 0000-0002-0636-6623
Константин Б. Костин	²	k.kostin@hpprusia.ru	

1 Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия
2 Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, ул. Софьи Ковалевской, 18, г. Екатеринбург, 620108, Россия

Аннотация. Статья посвящена разработке технологии и оценке качества охлажденных нутриентно адаптированных мясных рубленых полуфабрикатов (МРПФ) с использованием белково-компонитной смеси (СБКС) «Дисо Нутринум» с пролонгированными сроками хранения. Выявлено оптимальное внесение СБКС в рецептуру в количестве 7,5 %. Внесение СБКС в количестве 7,5% способствует формированию заданных свойств МРПФ за счет повышенного содержания легкоусвояемых белков, образующих вязкие коллоидные растворы, что улучшает функционально-технологические свойства мясной системы, а именно влагоудерживающую способность, жирудерживающую способность и формоустойчивость. Улучшаются также и органолептические свойства мясных изделий (вкус, консистенция, внешний вид). По сумме незаменимых аминокислот нутриентно адаптированные МРПФ превышали значения как ФАО/ВОЗ, так и контрольных объектов. В опытных образцах содержание незаменимых аминокислот выше на 2,5 % по сравнению с контрольным. Доказано, что нетермическая технология обработки холодной плазмой может быть использована для обеззараживания пищевых продуктов, т.к. увеличение времени обработки плазмой привело к сокращению количества мезофильно-аэробных и анаэробных бактерий (КМАФАнМ): при 5-ти минутной обработке низкотемпературной плазмой КМАФАнМ - 5,1·10⁴ КОЕ/г; при 10-и минутной обработке - 4,4·10⁴ КОЕ/г; при 15-и минутной обработке - 2,8·10⁴ КОЕ/г. При этом *Listeria monocytogenes* и *Salmonella* не было обнаружено во всех испытуемых МРПФ. Научно обоснована эффективность использования технологии обработки мясных продуктов высоким давлением (НПП), которое снижает показатели КМАФАнМ, подавляет и уничтожает развитие патогенных микроорганизмов (БГКП, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*, *Proteus* и прочие), что приводит к увеличению сроков хранения мясных рубленых полуфабрикатов.

Ключевые слова: белково-компонитная смесь, мясной полуфабрикат, высокое давление, низкотемпературная плазма, показатели качества.

Development of technology for chilled culinary products with extended shelf life

Jukia N. Bagmut	¹	bagmut1980@gmail.com	 0000-0002-6976-7299
Olga V. Chugunova	¹	chugun.ova@ya.ru	 0000-0002-7039-4047
Larisa A. Kokoreva	¹	lariko77@mail.ru	 0000-0002-8618-8301
Ekaterina V. Pastushkova	¹	pas-ekaterina@ya.ru	 0000-0001-6992-1201
Alexey Yu. Volkov	²	volkov@imp.uran.ru	 0000-0002-0636-6623
Konstantin B. Kostin	²	k.kostin@hpprusia.ru	

1 Ural State University of Economics, 8 Marta str./Narodnaya Volya, 62/45, Yekaterinburg, 620144, Russia
2 Institute of Metal Physics named after M.N. Mikhchev Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, st. Sofia Kovalevskaya, 18, Ekaterinburg, 620108, Russia

Abstract. The article is devoted to the development of technology and quality assessment of chilled nutrient-adapted minced meat semi-finished products (MPMP) using the protein-composite mixture (PCM) "Diso Nutrinum" with prolonged shelf life. The optimal addition of PCM to the recipe was found to be 7.5%. The addition of PCM in the amount of 7.5% contributes to the formation of the specified properties of MPMP due to the increased content of easily digestible proteins that form viscous colloidal solutions, which improves the functional and technological properties of the meat system, namely, moisture-holding capacity, fat-holding capacity and dimensional stability. The organoleptic properties of meat products (taste, consistency, appearance) are also improved. In terms of the sum of essential amino acids, the nutrient-adapted MPMP exceeded the values of both FAO/WHO and control objects. In the test samples, the content of essential amino acids is 2.5% higher than in the control. It has been proven that the non-thermal technology of cold plasma treatment can be used for food disinfection, since an increase in the plasma treatment time led to a decrease in the number of mesophilic-aerobic and anaerobic bacteria (MAAAB): with a 5-minute treatment with low-temperature plasma, MMAAB - 5.1·10⁴ CFU/g; with a 10-minute treatment - 4.4·10⁴ CFU/g; with a 15-minute treatment - 2.8·10⁴ CFU/g. At the same time, *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* were not detected in any of the tested MRPF. The effectiveness of using the technology of high pressure processing (HPP) of meat food products has been scientifically substantiated, which reduces the indicators of QMAFAnM, suppresses and destroys the development of pathogenic microorganisms (coliform bacteria, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*, *Proteus* and others), which leads to an increase in the shelf life of minced meat semi-finished products.

Keywords: protein-composite mixture, meat semi-finished product, high pressure, low-temperature plasma, quality indicators.

Для цитирования

Багмут Ю.Н., Кокорева Л.А., Пастушкова Е.В., Волков А.Ю., Костин К.Б. Разработка технологии охлажденной кулинарной продукции с пролонгированными сроками хранения // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 158–165. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-158-165

For citation

Bagmut Yu.N., Kokoreva L.A., Pastushkova E.V., Volkov A.Yu., Kostin K.B. Development of technology for chilled culinary products with extended shelf life. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 158–165. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-158-165

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

Введение

Современное развитие централизованного производства продуктов питания в России характеризуется наличием жесткой конкуренции, высокими требованиями к качеству и безопасности продукции, а также необходимостью следовать изменению вкусов и потребностей потребителей, что ставит перед предприятиями-изготовителями задачу поиска новых форм и рецептур.

В последние годы наблюдается потребность в поиске альтернативных методов продления сроков хранения кулинарной продукции. Эти методы должны обеспечивать производство продуктов с низким содержанием натрия и / или жиров, а также высокой функциональностью. В настоящее время физические методы обработки [1, 2] становятся все более распространёнными и рассматриваются как перспективные технологии, способные существенно уменьшить использование консервантов.

К инновационным технологиям, завоевывающим признание в пищевой промышленности, можно отнести обработку продуктов низкотемпературной плазмой. Обработка низкотемпературной плазмой основана на использовании активных частиц, которые возникают при ионизации газа, такого как аргон или азот. Эти частицы обладают высокой реакционной способностью и способны разрушать клеточные мембраны микроорганизмов, что делает этот метод особенно эффективным для уничтожения бактерий, грибов и вирусов, не нарушая при этом питательных свойств самих продуктов [3, 4].

И обработку высоким давлением, технология известная как HPP (High Pressure Processing) или «нетепловая пастеризация» [5–8]. Основной принцип этой технологии заключается в обработке продуктов под высоким давлением, что позволяет эффективно сохранять и усиливать их качество, включая вкус, аромат и текстуру [9].

Цель исследования – разработка технологии охлажденной кулинарной продукции с пролонгированными сроками хранения на основе физических методов.

Материалы и методы

В экспериментальных исследованиях использовались современные стандартные методы и приборы, прошедшие поверку.

Основные объекты исследования: мясные рубленые полуфабрикаты (МРПФ), контрольные и опытные образцы:

1. МРПФ, обработанные холодной плазмой. В контрольной группе образцы – без применения технологии низкотемпературной плазмы атмосферного давления (НП), в то время как опытная

группа подверглась воздействию НП на протяжении 5, 10 и 15 минут. Полуфабрикаты помещались в контейнер, который заполнялся ионизированным аргонном в течение 2 минут; процесс ионизации осуществлялся с использованием разрядов с частотой от 450 до 550 кГц.

После завершения обработки образцы из первой группы, а также полуфабрикаты из второй группы были размещены в холодильном шкафу для хранения при температуре от 0 до 2 °С. Согласно санитарным нормам СанПиН 2.3.2.1324-03, регулирующим сроки годности и условия хранения пищевых продуктов, рубленые полуфабрикаты из мяса птицы могут храниться до 18 часов. С учетом запаса времени этот срок увеличивается до 24 часов. Однако существует возможность продлить период хранения охлажденных полуфабрикатов за счет биодеконтаминации, осуществляемой путем обработки их низкотемпературной плазмой;

2. МРПФ, обработанные высоким давлением. В процессе изучения технологий HPP для подавления и уничтожения патогенных микроорганизмов проведены исследования по обработке высоким давлением с использованием «Пищевой гидростат, модель 600МПа / 30L» на базе толлинг центра ООО «РАН Технолджикс Групп» [6].

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».

Органолептические показатели определяли в соответствии с ГОСТ 32951–2014 «Полуфабрикаты мясные и мясосодержащие. Общие технические условия».

Физико-химические показатели определяли в соответствии с ГОСТ 4288–76 «Изделия кулинарные и полуфабрикаты из рубленого мяса. Правила приемки и методы испытаний».

Микробиологические испытания: бактерии рода *Listeria monocytogenes* определяли по ГОСТ 32031–2012, бактерии рода *Salmonella* – по ГОСТ 31659–2012 (ISO 6579:2002), количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) – по ГОСТ 10444.15–94, бактерии группы кишечной палочки (БГКП) – по ГОСТ 31747–2012, сульфитредуцирующие клостридии – по ГОСТ 29185–2014, бактерии рода *Proteus* – по ГОСТ 28560–90, *S. aureus* – по ГОСТ 31746–2012.

Исследования по использованию холодной плазмы проводили в Институте механики сплошных сред УрО РАН. Исследования по обработке высоким давлением проводили на базе Толлинг центра ООО «РАН Технолджикс Групп» с использованием пищевого гидростата, модель 600МПа/30L.

Результаты и обсуждение

В рамках решения первой задачи разработаны рецептуры нутриентно адаптированных мясных рубленых полуфабрикатов (МРПФ).

Основные направления развития ассортимента кулинарной продукции связаны со спросом на кулинарную продукцию, обладающую пролонгированными сроками хранения и повышенной пищевой ценностью [10]. Внесение в котлеты из мяса птицы сухой белково композитной смеси «Дисо Нутримун» (СБКС) можно рассматривать как один из способов получения высококачественных мясных продуктов с регулируемыми свойствами, в том числе биологической ценности.

Внесение СБКС способствует формированию заданных свойств МРПФ за счет повышенного содержания легкоусвояемых белков, образующих вязкие коллоидные растворы, что улучшает функционально-технологические свойства (ФТС) мясной системы, а именно влагоудерживающую способность (ВУС), жирудерживающую способность (ЖУС) и формоустойчивость.

Технологическая схема МРПФ включает следующие этапы: в куттер вносили СБКС (соотношение с водой 1:3, при температуре 30–35°С) и перемешивали в течение 2 мин до получения однородной массы, затем вносили МС и перемешивали еще в течение 5 мин. Формировали изделие массой по 81 г. (на выход 70 г.). Термическую обработку осуществляли в два этапа: на первом МРПФ обжаривали с каждой стороны в течение 7 мин,

на втором этапе – доводили до кулинарной готовности в пароконвектомате при $T = (200 \pm 5)^\circ\text{C}$ и $W = 10\%$ в течение 12 мин. На следующем этапе охлаждали в шкафу шокового замораживания до достижения температуры в центре продукта 0–4 °С, скорость воздуха 1 м/с. Охлажденные МРПФ расфасовывали в потребительскую skin-упаковку и подвергали обработке НП или НРР.

Изменение влажности модельных МРПФ представлено в таблице 1, химический состав – на рисунке 1, изменение функционально-технологических свойств – на рисунке 2.

Исследование влагосвязывающей способности (ВСС) выявило, что добавление СБКС в количестве 7,5% приводит к увеличению данного показателя на 7% по сравнению с контрольным образцом (85,9%). Это связано со снижением объема несвязанной воды, которая служит дисперсионной средой для метаболической активности микроорганизмов и ряда химических реакций.

Данные, полученные при анализе ВУС и ЖУС, показали, что замена традиционного пшеничного хлеба на СБКС оказывает положительное влияние на формирование трехмерной структурной сети. Эта сеть способствует удержанию влаги и жировых частиц в готовом продукте благодаря повышенному содержанию белка и клетчатки. В результате добавления СБКС было зафиксировано увеличение ВУС на 3,5%, что указывает на улучшение способности системы сохранять влагу во время термической обработки и снижение потерь.

Таблица 1.

Изменение влажности МРПФ в зависимости от количества СБКС ($n = 3$), %

Table 1.

Change in the humidity of the MPPF depending on the amount of SBCS ($n = 3$), %

Показатель	Контроль	Опытные образцы МРПФ с добавлением СБКС		
		5%	7,5%	10%
Массовая доля влаги	65,40 ± 2,53	65,05 ± 3,46	65,15 ± 3,62	65,24 ± 2,42
Потеря массы при тепловой обработке	21,92 ± 0,25	16,84 ± 0,15	17,14 ± 0,18	17,22 ± 0,08

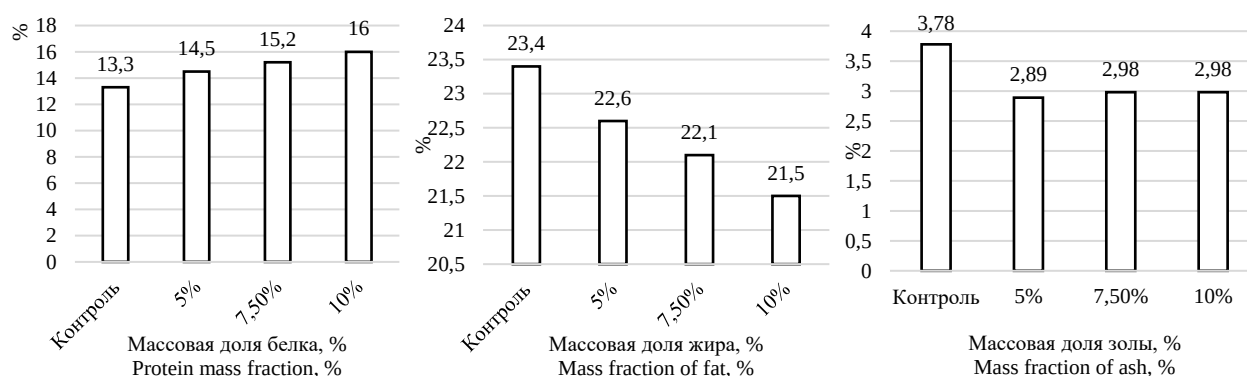
Рисунок 1. Химический состав МРПФ в зависимости от количества СБКС ($n = 3$), %Figure 1. Chemical composition of MPPF depending on the amount of SBCS ($n = 3$), %



Рисунок 2. Функционально-технологические свойства МРПФ в зависимости от количества СБКС (n = 3), %

Figure 2. Functional and technological properties of MPPF depending on the amount of SBCS (n = 3), %

Использование СБКС в модельных МРПФ способствует увеличению ЖУС, что обусловлено набуханием белка, и способностью удерживать его.

СКБС также положительно влияет на технологические (формоустойчивость, ВУС) и органолептические (сочность, мягкость, вкус и запах) свойства, а также способствует повышению калорийности изделия.

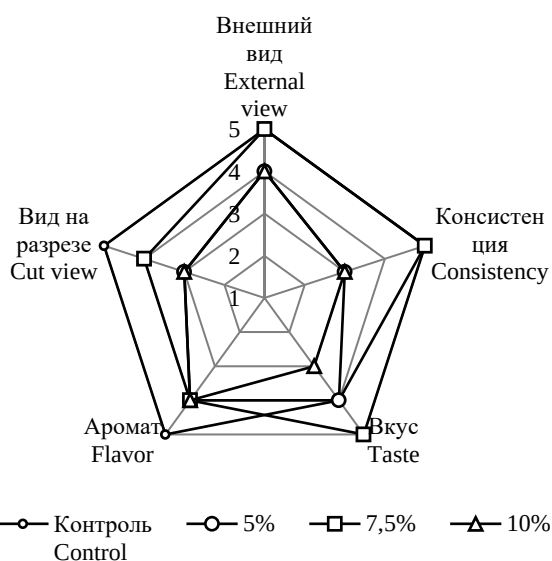


Рисунок 3. Органолептические показатели разработанных МРПФ, в зависимости от количества СКБС, балл

Figure 3. Organoleptic parameters of the developed MCPs, depending on the number of SCBS, score

Исследование содержания незаменимых аминокислот (НАК) в контрольных и опытных образцах по отношению к эталону ФАО/ВОЗ (рисунок 4) выявило, что по сумме незаменимых аминокислот как контрольный (вариант 1), так и опытный образец (вариант 2) превышали значения ФАО/ВОЗ, в среднем на 4,9 г на 100 г. белка. В опытных образцах содержание НАК выше на 2,5% по сравнению с контрольным.

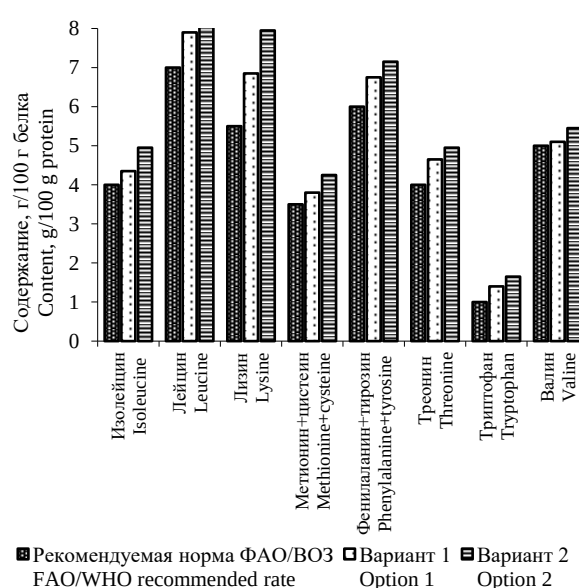


Рисунок 4. Аминокислотный состав белка МРПФ в сравнении с рекомендуемыми нормами ФАО/ВОЗ, мг/100 г

Figure 4. Amino acid composition of the MPPF protein in comparison with the recommended FAO/WHO standards, mg/100 g

В рамках решения второй задачи было исследовано применение технологии низкотемпературной плазмы (НП) для увеличения сроков хранения охлажденной кулинарной продукции. Объектом данного исследования стали образцы разработанных мясных полуфабрикатов (МРПФ). Были сформированы две экспериментальные группы МРПФ из птицы, масса каждого образца составила 70,0 г, а начальная температура в обеих группах была зафиксирована на уровне 2 °С.

Результаты микробиологических исследований МРПФ через 24 и 48 часов хранения при обработке НП в течении 5, 10, 15 мин представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Микробиологические показатели МРПФ через 24 и 48 часов хранения

Table 2.

Microbiological indicators of MRPF after 24 and 48 hours of storage

Показатель Index	Гигиенические требования * Hygiene Requirements *	Продолжительность хранения, час Duration of storage, hour	Контроль Control	Образцы обработанные НП, мин Samples treated with NP, min		
				5	10	15
КМАФАнМ, не более, КОЕ/г CMAFANM, not more than, CFU/g	5,0×10 ⁵	24	6,6×10 ⁴	5,1×10 ⁴	4,4×10 ⁴	2,8×10 ⁴
		48	7,1×10 ⁷	6,3×10 ⁶	5,9×10 ⁵	4,7×10 ⁵
<i>Listeria monocytogenes</i> , не допускаются в массе продукта, г <i>Listeria monocytogenes</i> , not allowed in the product weight, g	25	24	Не обнаружены Not detected			
		48				
Патогенные, в т. ч. <i>Salmonella</i> , не допускаются в массе продукта, г Pathogenic, including <i>Salmonella</i> , not allowed in the product weight, g	25	24				
		48				

* ТР ЕАЭС 051/2021 Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности мяса птицы и продукции его переработки» (с изменениями на 15 февраля 2023 года)

* TR EEU 051/2021 Technical Regulation of the Eurasian Economic Union “On the Safety of Poultry Meat and Poultry Products” (as amended on February 15, 2023)

Образцы охлажденных МРПФ контрольной группы, хранившиеся в холодильнике при температуре от 0 до 2 °С на протяжении 24 часов, не соответствовали требованиям Технического регламента ЕАЭС 051/2021 по микробиологическим показателям. В частности, количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) составило 6,6×10⁴ КОЕ/г.

В отличие от этого, опытная группа МРПФ, подвергшаяся обработке низкотемпературной плазмой (НП) и хранившаяся 24 и 48 часов, продемонстрировала положительную динамику микробиологических показателей, что связано с увеличением времени обработки НП. Так, при 5-минутной обработке КМАФАнМ снизился до 5,1×10⁴ КОЕ/г; при 10-минутной – до 4,4×10⁴ КОЕ/г; а при 15-минутной – до 2,8×10⁴ КОЕ/г. При этом патогены *Listeria monocytogenes* и *Salmonella* не были обнаружены

ни в одном из образцов МРПФ в ходе эксперимента [11].

Таким образом, нетермическая технология обработки холодной плазмой может быть использована для обеззараживания пищевых продуктов.

На следующем этапе исследований научно обоснована эффективность использования технологии обработки пищевых продуктов в скин-упаковке высоким давлением (HPP) для подавления и уничтожения патогенных микроорганизмов с целью увеличения срока годности при сохранении показателей качества и безопасности.

Микробиологические исследования и анализ результатов исследований проводились по стандартным методикам и нормативам. Результаты исследования представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Результаты определения КМАФАнМ в готовых МРПФ, обработанных HPP

Table 3.

The results of the determination of KMAFANM in ready-made MRPF treated with NP

Образец Sample	КМАФАнМ, КОЕ/см ³		БГКП (колиформы) в 1 г	
	опыт	ТР ЕАЭС 051/2021, не более	опыт	ТР ЕАЭС 051/2021, не более
1	1,04×10 ²	1,0×10 ³	не обнаружено	не допускаются
2	5,85×10	1,0×10 ³		
3	5,78×10 ²	1,0×10 ³		
4	2,24×10 ²	1×10 ³		

Обработка высоким давлением готовой кулинарной продукции положительно сказывается на снижении роста микробиологических показателей, уменьшая их общее количество фактически в два раза.

Интенсивность развития микроорганизмов в процессе хранения также показала положительные результаты воздействия высокого давления. Интенсивность развития микроорганизмов

(увеличение) в контрольном объекте составила 5,6 раз в то время, как у образцов, обработанных под давлением в 400 мПа – 4,1 раз.

Исследовано влияние технологии обработки пищевых продуктов высоким давлением (HPP) на срок годности разработанной охлажденной кулинарной продукции готовых мясных рубленых полуфабрикатов из мяса птицы.

Согласно требованиям Технического регламента ЕАЭС 051/2021, в готовых мясных рубленых полуфабрикатах (МРПФ) допустимое количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) не должно превышать 1×10^3 КОЕ/г. После 18 часов хранения в готовом МРПФ было зафиксировано значение $1,4 \times 10^2$ КОЕ/г, что на 56% ниже установленной нормы.

В случае обработки готового МРПФ с использованием низкотемпературной плазмы (НП) в течение 5 минут, уровень КМАФАнМ составил $1,1 \times 10^2$ КОЕ/г, что уже на 89% меньше предельно допустимого значения и на 75% ниже уровня КМАФАнМ в необработанных образцах. При хранении охлажденных готовых МРПФ в течение трех суток наблюдалось превышение нормы по КМАФАнМ на 1%, тогда как продукты, подвергшиеся обработке НП, оставались в пределах допустимых значений.

По истечении пяти суток хранения у готовых МРПФ фиксировалось увеличение превышения нормы до 2,5%. Однако даже в этом случае обработанные НП полуфабрикаты продолжали соответствовать установленным стандартам, хотя и отмечался незначительный рост микрофлоры.

Заключение

В настоящее время проектирование сложных технологических систем представляет собой переход от исследований монодисциплинарных

к междисциплинарным, обеспечивающим интеграцию, органичную взаимосвязь разных дисциплин и отраслей науки [12].

Нетермическая технология обработки холодной плазмой может быть использована для обеззараживания пищевых продуктов, т. к. результаты микробиологического исследования показали, что при увеличении времени обработки НП привело к сокращению КМАФАнМ: при 5-ти минутной обработке низкотемпературной плазмой КМАФАнМ – $5,1 \times 10^5$ КОЕ/г; при 10-и минутной обработке – $4,4 \times 10^5$ КОЕ/г; при 15-и минутной обработке – $2,8 \times 10^5$ КОЕ/г. При этом *Listeria monocytogenes* и *Salmonella* не было обнаружено во всех испытуемых МРПФ.

При использовании высокого давления происходит снижение КМАФАнМ в готовых МРПФ после 5 суток хранения в 4,4 раза (обработка 5 мин), в 5,7 раз (обработка 10 мин) и в 6,6 раз (обработка 10 мин) от нормативного содержания в готовых МРПФ.

Результаты исследований содержания *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *сульфитредуцирующих клостридий*, *Salmonella*, БГКП и *Proteus* показали полное их отсутствие в объектах исследования при различной продолжительности хранения.

Что так же позволяет сделать выводы, что технология *HPP* может быть использована для подавления и уничтожения патогенных микроорганизмов в готовых кулинарных изделиях.

Литература

- 1 Gavahian M., Peng H.J., Chu Y.H. Efficacy of cold plasma in producing salmonella-free duck eggs: effects on physical characteristics, lipid oxidation, and fatty acid profile // J. Food Sci. Technol. 2019. V. 56. № 12. P. 5271–5281.
- 2 Науменко И.В., Потороко И.Ю., Попова Н.В., Калинина И.В., Сатбаев Б.К. Применение нетепловых методов обеззараживания растительного сырья в производстве пищевых продуктов // Вестник ВГУИТ. 2019. № 4 (82). С. 110–116.
- 3 Taddei R., Giacometti F., Bardasi L. Effect of production process and high-pressure processing on viability of *Listeria innocua* in traditional Italian drycured coppa // Italian Journal of Food Safety. 2020. V. 9. P. 104–109.
- 4 Sardão R., Amaral R.A., Alexandre E.M., Saraiva J.A., Pintado M. Effect of high-pressure processing to improve the safety and quality of an Quercus acorn beverage // LWT. 2021. V. 149. P. 111858.
- 5 Сайт ООО «РАН Технолоджикс Групп». URL: https://runtechnologies.com/vysokoie_davlenie
- 6 Kryukov A.V., Arisov A.V., Vyatkin A.V., Pomozova V.A., Volkov A.Yu. Production Technology Development of Semi-Finished Products from Sprouted Wheat Grain and Its Practical Application in the Smoothie Composition // Food Industry. 2024. V. 9. № 3. P. 33–42. doi: 10.29141/2500–1922–2024–9–3–4
- 7 Кокорева Л.А., Багмут Ю.Н., Волков А.Ю., Чугунова О.В. и др. Влияние высокого гидростатического давления на микробиологические показатели мясных полуфабрикатов // Journal of Agriculture and Environment. 2023. № 12 (40).
- 8 Usaga J., Acosta Ó., Churey J.J., Padilla-Zakour O.I. et al. Evaluation of high pressure processing (HPP) inactivation of *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella enterica*, and *Listeria monocytogenes* in acid and acidified juices and beverages // International Journal of Food Microbiology. 2021. V. 339. P. 109034.
- 9 Hartyani P., Dalmadi I., Cserhalmi Z., Kantor D.B. et al. Physical-chemical and sensory properties of pulsed electric field and high hydrostatic pressure treated citrus // Journal of Agroalimentary Processes and Technologies. 2013. V. 19 (2). P. 1710–1711.
- 10 Рождественская Л.Н., Романенко С.П., Чугунова О.В. Перспективы нутриентного профилирования для профилактики заболеваний и укрепления здоровья // Индустрия питания. 2023. Т. 8. № 2. С. 63–72. doi: 10.29141/2500–1922–2023–8–2–7
- 11 Багмут Ю.Н., Кокорева Л.А., Крюкова Е.В., Лукиных М.И. Перспективы применения низкотемпературной плазмы для биодеконтаминации мясных продуктов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 4. С. 63–72.
- 12 Панфилов В.А. Оценка сложности инновационных технологий АПК России // Индустрия питания. 2023. Т. 8. № 2. С. 143–147. doi: 10.29141/2500–1922–2023–8–2–14

- 13 Ma L., Zhang M., Bhandari B., Gao Z. Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables // *Trends in Food Science & Technology*. 2017. V. 64. P. 23-38. doi: 10.1016/j.tifs.2017.03.005
- 14 Sridhar A. et al. Food preservation techniques and nanotechnology for increased shelf life of fruits, vegetables, beverages and spices: a review // *Environmental Chemistry Letters*. 2021. V. 19. P. 1715-1735. doi: 10.1007/s10311-020-01126-2
- 15 Yousuf B., Qadri O.S., Srivastava A.K. Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: A review // *Lwt*. 2018. V. 89. P. 198-209. doi: 10.1016/j.lwt.2017.10.051
- 16 Amit S. K. et al. A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing // *Agriculture & Food Security*. 2017. V. 6. P. 1-22. doi: 10.1186/s40066-017-0130-8
- 17 Kanatt S.R. Development of active/intelligent food packaging film containing Amaranthus leaf extract for shelf life extension of chicken/fish during chilled storage // *Food Packaging and Shelf Life*. 2020. V. 24. P. 100506. doi: 10.1016/j.fpsl.2020.100506
- 18 Mercier S. et al. Time–temperature management along the food cold chain: A review of recent developments // *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 2017. V. 16. №. 4. P. 647-667. doi: 10.1111/1541-4337.12269
- 19 James C., Purnell G., James S. J. A review of novel and innovative food freezing technologies // *Food and bioprocess technology*. 2015. V. 8. P. 1616-1634. doi: 10.1007/s11947-015-1542-8
- 20 Hertog M. L. et al. Shelf life modelling for first-expired-first-out warehouse management // *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2014. vol. 372. №. 2017. pp. 20130306. doi: 10.1098/rsta.2013.0306

References

- 1 Gavahian M., Peng H.J., Chu Y.H. Efficacy of cold plasma in producing salmonella-free duck eggs: effects on physical characteristics, lipid oxidation, and fatty acid profile. *J. Food Sci. Technol.* 2019. vol. 56. no. 12. pp. 5271–5281.
- 2 Naumenko I.V., Potoroko I.Yu., Popova N.V., Kalinina I.V., Satbaev B.K. Application of non-thermal methods of disinfection of plant raw materials in food production. *Proceedings of VSUET*. 2019. No. 4 (82). P. 110–116. (in Russian).
- 3 Taddei R., Giacometti F., Bardasi L. Effect of production process and high-pressure processing on viability of *Listeria innocua* in traditional Italian drycured coppa. *Italian Journal of Food Safety*. 2020. vol. 9. pp. 104–109.
- 4 Sardão R., Amaral R.A., Alexandre E.M., Saraiva J.A., Pintado M. Effect of high-pressure processing to improve the safety and quality of an *Quercus* acorn beverage. *LWT*. 2021. vol. 149. pp. 111858.
- 5 Website of RAS Technologies Group LLC. Available at: https://runtechnologies.com/vysokoie_davleniie (in Russian).
- 6 Kryukov A.V., Arisov A.V., Vyatkin A.V., Pomozova V.A., Volkov A.Yu. Production Technology Development of Semi-Finished Products from Sprouted Wheat Grain and Its Practical Application in the Smoothie Composition // *Food Industry*. 2024. V. 9. № 3. P. 33–42. doi: 10.29141/2500–1922–2024–9–3–4
- 7 Kokoreva L.A., Bagmut Yu.N., Volkov A.Yu., Chugunova O.V. et al. The influence of high hydrostatic pressure on microbiological parameters of semi-finished meat products. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023. no. 12 (40). (in Russian).
- 8 Usaga J., Acosta Ó., Churey J.J., Padilla-Zakour O.I. et al. Evaluation of high pressure processing (HPP) inactivation of *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella enterica*, and *Listeria monocytogenes* in acid and acidified juices and beverages. *International Journal of Food Microbiology*. 2021. vol. 339. pp. 109034.
- 9 Hartyani P., Dalmadi I., Cserhalmi Z., Kantor D.B. et al. Physical-chemical and sensory properties of pulsed electric field and high hydrostatic pressure treated citrus. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. 2013. vol. 19 (2). pp. 1710–1711.
- 10 Rozhdestvenskaya L.N., Romanenko S.P., Chugunova O.V. Prospects for nutrient profiling for disease prevention and health promotion. *Food industry*. 2023. vol. 8. no. 2. pp. 63–72. doi: 10.29141/2500–1922–2023–8–2–7 (in Russian).
- 11 Bagmut Yu.N., Kokoreva L.A., Kryukova E.V., Lukinykh M.I. Prospects for using low-temperature plasma for biodecontamination of meat products. *Technologies of food and processing industry of the agro-industrial complex – healthy food products*. 2022. no. 4. pp. 63–72. (in Russian).
- 12 Panfilov V.A. Assessment of the complexity of innovative technologies of the Russian agro-industrial complex. *Food industry*. 2023. vol. 8. no. 2. pp. 143–147. doi: 10.29141/2500–1922–2023–8–2–14 (in Russian).
- 13 Ma L., Zhang M., Bhandari B., Gao Z. Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*. 2017. vol. 64. pp. 23-38. doi: 10.1016/j.tifs.2017.03.005
- 14 Sridhar A. et al. Food preservation techniques and nanotechnology for increased shelf life of fruits, vegetables, beverages and spices: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2021. vol. 19. pp. 1715-1735. doi: 10.1007/s10311-020-01126-2
- 15 Yousuf B., Qadri O.S., Srivastava A.K. Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: A review. *Lwt*. 2018. vol. 89. pp. 198-209. doi: 10.1016/j.lwt.2017.10.051
- 16 Amit S. K. et al. A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. *Agriculture & Food Security*. 2017. vol. 6. pp. 1-22. doi: 10.1186/s40066-017-0130-8
- 17 Kanatt S.R. Development of active/intelligent food packaging film containing Amaranthus leaf extract for shelf life extension of chicken/fish during chilled storage. *Food Packaging and Shelf Life*. 2020. vol. 24. pp. 100506. doi: 10.1016/j.fpsl.2020.100506
- 18 Mercier S. et al. Time–temperature management along the food cold chain: A review of recent developments. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 2017. vol. 16. no. 4. pp. 647-667. doi: 10.1111/1541-4337.12269
- 19 James C., Purnell G., James S. J. A review of novel and innovative food freezing technologies. *Food and bioprocess technology*. 2015. vol. 8. pp. 1616-1634. doi: 10.1007/s11947-015-1542-8
- 20 Hertog M. L. et al. Shelf life modelling for first-expired-first-out warehouse management. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2014. vol. 372. no. 2017. pp. 20130306. doi: 10.1098/rsta.2013.0306

Сведения об авторах

Юлия Н. Багмут аспирант, кафедра технологии питания, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия, bagmut1980@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-6976-7299>

Ольга В. Чугунова д.т.н., профессор, кафедра технологии питания, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия, chugun.ova@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7039-4047>

Лариса А. Кокорева к.т.н., доцент, кафедра технологии питания, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия, lariko77@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8618-8301>

Екатерина В. Пастушкова д.т.н., профессор, кафедра управления качеством и экспертизы товаров и услуг, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия, pas-ekaterina@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6992-1201>

Алексей Ю. Волков д.т.н., главный научный сотрудник, заведующий лабораторией, лаборатория прочности, Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, ул. Софьи Ковалевской, 18, г. Екатеринбург, 620108, Россия, volkov@imp.uran.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0636-6623>

Константин Б. Костин главный специалист, лаборатория прочности, Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, ул. Софьи Ковалевской, 18, г. Екатеринбург, 620108, Россия, k.kostin@hpprussia.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

Jukia N. Bagmut graduate student, food technology, ural state university of economics department, 8 Marta str./Narodnaya Volya, 62/45, Yekaterinburg, 620144, Russia, bagmut1980@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-6976-7299>

Olga V. Chugunova Dr. Sci. (Engin.), professor, food technology department, Ural State University of Economics, 8 Marta str./Narodnaya Volya, 62/45, Yekaterinburg, 620144, Russia, chugun.ova@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7039-4047>

Larisa A. Kokoreva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food technology department, Ural State University of Economics, 8 Marta str./Narodnaya Volya, 62/45, Yekaterinburg, 620144, Russia, lariko77@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8618-8301>

Ekaterina V. Pastushkova Dr. Sci. (Engin.), professor, management quality and expertise of goods and services department, Ural State University of Economics, 8 Marta str./Narodnaya Volya, 62/45, Yekaterinburg, 620144, Russia, pas-ekaterina@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6992-1201>

Alexey Y. Volkov Dr. Sci. (Engin.), chief researcher, head of laboratory, strength laboratory, Institute of Metal Physics named after M.N. Mikheev Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, st. Sofia Kovalevskaya, 18, Ekaterinburg, 620108, Russia, volkov@imp.uran.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0636-6623>

Konstantin B. Kostin chief specialist, strength laboratory, Institute of Metal Physics named after M.N. Mikheev Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, st. Sofia Kovalevskaya, 18, Ekaterinburg, 620108, Russia, k.kostin@hpprussia.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 11/07/2024	После редакции 12/08/2024	Принята в печать 30/08/2024
Received 11/07/2024	Accepted in revised 18/08/2024	Accepted 30/08/2024

Физико-химические свойства и липидосвязывающая способность бактериальной целлюлозы, синтезированной на молочной сыворотке

Наталья А. Погорелова	¹	na.pogorelova@omgau.org		0000-0001-8495-3869
Наталья А. Сарницкая	¹	na.sarnitskaya@omgau.org		0000-0002-1614-5090
Константин К. Полянский	³	mto.vrn@mail.ru		0000-0002-8817-1466
Анна А. Дерканосова	²	aa-derk@ya.ru		0000-0002-9726-9262
Сергей А. Коновалов	¹	sa.konovarov@omgau.org		0000-0003-3537-8081

1 Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, ул. Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Россия

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

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

Аннотация. Бактериальная целлюлоза (БЦ) имеет значительный потенциал применений в пищевой промышленности, в результате ее способности стабилизировать пищевые дисперсные системы. В данной работе исследовали эффективность биосинтеза БЦ на отходах молочной промышленности, изучены параметры процесса: количество субстрата, титруемая кислотность, масса синтезируемой целлюлозы. Определены физико-химические свойства и липидосвязывающая способность полученных гель пленок и дегидратированных образцов полисахарида. Бактериальную целлюлозу получали в статических условиях, на жидкой питательной среде – молочной сыворотке. Предварительно лактозу молочной сыворотки гидролизовали ферментным препаратом LACTA FREE до количества глюкозы 1.93%. Масса продуцируемой целлюлозы в статических условиях симбиотической консорциумом *Medusomyces gisevii* составила 3.84 г/л в течение 21-х суток при T=31°C. Отмечена корреляция низких количеств глюкозы культуральной жидкости на 6-е сутки биосинтеза со снижением значений титруемой кислотности. Степень конверсии глюкозы ферментированной молочной сыворотки на массу продуцируемой бактериальной целлюлозы составила 22.6%. Максимальная скорость биосинтеза 0.181 г СВ/л×сут установлена на 15-е сутки процесса. Определена водоудерживающая способность синтезированных гель пленок бактериальной целлюлозы – 82.35 ± 0.63 г/г. Лиофилизированные образцы бактериальной целлюлозы характеризовались большей водопоглощающей способностью (22.44 г/г) в сравнении с дегидратированными при T=50°C образцами (5.42 г/г). Установлено, что регидратированные образцы лиофилизированной целлюлозы обладали в 3.43 раза большим показателем отношения количества свободной и связанной влаги в сравнении с высушиваемыми образцами БЦ. Определена насыпная плотность дезагрегированной целлюлозы: лиофилизированной - 20 кг/м³, термически высушенной - 170 кг/м³. В работе дана сравнительная характеристика липидосвязывающей способности БЦ и хитозана. Определены микробиологические показатели дезагрегированной бактериальной целлюлозы.

Ключевые слова: бактериальная целлюлоза, водоудерживающая способность, насыпная плотность, липидосвязывающая способность, пищевая добавка.

Physico-chemical properties and lipid binding capacity of bacterial cellulose synthesized on whey

Natalia A. Pogorelova	¹	na.pogorelova@omgau.org		0000-0001-8495-3869
Natalia A. Sarnitskaya	¹	na.sarnitskaya@omgau.org		0000-0002-1614-5090
Konstantin K. Polyansky	³	mto.vrn@mail.ru		0000-0002-8817-1466
Anna A. Derkanosova	²	aa-derk@ya.ru		0000-0002-9726-9262
Sergey A. Konovarov	¹	sa.konovarov@omgau.org		0000-0003-3537-8081

1 Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Institutskaya Ploshchad, 1 str., Omsk, 644008, Russia

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

3 Voronezh Branch of the Plekhanov Russian University of Economics

Abstract. Bacterial cellulose (BC) has significant potential for applications in the food industry due to its ability to stabilize food dispersion systems. In this work, the efficiency of BC biosynthesis on dairy industry waste was investigated, and these process parameters were studied: amount of substrate, titratable acidity, mass of synthesized cellulose. The physico-chemical properties and lipid binding capacity of the obtained gel films and dehydrated polysaccharide samples were determined. Bacterial cellulose was obtained under static conditions, in a liquid nutrient medium – whey. Lactose from whey was preliminarily hydrolyzed with the enzyme preparation LACTA FREE to a glucose content of 1.93%. The mass of cellulose produced under static conditions by the symbiotic consortium *Medusomyces gisevii* was 3.84 g/l over 21 days at T=31°C. A correlation was noted between low amounts of glucose in the culture fluid on the 6th day of biosynthesis and a decrease in titratable acidity. The degree of conversion of glucose from fermented whey to the mass of produced bacterial cellulose was 22.6%. The maximum biosynthesis rate of 0.181 gL⁻¹×day⁻¹ (dry weight) was established on the 15th day of the process. The water retention capacity of the synthesized bacterial cellulose gel films was determined to be 82.35 ± 0.63 g/g. Lyophilized samples of bacterial cellulose were characterized by a higher water absorption capacity (22.44 g/g) compared to samples dehydrated at T=50°C (5.42 g/g). It was found that rehydrated samples of lyophilized cellulose had a 3.43 times higher ratio of free and bound moisture compared to dried BC samples. The bulk density of disaggregated cellulose was determined: lyophilized - 20 kg/m³, thermally dried - 170 kg/m³. The work provides a comparative analysis of the lipid binding capacity of BC and chitosan. Microbiological parameters of disaggregated bacterial cellulose were determined.

Keywords: bacterial cellulose, water retention capacity, bulk density, lipid binding capacity, food additive.

Для цитирования

Погорелова Н.А., Сарницкая Н.А., Полянский К.К. Дерканосова А.А., Коновалов С.А. Физико-химические свойства и липидосвязывающая способность бактериальной целлюлозы, синтезированной на молочной сыворотке // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 166–174. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-166-174

For citation

Pogorelova N.A., Sarnitskaya N.A., Polyansky K.K. Derkanosova A.A., Konovarov S.A. Physico-chemical properties and lipid binding capacity of bacterial cellulose synthesized on whey. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 166–174. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-166-174

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

Введение

В настоящее время природные полисахариды и их производные привлекают все большее внимание с точки зрения их практического применения. Хитозан, крахмал и целлюлоза, наиболее распространенные полисахариды, благодаря своим уникальным свойствам, таким как способность к биологическому разложению, биосовместимость и низкая токсичность делает их перспективными для производства средств медицинского назначения и пищевых добавок. Область исследований структурных и надструктурных характеристик целлюлозы бактериального происхождения дает возможность создания новых наноразмерных материалов. Химическая структура растительной и бактериальной целлюлозы одинакова, однако для последней, как показали исследования, характерна высокая степень кристалличности, большая длина и меньший диаметр волокон полимера. Образцы целлюлозы бактериального происхождения с большими значениями соотношений сторон волокон, по сравнению с их растительными аналогами, обладают большей влагоудерживающей и адсорбционной способностью, способствуют эффективной стабилизации как пен, так и эмульсий [1–4].

В работе Daniela Martins изучена стабилизирующая способность БЦ пен, образованных как животными, так и растительным белками. Пенообразующая способность белка и стабильность пены возрастала при введении в состав дисперсной системы более крупных хлопьев целлюлозы [5].

Особую роль играет бактериальная целлюлоза не только в качестве пищевой добавки, решающей технологические задачи, но и как компонент функциональных продуктов. Так окрашенные композиты БЦ, полученные при ферментации с *Monascus purpureus* были представлены *Purwadaria* в качестве сырья для производства новых функциональных продуктов питания, в основном в рецептуре искусственного мяса [6, 7].

Формирование 3d фибриллярной структуры бактериальной целлюлозы в процессе ее биосинтеза и возможность ее модификации, определяет прочностные и вязкоупругие свойства биоразлагаемого полимера, который является потенциальной альтернативой пластиковой упаковке [8, 9].

Несмотря на то, что существует множество интересных применений БЦ в производстве пищевых продуктов и их упаковки, на данный момент исследованы лишь некоторые из них, поскольку высокая стоимость синтеза БЦ является ограничивающим фактором. С другой стороны, было предложено несколько экономически эффективных питательных сред, способствующих снижению затрат на производство БЦ [10].

Тем не менее, ежегодно продолжают фундаментальные исследования биосинтеза и применения БЦ в различных направлениях. В связи с этим наша работа посвящена исследованию производства БЦ на молочной сыворотке, тем самым мы расширяем круг природных питательных сред для биосинтеза полимера и возможности утилизации отходов молочной промышленности. Характеристика БЦ с точки зрения пищевой добавки и практическое обоснование ее применения в различных пищевых системах, может помочь технологам и ученым-диетологам в разработке новых рецептур и упаковочных материалов для пищевых продуктов [11].

Материалы и методы

Состав питательной среды и процесс биосинтеза. Симбиотический микробный консорциум *Medusomyces gisevii*, это устойчивое микробное сообщество, состоящее из 15–30 родов, представленных дрожжами (преимущественно *Zygosaccharomyces* sp.) и уксуснокислыми бактериями (в основном *Gluconacetobacter xylinus*, обычно известными как *Acetobacter xylinum*). Более точный видовой состав чайного гриба культура подробно описана в других работах [12–14].

Гидролиз молочной сыворотке. Молочную сыворотку с массовой долей лактозы 4,5% использовали в качестве питательной среды для культивирования *Medusomyces gisevii*. Предварительно лактозу сыворотки гидролизвали ферментным препаратом (ФП) LACTA FREE «Biochem Srl» до 100% степени ее конверсии (содержания глюкозы 2,36%). Далее вносили растительный экстракт зеленого чая из расчета 4 г на 1 литр питательной среды. Объемное соотношение питательной среды и посевного материала (симбиота) составило 1:0,3. Процесс производства гель-пленок БЦ проводили в статическом режиме культивирования симбиотического консорциума *Medusomyces gisevii*.

Очистка и сушка целлюлозы. Каждые 3-е суток культивирования собирали и исследовали гель пленки БЦ. После окончания периода культивирования содержимое емкости интенсивно перемешивали в течение 10–15 минут, чтобы уменьшить количество прикрепившихся микробных клеток. Гель пленки БЦ на границе раздела воздух/жидкость вручную отделяли от культуральной жидкости, аккуратно отжимали и промывали деионизированной водой до достижения нейтральных значений pH. Каждый полученный образец геля отбирали и анализировали в трех экземплярах (т. е. из трех разных резервуаров для культивирования). Децеллюризацию промытого материал осуществляли в равных количествах объема 0,1 М NaOH при 28 °C в течение 3-х суток. Смену раствора щелочи

повторяли четыре раза, до получения бесцветной прозрачной пленки БЦ. Полученную пленку ВС нейтрализовали слабым раствором уксусной кислоты и промывали деионизированной водой до достижения нейтрального значения pH ($7,0 \pm 0,6$). Вес целлюлозных гелевых пленок во влажном состоянии измеряли с помощью лабораторных весов. После промывки образцы целлюлозы подвергали дегидратации двумя способами: (а) предварительно замораживали при температуре -70°C в течение 6 ч, а затем подвергали лиофилизации (лиофилизировали) при температуре -75°C в течение 48 часов с использованием опытной сублимационной сушилки на полке Jaba-Lyoph-Pride (Южная Корея), и (б) БЦ давали высохнуть в комнатных условиях (температура $24 \pm 2^\circ\text{C}$, влажность $65 \pm 1\%$) до получения постоянной массы. Далее в тексте первый и второй методы называются RT-методом (при комнатной температуре) и FD-методом (сублимационная сушка).

Определение водопоглощающей и набухающей способности. Водопоглощающую способность определяли в соответствии с монографией Британской Фармакопеи для альгинатных повязок и упаковки. Образцы гель-пленок БЦ разрезали на прямоугольники размером $2 \cdot 4$ см и взвешивали в качестве исходного веса (W_0). После этого образцы переносили в центрифужную пробирку, дно которой заполняли вязаной марлей для поглощения отжатой воды и подвергали центрифужной дегидратации в течение 15 мин при 1200 об / мин. Эти образцы были взвешены еще раз (W_1). Вес полностью высушенных образцов (W_4) измеряли после сушки при 105°C до постоянной массы.

Набухающую способность высушенной гель-пленки БЦ определяли следующим образом: образцы высушивали при 50°C или вымораживанием до постоянной массы и затем замачивали в растворе, содержащем 2,5 моль/л $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и 142 ммоль/л NaCl в течение 30 минут. После инкубации образцы поднимали пинцетом в течение 30 с для удаления поверхностной жидкости и взвешивали (значение W_2). Для определения количества жидкости, удерживаемой между фибриллами, набухшие образцы обезвоживали центрифугированием, как описано выше, и взвешивали (W_3). Емкость удерживания воды (WHC) и емкость поглощения воды (WAC) были высчитаны как:

$$\text{WHC} = (W_0 - W_4) / W_4, \quad (1)$$

$$\text{WAC} = (W_2 - W_4) / W_4, \quad (2)$$

где W_0 – масса гель-пленки БЦ; W_1 – масса гель-пленки БЦ после центрифужной дегидратации; W_2 – масса гель-пленки БЦ после набухания;

W_3 – масса набухшей гель-пленки БЦ после центрифугирования; W_4 – масса высушенной гель-пленки БЦ.

Жидкость, в образцах БЦ, рассматривалась как состоящая из двух частей:

а) удерживаемая между волокнами ($W_0 - W_1$ для нативных гель-пленок БЦ) и ($W_2 - W_3$ для дегидратированных образцов БЦ);

б) удерживаемая внутри отдельных волокон ($W_1 - W_4$ для нативных гель-пленок БЦ) и ($W_3 - W_4$ для дегидратированных образцов БЦ).

Определение липидсвязывающей способности. *In vitro* липидсвязывающая способность (ЛСС) полисахаридов определялась трехкратно по установленной методике [15, 16].

Каждый образец полисахарида (20 мг) растворяли в 1,25 мл 0,6 моль l^{-1} HCl и инкубировали в течение 30 мин на водяной бане 37°C с постоянным встряхиванием. Затем в каждую пробирку добавляли по 25 г оливкового масла, вихривали и инкубировали в одинаковых условиях в течение 2 ч. После инкубации добавляли 8 мл фосфатного буфера ($\text{pH} = 7,4$) и корректировали pH раствора до 6,8 с 1 моль l^{-1} NaOH и инкубировали снова в течение 30 мин, чтобы имитировать дуоденальные состояния. Далее пробирки центрифугировали при 697 g в течение 10 мин, а супернатант, представляющий несвязанные липиды, измеряли гравиметрически. Липидсвязывающая способность (ЛСС) образцов была рассчитана по уравнению (3):

$$\text{ЛСС} = \frac{25 - m_1}{m_2}, \quad (3)$$

где 25 – масса оливкового масла, взятого для определения ЛСС, г; m_1 – масса несвязанного оливкового масла, г; m_2 – масса полисахарида, г.

Концентрацию глюкозы культуральной жидкости гидролизованной молочной сыворотки определяли тест системой «Глюкоза-GOD» производства «Вектор-Бест». Титруемую кислотность определяли по ГОСТ 33957–2016. Результаты измерения синтезированной гель-пленки БЦ, расчеты степени конверсии, скорости биосинтеза субстратов математически обработаны.

Степень конверсии (СК, %) была рассчитана по уравнению (4):

$$\text{СК} = \frac{m_{\text{БЦ}}}{m_1 - m_2}, \quad (4)$$

где $m_{\text{БЦ}}$ – масса синтезированной БЦ в пересчете на сухие вещества с 1 л культуральной жидкости, г СВ/л; m_1 – начальное количество глюкозы в 1 л культуральной жидкости, г; m_2 – количество глюкозы в 1 л культуральной жидкости после биосинтеза БЦ, г.

Результаты

Биосинтез бактериальной целлюлозы на гидролизованной молочной сыворотке проводили в конические колбы Эрленмейера в термостатируемых условиях $T = 31 \pm 0,5^\circ\text{C}$. Начальное количество глюкозы питательной

среды 1,7%, продолжительность биосинтеза 21-и сутки. Каждые 3-е суток культивирования оценивали массу полученной БЦ, определяли изменение параметров биосинтеза: титруемая кислотность, pH, количество глюкозы питательной среды (рисунок 1).

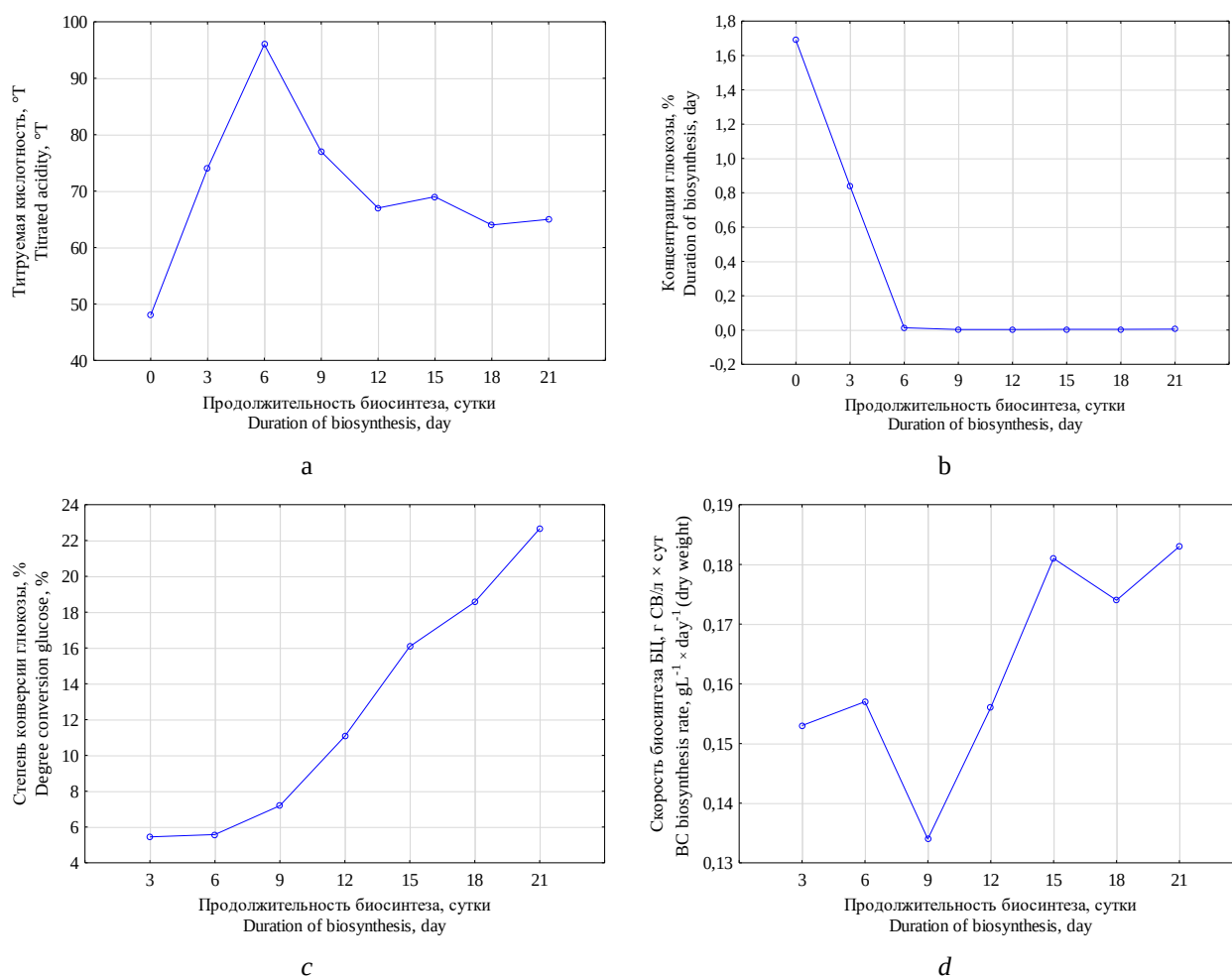


Рисунок 1. Изменение титруемой кислотности (a), концентрации (b) и степени конверсии глюкозы (c); скорости биосинтеза БЦ (d) на гидролизованной молочной сыворотке в зависимости от продолжительности процесса

Figure 1. Changes in titrated acidity (a), concentration (b) and degree of glucose conversion (c); the rate of BC biosynthesis (d) on hydrolyzed whey, depending on the duration of the process

На рисунке 1, а представлено изменение титруемой кислотности культуральной жидкости в течение 21-х суток биосинтеза. Титруемая кислотность культуральной жидкости увеличивалась в два раза в течение шести суток культивирования и достигла 96°T , что может быть связано с развитием уксуснокислых бактерий. Интересно, что более длительный процесс биосинтеза БЦ симбиотическим консорциумом *Medusomyces gisevii*, на 9-е сутки и в последующем, характеризуется снижением титруемой кислотности до 65°T . Значение активной кислотности (pH) достигало максимального значения 2,72 так же на 6-е сутки, но в отличие от показателей титруемой кислотности

более длительное культивирование не приводило к снижению pH.

Определено резкое снижение количества глюкозы культуральной жидкости на 6-е сутки биосинтеза до 0,013%, что подтверждает преимущественное использование глюкозы целлюлозосинтезирующими бактериями симбиота *Medusomyces gisevii* как субстрата в биосинтезе полисахарида (рисунок 1, b). Низкие значения количества глюкозы в процессе культивирования коррелируют со снижением показателя титруемой кислотности в этот период, что подтверждает возможность использования органических кислот продуцентами в биосинтезе БЦ.

Степень конверсии глюкозы культуральной жидкости первые 6-ть суток процесса не превышает 6% (рисунок 1, с). Однако начиная с 9-х суток культивирования степень конверсии, рассчитанная по глюкозе, возрастает до 22,6%, что может быть связано вовлечение в биосинтез бактериальной целлюлозы других веществ в качестве субстратов, это подтверждается и низкими значениями количества глюкозы в этот период. Степень конверсии, рассчитанная по количеству синтезированной БЦ и негидролизованной лактозы молочной сыворотки до ферментации, на 21-е сутки культивирования составила 10,5%.

Определено наименьшее значение скорости биосинтеза БЦ на 9-е сутки процесса 0,134 г СВ / л × сут, на 15-е, 21-е сутки показатели биосинтеза достигли максимальных значений 0,181 г СВ/л×сут и 0,183 г СВ/л×сут соответственно (рисунок 1, d).

Биосинтез бактериальной целлюлозы происходил в течение 21-х суток, максимальное количество полисахарида достигло 3,84 г с 1 литра питательной среды в пересчете на сухие вещества (рисунок 2).

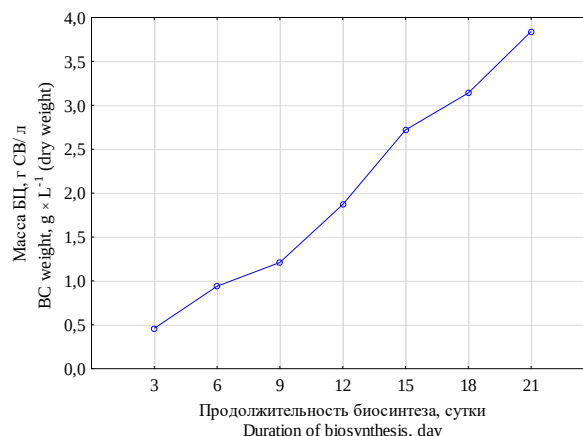


Рисунок 2. Изменение массы (в пересчете на СВ) синтезированной БЦ на гидролизованной молочной сыворотке в зависимости от продолжительности процесса

Figure 2. The change in mass (in terms of dry matter) of synthesized BC on hydrolyzed whey, depending on the duration of the process

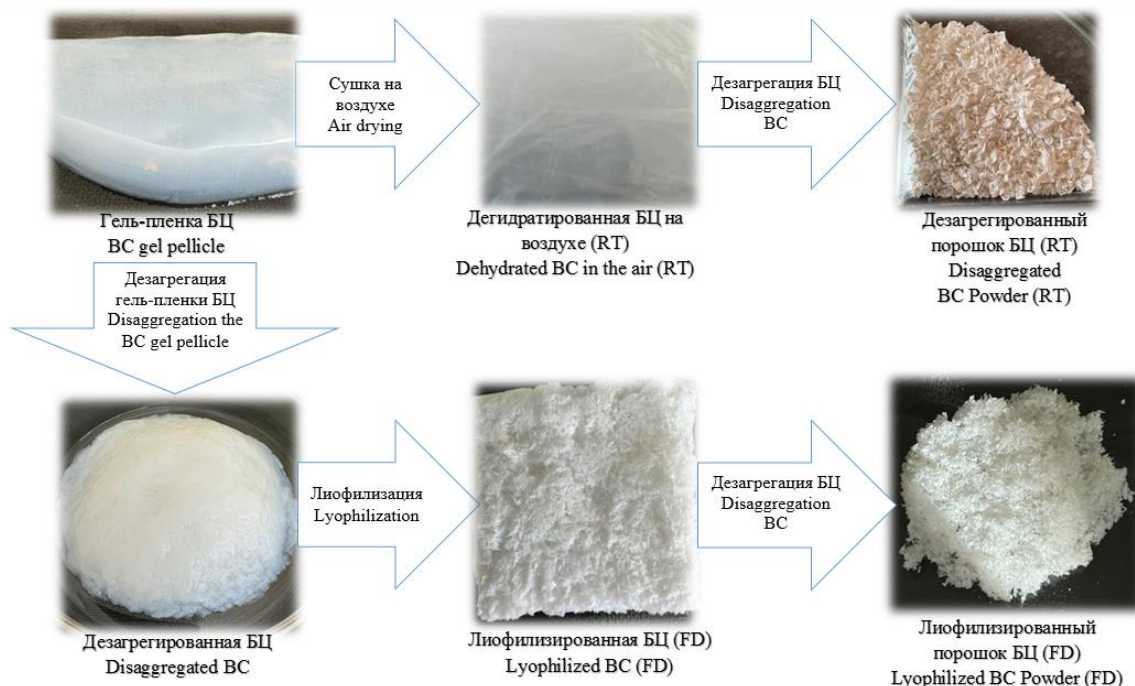


Рисунок 3. Внешний вид дезагрегированного дегидратированного образца БЦ, синтезированного на гидролизованной молочной сыворотке

Figure 3. The appearance of a disaggregated dehydrated BC sample synthesized on hydrolyzed whey

Полученные образцы гелевых пленок БЦ очищали от остатков культуральной среды и продуцентов в растворе гидроксида натрия, промывали дистиллированной водой до нейтральных значений pH, стерилизовали. После лиофилизации БЦ (FD) дезагрегировали на лабораторной мельнице циклонного типа TAGLER ЛМЦ-5

«Циклон» (рисунок 3) с получением сухого порошка. Дезагрегировали на мельнице так же образцы БЦ (RT) высушенные до постоянной массы на воздухе при $T = 24^\circ\text{C}$.

Определено, что насыпная плотность порошка лиофилизированной БЦ в 8,5 раз меньше, чем высушенного на воздухе (таблица 1).

По результатам исследований физико-химических свойств БЦ водоудерживающая способность синтезированных гель пленок бактериальной целлюлозы составила $82,35 \pm 0,63$ г/г (таблица 1).

Таблица 1.
Физико-химические параметры БЦ
на гидролизованной молочной сыворотке

Table 1.
Physico-chemical parameters of BC
on hydrolyzed whey

Физико-химические свойства Physico-chemical properties	Значения Values
Водоудерживающая способность гель-пленок БЦ Water-holding capacity of BC gel films	$82,35 \pm 0,33$ г/г (g/g)
Водопоглощающая способность Water absorption capacity:	
Температурная сушка Temperature Drying	$5,42 \pm 0,45$ г/г (g/g)
Сублимационная сушка Freeze - dried	$22,44 \pm 0,21$ г/г (g/g)
Насыпная плотность Bulk density:	
Температурная сушка Temperature Drying	$170,00 \pm 0,95$ кг/м ³ (kg/m ³)
Сублимационная сушка Freeze - dried	$20,00 \pm 0,75$ кг/м ³ (kg/m ³)
Микробиологические показатели Microbiological indicators:	
Дрожжи, КОЕ/г (см ³)* Yeast, CFU/g (cm ³)*	Не обнаружено Not detected
КМАФАнМ, КОЕ/г (см ³)** QMAFAnM, CFU/g (cm ³)*	$1,2 \times 10^2$

*ГОСТ 10444.12–2013 Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов | Standard 10444.12–2013 is the national standard Microbiology of food and animal feed. Methods for detecting and counting the number of yeast and mold fungi

**ГОСТ 10444.15–94 Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов | Standard 10444.15–94 is the national standard Food products. Methods for determining the number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms

Далее определяли водопоглощающую (набухающую) способность дегидратированных образцов пленок бактериальной целлюлозы RT и FD. Процесс набухания полимеров проходит в два этапа – набухание стенок фибрилл целлюлозы и разрушение слабых связей, которые образуются между макро- и микрофибриллами за счет их сближения в процессе дегидратации. Это приводит к увеличению объема и возникновению дополнительного пространства для молекул растворителя как между фибриллами, так и внутри макрофибрилл целлюлозы. Набухающая способность целлюлозы будет определяться способностью

молекул растворителя взаимодействовать с гидроксильными группами полимера и образовывать водородные связи. Установлено, что образцы целлюлозы RT синтезированные на молочной сыворотке обладают низкой набухающей способностью $5,42 \pm 0,45$ г/г (таблица 1). Медленная скорость потери воды целлюлозой определяет значительные структурные надструктурные изменения полимера. Они в меньшей степени выражены для лиофилизированной целлюлозы FD, что определяет большую в 4,1 раза водопоглощающую способность, в сравнении с образцами целлюлозы RT.

Вода в 3d сетчатой структуре гель пленок и регидратированных образцов БЦ удерживается в межфибрилярном пространстве, это капиллярная влага. Она может перемещаться внутри пространства материала. Другой вид жидкости, находящийся в структуре БЦ, удерживается фибриллами, это связанная вода, ее количество определяет продолжительность дегидратации целлюлозы. Соотношение количества свободной и связанной влаги важный показатель БЦ при включении полисахарида в рецептуру замороженных продуктов с целью регуляции активности воды в них. Установлено, что регидратированные образцы RT целлюлозы обладали в 3,43 раза большим показателем отношения количества свободной и связанной влаги в сравнении с FD образцами.

Было доказано, что бактериальная целлюлоза имеет фибриллярное строение, длина фибрилл намного больше, чем у растительной целлюлозы при их меньшем диаметре, что определяет значительную удельную поверхность. Нерастворимость, отсутствие ферментов у человека гидролизующих целлюлозу, и большая ее удельная поверхность дает возможность полисахариду эффективно связывать жир. Считается, что связанный жир хуже усваивается *in vivo* и выводится с калом [15]. Способность БЦ напрямую связывать жир может определять ее общую гипополипидемическую активность. В этом исследовании оценивался жиросвязывающий потенциал порошка лиофилизированной БЦ и коммерческого препарата хитозана [16, 17].

Определена большая липидосвязывающая способность (рисунок 4) бактериальной целлюлозы – $108,1 \pm 3,2$ г масла на 1 г полисахарида в сравнении с хитозаном – $78,8 \pm 1,8$ г масла на 1 г полисахарида. Эти данных указывают на то, что бактериальная целлюлоза может оказывать гипополипидемическое действие и позитивно влиять на здоровье человека.

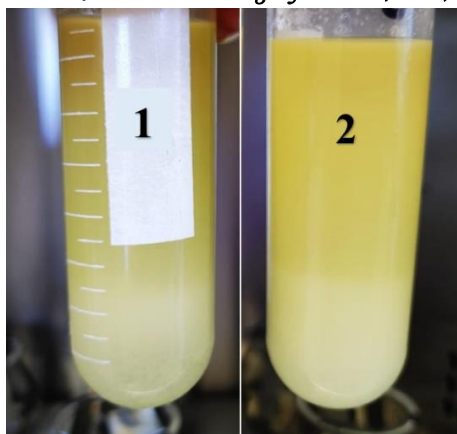


Рисунок 4. Исследование липидосвязывающей способности образцов (1) коммерческого хитозана, (2) дезагрегированной дегидратированной БЦ

Figure 4. Investigation of the lipid-binding method-news of samples of (1) commercial chitosan, (2) disaggregated dehydrated BC

Обсуждение

Результаты нашего исследования демонстрируют успешное применение гидролизованной молочной сыворотки в качестве питательной среды для культивирования симбиотического консорциума *Medusomyces gisevii*. Несмотря на низкое количество глюкозы (1,7%) питательной среды, на основе ферментированной молочной сыворотки, масса синтезированной бактериальной целлюлозы составило 3,84 г СВ/л. Наши результаты показателей эффективности биосинтеза

полисахарида на отходах молочной промышленности сравнимы или превышают данные [1, 18] производства целлюлозы на полусинтетических питательных средах, [19] на мелассе, [20] на селективной питательной среде Hestrin–Schramm (HS). Стоит отметить высокую водоудерживающую способность ($82,35 \pm 0,33$ г/г) нативных гелевых пленок бактериальной целлюлозы при сохранении высоких прочностных характеристик. Дегидратация БЦ сублимационной сушкой в меньшей степени оказывает влияние на структурные и надструктурные изменения 3d матрицы полисахарида, это выражается в большей набухающей способности $22,44 \pm 0,21$ г/г и насыпной плотности $20,00 \pm 0,75$ кг/м³. Большая удельная поверхность лиофилизированной БЦ определяет способность связывать липиды (ЛСС = 108,1 г масла на 1 г полисахарида). Учитывая полученные данные характеризующие БЦ, синтезированную на молочной сыворотке, и ее микробиологические показатели может помочь в обсуждении ее применения в различных пищевых системах, может помочь технологам и ученым-диетологам в разработке новых рецептов и упаковочных материалов для пищевых продуктов.

Благодарности

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23–24–10052 от 20.04.2023).

Литература

- 1 Pogorelova, N., Rogachev, E., Akimbekov, N. et al. Effect of dehydration method on the micro – and nanomorphological properties of bacterial cellulose produced by *Medusomyces gisevii* on different substrates // *J Mater Sci*. 2024. V. 59. P. 6614–6626. doi: 10.1007/s10853-024-09596-3
- 2 Pinto Nayra O.F., Bourbon A-I., Martins D., Pereira A. et al. Bacterial cellulose nanocrystals or nanofibrils as Pickering stabilizers in low-oil emulsions: A comparative study // *Food Hydrocolloids*. 2024. V. 157. P. 110427. doi: 10.1016/j.foodhyd.2024.110427
- 3 Calvo V., Fuentes L., Berdejo D., González-Domínguez J.M. et al. Oil-in-Water Pickering Emulsions Stabilized with Nanostructured Biopolymers: A Venue for Templating Bacterial Cellulose // *Int. J. Mol. Sci*. 2023. V. 24. P. 13141. doi: 10.3390/ijms241713141
- 4 Sommer A., Staroszczyk H. Bacterial cellulose vs. bacterial cellulose nanocrystals as stabilizer agents for O/W pickering emulsions // *Food Hydrocolloids*. 2023. V. 145. P. 109080. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.109080
- 5 Martins D., Khodamoradi N., Silva-Carvalho R., Gama M. et al. Effect of bacterial cellulose on the foaming properties of egg white and soy proteins // *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*. 2024. V. 7. P. 100517. doi: 10.1016/j.carpta.2024.100517
- 6 Kamal T, Ul-Islam M, Fatima A, Ullah MW, Manan S. Cost-Effective Synthesis of Bacterial Cellulose and Its Applications in the Food and Environmental Sectors // *Gels*. 2022. V. 8(9). P. 552. doi: 10.3390/gels8090552
- 7 Lin D., Liu Zh., Shen R., Chen S. et al. Bacterial cellulose in food industry: Current research and future prospects // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. V. 158. P. 1007–1019. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.04.230
- 8 Jang E.J., Padhan B., Patel M., Pandey J.K. et al. Antibacterial and biodegradable food packaging film from bacterial cellulose // *Food Control*. 2023. V. 153. P. 109902. doi: 10.1016/j.foodcont.2023.109902
- 9 Gromovykh T.I. et al. Structural organization of bacterial cellulose: The origin of anisotropy and layered structures. *Carbohydrate polymers*. 2020. V. 237. P. 116140. doi: 10.1016/j.carbpol.2020.116140
- 10 Azeredo H.M.C., Barud H., Farinas C.S., Vasconcellos V.M. et al. Bacterial cellulose as a raw material for food and food packaging applications // *Front. Sustain. Food Syst*. 2019. V. 3(7). doi: 10.3389/fsufs.2019.00007
- 11 Pogorelova N.A., Sarnitskaya N.A. Polysaccharides as food system stabilizers // *BIO Web of Conferences*. International Conference Scientific and Technological Development of the Agro-Industrial Complex for the Purposes of Sustainable Development (STDAIC-2023). Bishkek, 2024. P. 01009. doi:10.1051/bioconf/20248301009

- 12 Bishop P., Pitts E.R., Budner D., Thompson-Witrick K.A. Kombucha: Biochemical and microbiological impacts on the chemical and flavor profile // Food Chemistry Advances. 2022. V. 1. 100025. doi: 10.1016/j.focha.2022.100025
- 13 Diez-Ozaeta I., Astiazaran O.J. Recent advances in Kombucha tea: Microbial consortium, chemical parameters, health implications and biocellulose production // Int J Food Microbiol. 2022. V. 16(377). P. 109783. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109783
- 14 Wang B., Rutherford-Markwick K., Zhang X-X., Mutukumira A.N. Kombucha: Production and Microbiological Research // Foods. 2022. V. 11(21). P. 3456. doi: 10.3390/foods11213456
- 15 Malm M., Liceaga A.M. Physicochemical properties of chitosan from two commonly reared edible cricket species, and its application as a hypolipidemic and antimicrobial agent // Polysaccharides. 2021. V. 2(2). P. 339–353. doi: 10.3390/polysaccharides2020022
- 16 May Kellie L., Tangso Kristian J., Hawley A., Boyd Ben J. et al. Interaction of chitosan-based dietary supplements with fats during lipid digestion // Food Hydrocolloids. 2020. V. 108. 105965. doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105965
- 17 Silva I.M.V., Machado F., Moreno M.J., Nunes C. et al. Polysaccharide Structures and Their Hypocholesterolemic Potential // Molecules. 2021. V. 26(15). P. 4559. doi: 10.3390/molecules26154559
- 18 Shavyrkina N.A. et al. Scale-up of biosynthesis process of bacterial nanocellulose // Polymers. 2021. V. 13. №. 12. P. 1920. doi: 10.3390/polym13121920
- 19 Revin V. V. et al. Characterizing bacterial cellulose produced by Komagataeibacter sucrofermentans H-110 on molasses medium and obtaining a biocomposite based on it for the adsorption of fluoride // Polymers. 2021. V. 13. №. 9. P. 1422. doi: 10.3390/polym13091422
- 20 Hamed D.A., Maghrawy H.H., Abdel Kareem H. Biosynthesis of bacterial cellulose nanofibrils in black tea media by a symbiotic culture of bacteria and yeast isolated from commercial kombucha beverage // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2023. V. 39. №. 2. P. 48. doi: 10.1007/s11274-022-03485-0

References

- 1 Pogorelova, N., Rogachev, E., Akimbekov, N. et al. Effect of dehydration method on the micro – and nanomorphological properties of bacterial cellulose produced by *Medusomyces gisevii* on different substrates. J Mater Sci. 2024. vol. 59. pp. 6614–6626. doi: 10.1007/s10853-024-09596-3
- 2 Pinto Nayra O.F., Bourbon A-I., Martins D., Pereira A. et al. Bacterial cellulose nanocrystals or nanofibrils as Pickering stabilizers in low-oil emulsions: A comparative study. Food Hydrocolloids. 2024. vol. 157. pp. 110427. doi: 10.1016/j.foodhyd.2024.110427
- 3 Calvo V., Fuentes L., Berdejo D., González-Domínguez J.M. et al. Oil-in-Water Pickering Emulsions Stabilized with Nanostructured Biopolymers: A Venue for Templating Bacterial Cellulose. Int. J. Mol. Sci. 2023 vol. 24. pp. 13141. doi: 10.3390/ijms241713141
- 4 Sommer A., Staroszczyk H. Bacterial cellulose vs. bacterial cellulose nanocrystals as stabilizer agents for O/W pickering emulsions. Food Hydrocolloids. 2023. vol. 145. pp. 109080. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.109080
- 5 Martins D., Khodamoradi N., Silva-Carvalho R., Gama M. et al. Effect of bacterial cellulose on the foaming properties of egg white and soy proteins. Carbohydrate Polymer Technologies and Applications. 2024. vol. 7. pp. 100517. doi: 10.1016/j.carpta.2024.100517
- 6 Kamal T, Ul-Islam M, Fatima A, Ullah MW, Manan S. Cost-Effective Synthesis of Bacterial Cellulose and Its Applications in the Food and Environmental Sectors. Gels. 2022. vol. 8. no. 9. pp. 552. doi: 10.3390/gels8090552
- 7 Lin D., Liu Zh., Shen R., Chen S. et al. Bacterial cellulose in food industry: Current research and future prospects. International Journal of Biological Macromolecules. 2020. vol. 158. pp. 1007–1019. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.04.230
- 8 Jang E.J., Padhan B., Patel M., Pandey J.K. et al. Antibacterial and biodegradable food packaging film from bacterial cellulose. Food Control. 2023. vol. 153. pp. 109902. doi: 10.1016/j.foodcont.2023.109902
- 9 Gromovykh T.I. et al. Structural organization of bacterial cellulose: The origin of anisotropy and layered structures. Carbohydrate polymers. 2020. vol. 237. pp. 116140. doi: 10.1016/j.carbpol.2020.116140
- 10 Azeredo H.M.C., Barud H., Farinas C.S., Vasconcellos V.M. et al. Bacterial cellulose as a raw material for food and food packaging applications. Front. Sustain. Food Syst. 2019. vol. 3. no. 7. doi: 10.3389/fsufs.2019.00007
- 11 Pogorelova N.A., Sarnitskaya N.A. Polysaccharides as food system stabilizers. BIO Web of Conferences. International Conference Scientific and Technological Development of the Agro-Industrial Complex for the Purposes of Sustainable Development (STDAIC-2023). Bishkek, 2024. pp. 01009. doi: 10.1051/bioconf/20248301009
- 12 Bishop P., Pitts E.R., Budner D., Thompson-Witrick K.A. Kombucha: Biochemical and microbiological impacts on the chemical and flavor profile. Food Chemistry Advances. 2022. vol. 1. pp. 100025. doi: 10.1016/j.focha.2022.100025
- 13 Diez-Ozaeta I., Astiazaran O.J. Recent advances in Kombucha tea: Microbial consortium, chemical parameters, health implications and biocellulose production. Int J Food Microbiol. 2022. vol. 16. no. 377. pp. 109783. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109783
- 14 Wang B., Rutherford-Markwick K., Zhang X-X., Mutukumira A.N. Kombucha: Production and Microbiological Research. Foods. 2022. vol. 11. no. 21. pp. 3456. doi: 10.3390/foods11213456
- 15 Malm M, Liceaga AM. Physicochemical properties of chitosan from two commonly reared edible cricket species, and its application as a hypolipidemic and antimicrobial agent. Polysaccharides. 2021. vol. 2. no. 2. pp. 339–353. doi: 10.3390/polysaccharides2020022
- 16 May K.L., Tangso K.J., Hawley A., Boyd B.J. et al. Interaction of chitosan-based dietary supplements with fats during lipid digestion. Food Hydrocolloids. 2020. vol. 108. pp. 105965. doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105965

17 Silva I.M.V., Machado F., Moreno M.J., Nunes C. et al. Polysaccharide Structures and Their Hypocholesterolemic Potential. *Molecules*. 2021. vol. 26. no. 15. pp. 4559. doi: 10.3390/molecules26154559

18 Shavyrkina N.A., Budaeva V.V., Skiba E.A., Mironova G.F. et al. Scale-Up of Biosynthesis Process of Bacterial Nanocellulose. *Polymers*. 2021. vol. 13. no 12. pp. 1920. doi: 10.3390/polym13121920

19 Revin V.V. et al. Characterizing bacterial cellulose produced by *Komagataeibacter sucrofermentans* H-110 on molasses medium and obtaining a biocomposite based on it for the adsorption of fluoride. *Polymers*. 2021. vol. 13. no. 9. pp. 1422. doi: 10.3390/polym13091422

20 Hamed D.A., Maghrawy H.H., Abdel Kareem H. Biosynthesis of bacterial cellulose nanofibrils in black tea media by a symbiotic culture of bacteria and yeast isolated from commercial kombucha beverage. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2023. vol. 39. no. 2. pp. 48. doi: 10.1007/s11274-022-03485-0

Сведения об авторах

Наталья А. Погорелова к.б.н., доцент, кафедры продуктов питания и пищевой биотехнологии, Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, ул. Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Россия, na.pogorelova@omgau.org

 <https://orcid.org/0000-0001-8495-3869>

Наталья А. Сарницкая аспирант, кафедры продуктов питания и пищевой биотехнологии, Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, ул. Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Россия, na.sarnitskaya@omgau.org

 <https://orcid.org/0000-0002-1614-5090>

Константин К. Полянский д.т.н., профессор, кафедра управления социально-экономическими системами и бизнес-процессами, Воронежский филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, ул. Карла Маркса, 67А, Воронеж, 394030, Россия, mto.vrn@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8817-1466>

Анна А. Дерканосова д.т.н., профессор, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революций, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, aa-derk@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

Сергей А. Коновалов к.т.н., доцент, кафедра продуктов питания и пищевой биотехнологии, Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008 Россия, sa.konovalev@omgau.org

 <https://orcid.org/0000-0003-3537-8081>

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

Natalia A. Pogorelova Cand. Sci. (Biol.), associate professor, nutrition and food biotechnology departments, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 1 Institutskaya Ploshchad str., Omsk, 644008, Russia, na.pogorelova@omgau.org

 <https://orcid.org/0000-0001-8495-3869>

Natalia A. Sarnitskaya graduate student, nutrition and food biotechnology departments, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 1 Institutskaya Ploshchad str., Omsk, 644008, Russia, na.sarnitskaya@omgau.org

 <https://orcid.org/0000-0002-1614-5090>

Konstantin K. Polyansky Dr. Sci. (Engin.), professor, management of socio-economic systems and business processes department, Voronezh branch of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanov, Karla Marksa, 67A, Voronezh, 394030, Russia, mto.vrn@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8817-1466>

Anna A. Derkanosova Dr. Sci.(Engin.), professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, aa-derk@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

Sergey A. Konovalev Cand. Sci (Engin.), associate professor, food and food biotechnology department, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Institutskaya square, 1, Omsk, 644008, Russia, sa.konovalev@omgau.org

 <https://orcid.org/0000-0003-3537-8081>

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 30/07/2024	После редакции 15/08/2024	Принята в печать 02/09/2024
Received 30/07/2024	Accepted in revised 15/08/2024	Accepted 02/09/2024

Разработка питьевых киселей с обогащенным белково-углеводным составом для потенцирования иммунного статуса населения

Надежда А. Коломейцева	¹	k-nadya2704@ya.ru	 0000-0002-5549-6619
Ирина А. Глотова	¹	glotova-irina@ya.ru	 0000-0002-9991-1183
Алла Е. Куцова	¹	alla-toporkova@yandex.ru	 0000-0002-5778-6150
Анна А. Дерканосова	²	aa-derk@yandex.ru	 0000-0002-9726-9262

¹ Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия

² Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Кисель является традиционным блюдом национальной русской кухни. Однако общим недостатком киселей традиционного состава является использование в качестве желирующего агента веществ углеводной природы, хотя и с присущими им функциями пищевых волокон, в случае использования пектина. Актуальной проблемой является разработка пищевых систем гелеобразной консистенции, доступного ценового сегмента для обеспечения устойчивого потребительского спроса, обогащенных легкоусвояемыми белковыми фракциями, имеющими технологический потенциал к гелеобразованию, на основе вторичных сырьевых ресурсов молочной промышленности. Цель работы – разработка рецептурно-компонентных решений напитков комбинированного состава на основе молочной сыворотки и овсяной муки для здорового питания населения в условиях биологических рисков, комплексная оценка потребительских свойств комбинированных напитков. Объектами исследования служили напитки киселеобразной консистенции, приготовленные по традиционным и разработанным рецептурам: «Оранжевое настроение» и «Вишневое облако». Овсяная мука была использована в качестве структурообразующего компонента вместо картофельного крахмала, а также вместо части сахара-песка в рецептуре киселя, в сочетании с молочной сывороткой. Обобщенный критерий функции Харрингтона для модифицированных напитков равен 0,82, что соответствует оценке «очень хорошо» по шкале желательности. Проведена сенсориметрическая оценка аромата киселя «Вишневое облако» в сравнении с вишневым киселем «Наслаждение» торговой марки Stailon, производитель – Преображенский молочный комбинат. Установлено, что что в пробе 2, по сравнению с пробой 1, больше содержится алифатических спиртов, сложных эфиров (ацетатов), несвязанной воды, летучих кислот и меньше титруемых кислот, летучих аминов. Вне зависимости от используемого концентрированного сока в составе рецептур кисели получили общую дегустационную оценку 8,2 балла по 9-балльной шкале, при следующих показателях биологической ценности: коэффициент различия аминокислотного скора (КРАС) 27,97; биологическая ценность (БЦ) 72,03 %; коэффициент сопоставимой избыточности (с_с) 8,83.

Ключевые слова: питьевой кисель, овсяная мука, молочная сыворотка, рецептура, дегустационная оценка, сенсориметрическая оценка, биологическая ценность.

Development of drinking soursels with enriched protein-carbohydrate composition for potentiation of immune status of the population

Nadezhda A. Kolomeytseva	¹	k-nadya2704@ya.ru	 0000-0002-5549-6619
Irina A. Glotova	¹	glotova-irina@ya.ru	 0000-0002-9991-1183
Alla E. Kutsova	¹	alla-toporkova@yandex.ru	 0000-0002-5778-6150
Anna A. Derkanosova	²	aa-derk@yandex.ru	 0000-0002-9726-9262

¹ Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia

² Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Kissel is a traditional dish of the national Russian cuisine. However, a common disadvantage of kissels of traditional composition is the use of carbohydrate substances as a gelling agent, although with their inherent functions of dietary fiber, in the case of using pectin. A pressing problem is the development of food systems of gel-like consistency, an affordable price segment to ensure sustainable consumer demand, enriched with easily digestible protein fractions that have the technological potential for gelation, based on secondary raw materials of the dairy industry. The purpose of the work is to develop recipe-component solutions for drinks of combined composition based on whey and oatmeal for healthy nutrition of the population in conditions of biological risks, a comprehensive assessment of consumer properties of combined drinks. The objects of the study were drinks of jelly-like consistency, prepared according to traditional and developed recipes: "Orange mood" and "Cherry cloud". Oat flour was used as a structure-forming component instead of potato starch, and also instead of part of the granulated sugar in the jelly recipe, in combination with whey. The generalized criterion of the Harrington function for modified drinks is 0.82, which corresponds to the rating of "very good" on the desirability scale. A sensorimetric assessment of the aroma of the jelly "Cherry Cloud" was carried out in comparison with the cherry jelly "Naslazhdenie" of the Stailon trademark, manufactured by Preobrazhensky Dairy Plant. It was found that sample 2, compared with sample 1, contains more aliphatic alcohols, esters (acetates), unbound water, volatile acids and less titratable acids, volatile amines. Regardless of the concentrated juice used in the recipes, the kissels received a general tasting score of 8.2 points on a 9-point scale, with the following indicators of biological value: coefficient of difference of amino acid score (CDAS) 27.97; biological value (BV) 72.03 %; coefficient of comparable excess (с_с) 8.83.

Keywords: drinking jelly, oat flour, whey, recipe, tasting assessment, sensorimetric assessment, biological value.

Для цитирования

Коломейцева Н.А., Глотова И.А., Куцова А.Е., Дерканосова А.А. Разработка питьевых киселей с обогащенным белково-углеводным составом для потенцирования иммунного статуса населения // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 175–182. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-175-182

For citation

Kolomeytseva N.A., Glotova I.A., Kutsova A.E., Derkanosova A.A. Development of drinking soursels with enriched protein-carbohydrate composition for potentiation of immune status of the population. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 175–182. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-175-182

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

Введение

Кисель является традиционным блюдом национальной русской кухни, пришедшим к нам «из глубины веков» [1]. Однако за интервал времени, исчисляемый столетиями, сытное обеды блюдо «кисель» трансформировалось в десертный напиток желеобразной консистенции, который можно приобрести в жидкой готовой к употреблению товарной форме [2] или легко приготовить в домашних условиях из концентрата вторых сладких блюд [3]. Однако, несмотря на обилие ассортимента напитков десертной направленности, расширяемого, помимо нормативных документов, также и за счет технической документации на кисели пастеризованные и стерилизованные [4], общим недостатком киселей традиционного состава является использование в качестве желирующего агента веществ углеводной природы, хотя и с присутствующими им функциями пищевых волокон, в случае использования пектина.

В то же время современные реалии свидетельствуют о том, что для укрепления иммунного статуса населения в условиях повышенных биологических рисков актуальна проблема обогащения различных, в том числе традиционных, продуктов полноценным белком [5, 6], а также компонентами с иммуномоделирующим действием, к которым относят β -глюкан – полисахарид, входящий в состав «клеточных стенок зерновых культур, таких как овес и ячмень, а также грибов и микроорганизмов» [7]. Отмечен ряд полезных свойств различных продуктов с использованием овсяной муки и ее компонентов, включая возможности потенцирования иммунного статуса [8]. В частности, подтвержден мощный кардиопротекторный эффект β -глюкана, в том числе при химиотерапевтических воздействиях [9].

В качестве источника легкоусвояемых белковых фракций внимание исследователей и специалистов пищевой индустрии привлекает молочная сыворотка, особенно концентрированные формы ее пищевых веществ в виде концентратов [6, 10] и изолятов [11].

Актуальным направлением является разработка ферментированных сывороточных напитков с добавлением растительных компонентов. В [12] в качестве растительного компонента был использован смородиновый сироп. Для ферментации молочной сыворотки использовали лактообразующие дрожжи в количестве от 0,1 до 0,9 %. Показаны тонизирующие свойства напитка, его позитивное влияние на желудочно-кишечный тракт и, в итоге, на здоровье человека.

Отдельным направлением следует считать получение желированных продуктов и гелей

на основе молочной сыворотки и растительного компонента [13–17], причем авторами [14] рассматриваются процессы желеобразования при ферментации пищевой системы из сывороточного белка и ягодного сока, а ферментирующим агентом выступали молочнокислые бактерии. Растительный компонент был использован в виде апельсинового сока [13, 14], черничного сока. Также был рассмотрен эффект желеобразования в результате комбинаций молочной сыворотки с агентами, потенцирующими образование холодных гелей без дополнительного нагрева пищевой системы, в отличие от традиционного технологического подхода [15–17].

В качестве таких агентов были апробированы ионы кальция [15, 16], глюконодельталактон [17] за счет постепенного образования лактобионовой кислоты, которая снижает pH пищевой системы и создает условия для желирования полисахаридов в присутствии сывороточного протеина с использованием механизма реакции Майяра [18] либо с помощью физических методов обработки, например, ультразвука [19].

Уровнем промышленной реализации или готовностью к нему характеризуются желированные изделия, которые относятся к категории продуктов специализированного и здорового питания: железные конфеты, а также желированные протеиновые напитки на растительной основе [20, 21]. Железные конфеты из сывороточных белковых фракций [20] характеризуются высоким содержанием белка по сравнению с аналогами с традиционным желирующим компонентом на основе морских водорослей [22], за счет внесения в рецептуру изолята сывороточных белков, при этом помогают преодолеть тягу к сладкому после физических и умственных нагрузок.

Национальным агентством развития науки и технологий в коллаборации с Национальным центром технологий металлов и материалов (MTEC-NSTDA, Таиланд) разработан железный напиток M-Pro, массовая доля белка в котором составляет 6 % и который отвечает концепции биоциркулярной зеленой экономики (BCG) на фоне растущей популярности растительного белка у потребителей, а стабилизация белковых структур в растительной пищевой системе на основе бобов маша обеспечивается внесением гидроколлоидов [21].

Таким образом, актуальной проблемой является разработка пищевых систем желеобразной консистенции, доступного ценового сегмента для обеспечения устойчивого потребительского спроса, обогащенных легкоусвояемыми белковыми фракциями, имеющими технологический потенциал к желеобразованию, на основе вторичных сырьевых ресурсов молочной промышленности.

Цель работы – разработка рецептурно-компонентных решений напитков комбинированного состава на основе молочной сыворотки и овсяной муки для здорового питания населения в условиях биологических рисков, комплексная оценка потребительских свойств комбинированных напитков.

Материалы и методы

Объектами исследования служили напитки киселеобразной консистенции, приготовленные по традиционным [23] и разработанным рецептурам.

Дегустационную оценку продуктов по органолептическим показателям проводили на аттестованной испытательной лаборатории ИЛ ЦКП «КУЭП» (Свидетельство № 726.01/22, выдано 15.01.2018 ФБУ «Воронежский ЦСМ»), которая входит в состав Центра коллективного пользования «Контроль и управление энергоэффективными проектами», Центра оценки качества сырья и готовой продукции ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ).

При проведении дегустационной оценки группа испытателей из семи человек руководствовалась рекомендациями, изложенными в [24].

Изучение аромата готового напитка, полученного по экспериментальной рецептуре, в сравнении с промышленным образцом проведено в НИЛ ООО «Сенсорика-Новые Технологии» на анализаторе запахов «МАГ-8» (производство ООО «Сенсорные технологии», Воронеж) с методологией «Электронный нос» [25–28].

В качестве измерительного массива применены 8 сенсоров на основе пьезокварцевых резонаторов ОАВ-типа с базовой частотой колебаний 10,0 МГц с разнохарактерными пленочными сорбентами на электродах из массива «Напитки». Выбраны следующие покрытия: два полярных (чувствительных к спиртам, альдегидам, эфирам, фенолам, кетонам, эфирам, другим органическим соединениям, аминам) – полиэтиленгликоль сукцинат модифицированный (ПДЭГСК), полиэтиленгликоль фталат, (ПЭГФТ); три полярных, чувствительных к легколетучим кислотам, воде (18-К-6, ПВП, Твин 40); одно специфическое к фенолам и другим ароматическим соединениям, метиловым эфирам жирных кислот, эфирным маслам (ТОФО); два среднеполярных с активными центрами сорбции, проявляют чувствительность к спиртам, эфирам (ПЭГ2000, Тритон Х-100). Все сенсоры информативны.

Показатели биологической ценности напитков рассчитывали в соответствии с рекомендациями [29].

Результаты и обсуждение

Овсяная мука была использована в качестве структурообразующего компонента вместо картофельного крахмала, а также вместо части

сахара-песка в рецептуре киселя, в сочетании с молочной сывороткой [30].

Использовали овсяную муку для производства продуктов детского питания по ГОСТ 31645–2012, производитель – ООО ДиетПром», г. Пушкино Московской обл.

Молочная сыворотка соответствовала требованиям ГОСТ 34352–2017 «Сыворотка молочная – сырье», производитель – ООО Маслозавод «Дружба», Тамбовская обл., Мичуринский р-н, пос. Никольское.

Задача выбора оптимальной рецептуры была решена посредством обобщенной функции желательности Харрингтона, которая имеет широкие прикладные аспекты [31, 32]. Применение данного математического аппарата потребовало использования вычислительных возможностей ПЭВМ.

В таблицах 1 и 2 отражены традиционные и разработанные рецептурные композиции соответственно. Органолептические показатели питьевых киселей с овсяной мукой и белковым компонентом представлены в таблице 3.

Таблица 1.

Рецептурный состав традиционных напитков, на 1 т продукции

Table 1.

Recipe composition of traditional drinks, per 1 ton of product

Наименование продукта Product name	Компоненты Components	Содержание Contents	
		кг / kg	%
Кисель традиционный апельсиновый Traditional orange kisel	Сок апельсиновый восстановленный	227	22,7
	Сахар-песок	91	9,1
	Крахмал картофельный	45	4,5
	Вода питьевая	636	63,6
	Кислота лимонная	1	0,1
Кисель традиционный вишневый Traditional cherry kisel	Сок вишневый восстановленный	227	22,7
	Сахар-песок	91	9,1
	Крахмал картофельный	45	4,5
	Вода питьевая	636	63,6
	Кислота лимонная	1	0,1

Таблица 2.

Рецептурный состав разработанных напитков, на 1 т продукции

Table 2.

The recipe composition of the developed drinks, per 1 ton of products

Наименование продукта / Product name	Компоненты / Components	Содержание Contents	
		кг / kg	%
Кисель «Апельсиновое настроение» Kissel "Orange Mood"	Сыворотка молочная	770	77
	Мука овсяная	60	6
	Сахар-песок	50	5
	Апельсиновый сок концентрированный	60	6
	Вода	60	6
Кисель «Вишневое облако» Kissel "Cherry Cloud"	Сыворотка молочная	770	77
	Мука овсяная	60	6
	Сахар-песок	50	5
	Вишневый сок концентрированный	60	6
	Вода	60	6

Таблица 3.

Органолептические показатели питьевых киселей с овсяной мукой и белковым компонентом

Table 3.

Organoleptic characteristics of drinking jelly with oatmeal and protein component

Наименование характеристики / Name of characteristic	Характеристика / Characteristic	
	Кисель «Апельсиновое настроение» Kissel "Orange Mood"	Кисель «Вишневое облако» Kissel "Cherry Cloud"
Внешний вид и консистенция / Appearance and consistency	Однородная, вязкая, киселеобразная жидкость. Допускаются небольшие включения овсяных частиц	Однородная, вязкая, киселеобразная жидкость. Допускаются небольшие включения овсяных частиц
Вкус и запах / Taste and smell	Чистый, свойственный молочной сыворотке и апельсиновому соку, кисло-сладкий, с ароматом апельсина	Чистый, свойственный молочной сыворотке и вишневому соку, кисло-сладкий, с ароматом вишни
Цвет / Color	Кремowo-желтый	Светло-розовый

Технологическая схема производства питьевых киселей с овсяной мукой и белковым компонентом на основе молочной сыворотки реализуется на этапах, представленных на рисунке 1.

На рисунке 2 изображены диаграммы функций желательности модифицированных рецептов напитков, обогащенных пищевыми волокнами и белком, а также традиционных рецептов напитков.

На основании представленных данных можно сделать вывод, что обобщенный критерий функции желательности Харрингтона для модифицированного напитка равен 0,82, что

соответствует оценке «очень хорошо» по шкале желательности.

Помимо того, оценку органолептических показателей напитков проводили с помощью сенсориметрического метода анализа [25–28]. На испытание был представлен разработанный кисель «Вишневое облако» в качестве опытного образца (проба 2). В качестве контрольного образца был использован вишневый кисель «Наслаждение» торговая марка Stailon, производитель – Преображенский молочный комбинат (проба 1).

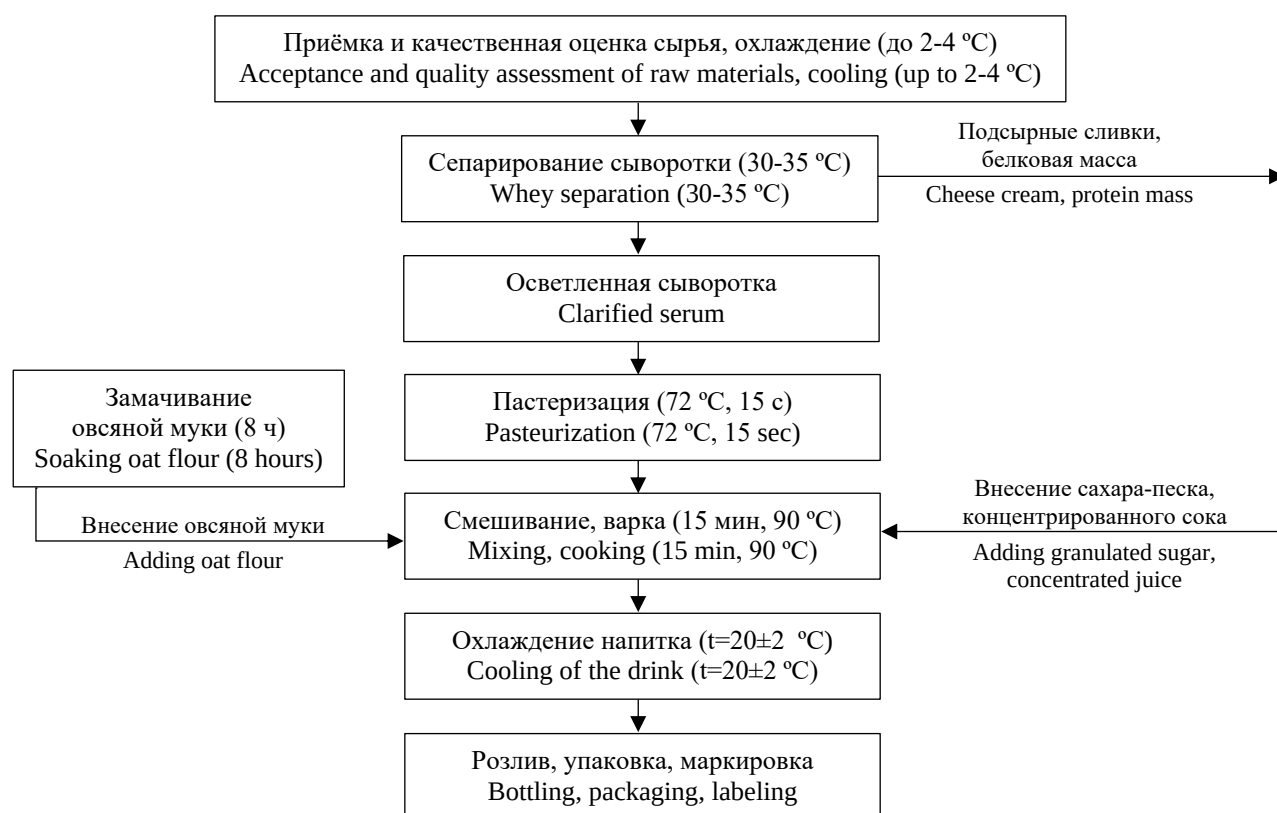


Рисунок 1. Технологическая схема производства питьевого киселя с овсяной мукой на основе молочной сыворотки

Figure 1. Technological scheme for the production of drinking jelly with oatmeal based on whey

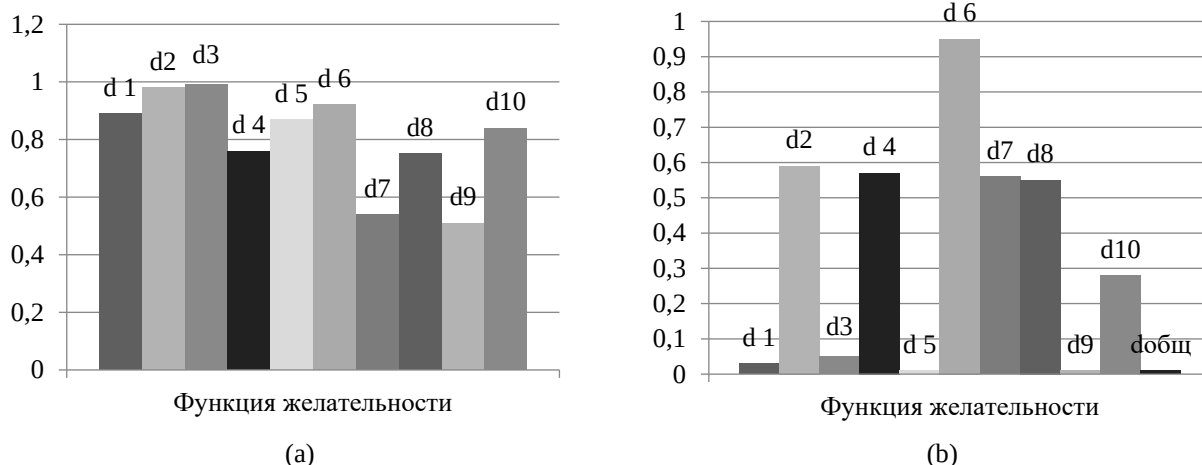


Рисунок 2. Диаграммы функции желательности модифицированной (а) и традиционной (б) рецептур питьевого киселя: d1, d2... d9 – частные функции желательности: d1 – лейцин, d2 – изолейцин, d3 – лизин, d4 – треонин, d5 – триптофан, d6 – валин, d7 – фенилаланин, d8 – метионин, d9 – пищевое волокно. Dобщ – обобщенный критерий желательности

Figure 2. Desirability function diagrams of the modified (a) and traditional (b) recipes for drinking jelly: d1, d2... d9 – particular desirability functions: d1 – leucine, d2 – isoleucine, d3 – lysine, d4 – threonine, d5 – tryptophan, d6 – valine, d7 – phenylalanine, d8 – methionine, d9 – dietary fiber. Dtotal – generalized desirability criterion

Установлено, что для тестируемых проб характерен различный качественный и количественный состав равновесной газовой фазы (РГФ) над пробами. Похожесть геометрии «визуальных отпечатков» максимумов для анализируемых проб 1 и 2, тем не менее, не позволяет говорить об идентичности состава РГФ над ними, что объясняется доминирующим влиянием при сорбции воды, спиртов, сложных эфиров, аминов. Различаются «визуальные отпечатки» максимумов размерами (площадью фигуры), которая зависит от содержания (концентрации) веществ в равновесной газовой фазе над образцами и незначительно формой, которая в большей степени определяется соотношением концентраций отдельных групп соединений.

Установлено, что РГФ над пробой 1 содержит немного больше по концентрации легколетучих веществ ($\approx 6\%$), по сравнению с пробой 2. Установлено различие в содержании летучих аминов (продукты деструкции аминокислот), несвязанной влаги, сложных эфиров, спиртов, кетонов в пробах. Сравнение состава РГФ над образцами представлено в таблице 4 по результатам обработки «визуальных отпечатков» максимумов методом нормирования. Установлено, что в пробе 2, по сравнению с пробой 1, больше содержится алифатических спиртов, сложных эфиров (ацетатов), несвязанной воды, летучих кислот и меньше титруемых кислот, летучих аминов.

Таблица 4.

Доля (% массы) отдельных соединений и классов веществ в РГФ над образцами

Table 4.

Share (% of mass) of individual compounds and classes of substances in the equilibrium gas phase over samples

Вид пробы Type	Другие органические соединения, % Other organic compounds, %	Титруемые кислоты, % Titratable acids, %	Кислоты, (уксусная, муравьиная, молочная и др.), % Acids (acetic, formic, lactic, etc.), %	Амины, % Amines, %	Спирты, альдегиды, % Alcohols, aldehydes, %
Проба 1 Sample 1	7,2	13,2	23	39,5	9,1
Проба 2 Sample 2	9,0	11,8	22	34,0	10,4

Сопоставление всех качественных и количественных показателей позволяет сделать вывод о различиях в составе РГФ над пробами, приготовленными по различающимся рецептурам, приводящим к изменению аромата готового продукта.

Вне зависимости от используемого концентрированного сока в составе рецептур киселей «Оранжевое настроение» и «Вишневое облако», продукты получили общую оценку 8,2 балла по 9-балльной шкале при дегустационной оценке, а также отмечены высокие показатели биологической ценности (таблица 5).

Таблица 5.

Результаты расчета биологической ценности
комбинированных напитков

Table 5.

The results of calculation of biological value
of combined drinks

Аминокислота Amino acid	Скор, %	Δ КРАС	БЦ, %	U	σс
Валин Valine	120,88	27,97	72,03	0,764	8,83
Изолейцин Isoleucine	137,10			0,674	
Лейцин Leucine	120,17			0,769	
Лизин Lysine	131,05			0,705	
Метионин Methionine	92,40			1,000	
Треонин Threonine	122,00			0,757	
Фенилаланин Phenylalanine	92,86			0,995	
Триптофан Tryptophan	146,50			0,631	

Лимитирующими аминокислотами являются метионин и фенилаланин, коэффициент различия аминокислотного скор составляет 27,97. Биологическая ценность киселей «Апельсиновое настроение» и «Вишневое облако» составляет 72,03 %. Расчетный показатель рентабельности производства питьевых киселей с обогащенным белково-углеводным составом за счет использования овсяной муки и молочной сыворотки составляет 15 %.

Закключение

Технологические разработки рецептурно-компонентных решений напитков «ретро» – ассортимента с обогащенным белково-углеводным составом прошли промышленную апробацию на предприятии для производства продуктов спортивного и диетического питания ООО «Тренд Нутришен», г. Воронеж.

Таким образом, разработаны и апробированы в условиях производства рецептуры напитков комбинированного состава на основе молочной сыворотки и овсяной муки, рекомендуемые для здорового питания населения в условиях биологических рисков. Напитки получили положительные экспертные оценки дегустационной комиссии и могут быть рекомендованы к внедрению в производство после исследования и обоснования их сроков годности. Представляет интерес, с одной стороны, использование восстановленных форм молочной сыворотки для получения сывороточной основы для напитков, а с другой – исследование возможности выпуска киселей с обогащенным белково-углеводным составом в виде концентратов высокой степени кулинарной готовности.

Литература

- Чусова А.Е., Жаркова И.М., Слепокурова Ю.И., Коркина А.В. и др. Особенности технологии производства питьевого киселя // Пищевая промышленность. 2024. № 1. С. 6–14. doi: 10.52653/PPI.2024.1.1.001
- ГОСТ 18488–2000. Концентраты пищевые сладких блюд. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2020. 66 с.
- ГОСТ Р 56558–2015. Консервы. Кисели питьевые фруктовые. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2015. 8 с.
- Кисели фруктовые консервированные. Научно-производственный центр «АГРОПИЩЕПРОМ», г. Мичуринск. URL: <https://agropit.ru>
- Коломейцева Н.А., Глотова И.А., Шахов С.В. Последствия распространения коронавируса COVID-19 и новых штаммов для развития агропромышленного комплекса и потребительского рынка // Пищевая промышленность. 2024. № 9. С. 45–48.
- Крылова Э.Н., Савенкова Т.В., Руденко О.С., Маврина Е.Н. Использование молочного белка в производстве жележных изделий // Техника и технология пищевых производств. 2018. Т. 48. № 3. С. 58–64. doi: 10.21603/2074-9414-2018-3-58-64
- Вырова Д.В., Абушанаб С.А.С., Селезнева И.С. Возможности применения бета-глюкана в промышленности и в медицине // Физика. Технологии. Инновации: тезисы докладов VI Международной молодежной научной конференции, посвященной 70-летию основания Физико-технологического института УрФУ (Екатеринбург, 20–24 мая 2019 г.). Екатеринбург: ООО «Издательство учебно-методический центр УПИ», 2019. С. 955–956.
- Самсонова Е.Д., Красноштанова А.А. Повышение пищевой ценности и полезных свойств продуктов с использованием овсяной муки // Успехи в химии и химической технологии. 2020. Т. XXXIV. № 11. С. 16–18.
- Metin T., Turk A., Yalcin A. Beta-glucan: A powerful antioxidant to overcome cyclophosphamide-induced cardiotoxicity in rats // Medicine Science | International Medical Journal. 2022. V. 11. № 4. P. 1431. doi: 10.5455/medscience.2022.06.143
- Bogdanova E.V., Melnikova E.I., Koshevarova I.B. The research of the types of moisture bonds in protein-carbohydrate concentrates of cheese whey // Periodico Tche Quimica. 2020. V. 17. № 34. P. 33–44.
- Пат. № 2823350, RU, A23C 21/00. Способ получения напитка на основе изолята сывороточных белков / Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б., Богданова Е.В., Рудниченко Е.С. № 2023136028; Заявл. 29.12.2023; Опубл. 22.07.2024, Бюл. № 21.
- Slozhenkina M.I., Skachkov D.A., Serova O.P., Pilipenko D.N. Innovative whey based tonic drink with the plant components // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2021. V. 677. № 3. P. 032002. doi: 10.1088/1755-1315/677/3/032002
- Lukin A. Use of acid whey in technology of enriched jelly dessert // Carpathian Journal of Food Science and Technjlogy. 2019. № 11(1). P. 94–101.
- Wang W., Wang Yu., Liu X., Yu Q. The Characteristics of Whey Protein and Blueberry Juice Mixed Fermentation Gels Formed by Lactic Acid Bacteria // Gels. 2023. V. 9. № 7. P. 565. doi:10.3390/gels9070565
- Uribe-Alvarez R., Murphy C.P., Coleman-Vaughan C., O'Shea N. Evaluation of ionic calcium and protein concentration on heat – and cold-induced gelation of whey protein isolate gels as a potential food formulation for 3D food printing // Food Hydrocoll. 2023. V. 142. P. 108777. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.108777

- 16 Wagner J., Andreadis M., Nikolaidis A., Biliaderis C.G. et al. Effect of ethanol on the microstructure and rheological properties of whey proteins: Acid-induced cold gelation // LWT. 2021. V. 139. P. 110518. doi: 10.1016/j.lwt.2020.110518
- 17 Zhang L., Zhang Z., Euston S.R., Li B. et al. Structural and gelling properties of whey proteins influenced by various acids: Experimental and computational approaches // Food Hydrocoll. 2023. V. 144. P. 109003. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.109003
- 18 Wang W.-Q., Sheng H.-B., Zhou J.-Y., Yuan P.-P. et al. The effect of a variable initial pH on the structure and rheological properties of whey protein and monosaccharide gelation via the Maillard reaction // Int. Dairy J. 2021. V. 113. P. 104896. doi: 10.1016/j.idairyj.2020.104896
- 19 Tomczyńska-Mleko M., Nishinari K., Mleko S., Terpiłowski K. et al. Cold gelation of whey protein isolate with sugars in an ultrasound environment // Food Hydrocoll. 2023. V. 139. P. 108510. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.108510
- 20 Dawes L. Clear Whey Jelly Sweets. URL: <https://www.myprotein.co.in/blog/recipe/clear-whey-jelly-sweets/>
- 21 M-Pro Jelly Drink: Plant-based protein drink. URL: <https://www.nstda.or.th/en/news/news-years-2021/m-pro-jelly-drink-plant-based-protein-drink.html>
- 22 Sukotjo S., Sukmadi I., Muhami M., Mastikha A. Financial Analysis And Business Feasibility Study Of Cinnamon Jelly Candy : Proceedings of the International Conference on Food, Agriculture and Natural Resources (FANRes 2018) // Advances in Engineering Research. 2018. V. 1. doi: 10.2991/fanres-18.2018.54
- 23 Могильный М.П. Сборник рецептов на продукцию общественного питания. ДеЛи плюс, 2016. 888 с. URL: <https://fort.crimea.com/catering/12998-kisel-iz-apelsinov-ili-mandarinov.html>
- 24 ГОСТ ISO 5492–2014. Органолептический анализ. Словарь. М.: Стандартинформ, 2015. 56 с.
- 25 Kuchmenko T.A. Electronic nose based on nanoweights, expectation and reality // Pure and Applied Chemistry. 2017. V. 89. № 10. P. 1587–1601. doi: 10.1515/pac-2016–1108
- 26 Kuchmenko T.A., Lvova L.B. A Perspective on Recent Advances in Piezoelectric Chemical Sensors for Environmental Monitoring and Foodstuffs Analysis // Chemosensors. 2019. V. 7. № 3. P. 39–45. doi: 10.3390/chemosensors7030039
- 27 Kuchmenko T., Lvova L. Piezoelectric Chemosensors and Multisensory Systems. 2022. URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/ebook/978-1-83916-277-0>
- 28 Kuchmenko T.A. Electronic nose based on nanoweights, expectation and reality // Pure and Applied Chemistry // The Scientific Journal of IUPAC. doi: 10.1515/pac-2016–1108
- 29 Надточий Л.А., Четкина А.Ю., Лепешкин А.И. Проектирование состава продуктов питания с заданными свойствами. СПб: Университет ИТМО, 2020. 46 с.
- 30 Коломейцева Н.А., Глотова И.А., Шахов С.В. Физико-химические свойства овсяной муки как структурообразующего компонента в рецептурах русских национальных напитков // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. 2024. Т. 21. № 3. С. 56–62.
- 31 Юсупова Г.Ф. Использование функции желательности в оценке уровня техносферной безопасности территории // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2017. № 3(76). С. 67–81.
- 32 Маслов Г.Г., Трубилин Е.И., Цыбулевский В.В. и др. Функция Харрингтона в исследованиях сельскохозяйственной техники // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 116–124.

References

- 1 Chusova A.E., Zharkova I.M., Slepokurova Yu.I., Korkina A.V. et al. Features of drinking jelly production technology. Food industry. 2024. no. 1. pp. 6–14. doi: 10.52653/PPI.2024.1.1.001. (in Russian).
- 2 GOST 18488–2000. Food concentrates for sweet dishes. General specifications. Moscow, Standartinform, 2020. 66 p. (in Russian).
- 3 GOST R 56558–2015. Canned food. Fruit drinking jelly. General specifications. Moscow, Standartinform, 2015. 8 p. (in Russian).
- 4 Canned fruit jelly. Research and Production Center "AGROPISHCHEPROM", Michurinsk. Available at: <https://agropit.ru> (in Russian).
- 5 Kolomeytseva N.A., Glotova I.A., Shakhov S.V. Consequences of the spread of coronavirus COVID 19 and new strains for the development of the agro-industrial complex and consumer market. Food industry. 2024. no. 9. pp. 45–48. (in Russian).
- 6 Krylova E.N., Savenkova T.V., Rudenko O.S., Mavrina E.N. Use of milk protein in the production of jelly products. Equipment and technology of food production. 2018. vol. 48. no. 3. pp. 58–64. doi: 10.21603/2074-9414-2018-3-58-64 (in Russian).
- 7 Vyrova D.V., Abushanab S.A.S., Selezneva I.S. Possibilities of using beta-glucan in industry and medicine. Physics. Technologies. Innovations: abstracts of reports of the VI International Youth Scientific Conference dedicated to the 70th anniversary of the foundation of the Physics and Technology Institute of Ural Federal University (Ekaterinburg, May 20-24, 2019). Ekaterinburg, ООО "Publishing House of the Educational and Methodological Center of UPI", 2019. pp. 955-956. (in Russian).
- 8 Samsonova E.D., Krasnoshtanova A.A. Increasing the nutritional value and useful properties of products using oat flour. Advances in Chemistry and Chemical Technology. 2020. vol. XXXIV. no. 11. pp. 16-18. (in Russian).
- 9 Metin T., Turk A., Yalcin A. Beta-glucan: A powerful antioxidant to overcome cyclophosphamide-induced cardiotoxicity in rats // Medicine Science | International Medical Journal. 2022. vol. 11. no. 4. pp. 1431. doi: 10.5455/medscience.2022.06.143
- 10 Bogdanova E.V., Melnikova E.I., Koshevarova I.B. The research of the types of moisture bonds in protein-carbohydrate concentrates of cheese whey. Periodico Tche Quimica. 2020. vol. 17. no. 34. pp. 33–44.
- 11 Melnikova E.I., Stanislavskaya E.B., Bogdanova E.V., Rudnichenko E.S. Method for producing a drink based on whey protein isolate. Patent RF, no. 2823350, 2024.
- 12 Slozhenkina M.I., Skachkov D.A., Serova O.P., Pilipenko D.N. Innovative whey based tonic drink with the plant components. IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2021. vol. 677. no. 3. pp. 032002. doi: 10.1088/1755-1315/677/3/032002
- 13 Lukin A. Use of acid whey in technology of enriched jelly dessert. Carpathian Journal of Food Science and Technology. 2019. no. 11(1). pp. 94–101.
- 14 Wang W., Wang Yu., Liu X., Yu Q. The Characteristics of Whey Protein and Blueberry Juice Mixed Fermentation Gels Formed by Lactic Acid Bacteria. Gels. 2023. vol. 9. no. 7. pp. 565. doi:10.3390/gels9070565

- 15 Uribe-Alvarez R., Murphy C.P., Coleman-Vaughan C., O'Shea N. Evaluation of ionic calcium and protein concentration on heat – and cold-induced gelation of whey protein isolate gels as a potential food formulation for 3D food printing. *Food Hydrocoll.* 2023. vol. 142. pp. 108777. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.108777
- 16 Wagner J., Andreadis M., Nikolaidis A., Biliaderis C.G. et al. Effect of ethanol on the microstructure and rheological properties of whey proteins: Acid-induced cold gelation. *LWT.* 2021. vol. 139. pp. 110518. doi: 10.1016/j.lwt.2020.110518
- 17 Zhang L., Zhang Z., Euston S.R., Li B. et al. Structural and gelling properties of whey proteins influenced by various acids: Experimental and computational approaches. *Food Hydrocoll.* 2023. vol. 144. pp. 109003. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.109003
- 18 Wang W.-Q., Sheng H.-B., Zhou J.-Y., Yuan P.-P. et al. The effect of a variable initial pH on the structure and rheological properties of whey protein and monosaccharide gelation via the Maillard reaction. *Int. Dairy J.* 2021. vol. 113. pp. 104896. doi: 10.1016/j.idairyj.2020.104896
- 19 Tomczyńska-Mleko M., Nishinari K., Mleko S., Terpiłowski K. et al. Cold gelation of whey protein isolate with sugars in an ultrasound environment. *Food Hydrocoll.* 2023. vol. 139. pp. 108510. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.108510
- 20 Dawes L. Clear Whey Jelly Sweets. Available at: <https://www.myprotein.co.in/blog/recipe/clear-whey-jelly-sweets/>
- 21 M-Pro Jelly Drink: Plant-based protein drink. Available at: <https://www.nstda.or.th/en/news/news-years-2021/m-pro-jelly-drink-plant-based-protein-drink.html>
- 22 Sukotjo S., Sukmadi I., Muhami M., Mastikha A. Financial Analysis And Business Feasibility Study Of Cinnamon Jelly Candy : Proceedings of the International Conference on Food, Agriculture and Natural Resources (FANRes 2018). *Advances in Engineering Research.* 2018. vol. 1. doi: 10.2991/fanres.18.2018.54
- 23 Mogilny M.P. Collection of recipes for catering products. DeLi plus, 2016. 888 p. Available at: <https://fort.crimea.com/catering/12998-kisel-iz-apelsinov-ili-mandarinov.html> (in Russian).
- 24 GOST ISO 5492–2014. Organoleptic analysis. Dictionary. Moscow, Standartinform, 2015. 56 p. (in Russian).
- 25 Kuchmenko T.A. Electronic nose based on nanoweights, expectation and reality. *Pure and Applied Chemistry.* 2017. vol. 89. no. 10. pp. 1587–1601. doi: 10.1515/pac-2016-1108
- 26 Kuchmenko T.A., Lvova L.B. A Perspective on Recent Advances in Piezoelectric Chemical Sensors for Environmental Monitoring and Foodstuffs Analysis. *Chemosensors.* 2019. vol. 7. no. 3. pp. 39–45. doi: 10.3390/chemosensors7030039
- 27 Kuchmenko T., Lvova L. Piezoelectric Chemosensors and Multisensory Systems. 2022. Available at: <https://pubs.rsc.org/en/content/ebook/978-1-83916-277-0>
- 28 Kuchmenko T.A. Electronic nose based on nanoweights, expectation and reality. *Pure and Applied Chemistry. The Scientific Journal of IUPAC.* doi: 10.1515/pac-2016-1108
- 29 Nadtochiy L.A., Chechetkina A.Yu., Lepeshkin A.I. Design of food composition with specified properties. SPb, ITMO University, 2020. 46 p. (in Russian).
- 30 Kolomeitseva N.A., Glotova I.A., Shakhov S.V. Physicochemical properties of oat flour as a structure-forming component in the recipes of Russian national drinks. *FES: Finance. Economy. Strategy.* 2024. vol. 21. no. 3. pp. 56–62. (in Russian).
- 31 Yusupova G.F. Using the desirability function in assessing the level of technosphere safety of a territory. *Socio-economic and technical systems: research, design, optimization.* 2017. no. 3(76). pp. 67–81. (in Russian).
- 32 Maslov G.G., Trubilin E.I., Tsybulevsky V.V. et al. Harrington function in agricultural machinery research. *Tavricheskiy Vestnik Agrarnoy Nauki.* 2022. no. 3(31). pp. 116–124. (in Russian).

Сведения об авторах

Надежда А. Коломейцева аспирант, кафедра технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, Воронежский аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, k-nadya2704@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5549-6619>

Ирина А. Глотова д.т.н., профессор, кафедра технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, Воронежский аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, glotova-irina@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9991-1183>

Алла Е. Куцова к.т.н., доцент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, alla-toporkova@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5778-6150>

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

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

Nadezhda A. Kolomeitseva graduate student, technology of storage and processing of agri-cultural products department, Voronezh Agrarian University named after Emperor Peter I, 1 Michurin St., Voronezh, 394087, k-nadya2704@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5549-6619>

Irina A. Glotova Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of storage and processing of agri-cultural products department, Voronezh Agrarian University named after Emperor Peter I, 1 Michurin St., Voronezh, 394087, glotova-irina@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9991-1183>

Alla E. Kutsova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of animal products department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, alla-toporkova@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5778-6150>

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

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 08/07/2024	После редакции 25/07/2024	Принята в печать 13/08/2024
Received 08/07/2024	Accepted in revised 25/07/2024	Accepted 13/08/2024

Макаронные изделия быстрого приготовления повышенной пищевой ценности с использованием муки из зерна льна белого и рыжика посевного

Юлия В. Фризен	¹	yuv.friзен@omgau.org	 0000-0002-1122-5809
Сергей А. Коновалов	¹	sa.konovalov@omgau.org	 0000-0003-3537-8081
Елена С. Гришина	¹	es.grishina@omgau.org	 0000-0002-7156-8731
Алина А. Мерклингер	¹	aa.merklinger@omgau.org	 0009-0008-1735-3730
Анна А. Дерканосова	²	aa-derk@ya.ru	 0000-0002-8817-1466
Константин К. Полянский	³	mto.vrn@mail.ru	 0000-0002-9726-9262

- ¹ Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, ул. Институтская пл., 1, г. Омск, 644008, Россия
² Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
³ Воронежский филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, Карла Маркса. 67А. Воронеж, 394030, Россия

Аннотация. Макаронные изделия быстрого приготовления известны своей удобностью и большим выбором вкусов и имеют ряд преимуществ: высокую усвояемость, длительный срок хранения, низкую стоимость и доступность для любых слоев населения. Однако традиционно они содержат высокое количество углеводов и часто не обеспечивают полноценного питания. Современное общество всё больше обращает внимание на своё здоровье и питание. Увеличение числа людей с непереносимостью глютена и желанием улучшить свои пищевые привычки привело к росту популярности продуктов, содержащих минимальное количество глютена. На фоне этого, макаронные изделия быстрого приготовления, обогащённые полезными компонентами, такими как кислоты Омега-3 и Омега-6, становятся всё более актуальными. Наиболее рациональным способом создания функциональных макаронных изделий является введение в рецептуру натуральных ингредиентов растительного происхождения, нетрадиционных для этой отрасли, что позволяет повысить пищевую ценность, улучшить органолептические и физико-химические показатели и расширить ассортимент макаронных изделий быстрого приготовления. Для проведения исследований использованы макаронная мука (крупка), полученная из зерна твердой пшеницы сорта Омский изумруд. По результатам проведенных анализов органолептических, физико-химических, биохимических показателей зерна и крупки можно утверждать, что качество зерна и муки соответствует требованиям стандартов. В качестве улучшителей использовали муку из зерна льна белого сорта Амбер и муку из зерна рыжика сорта Омич полученные путем измельчения целых зерен на лабораторной мельнице (все культуры возделывались в условиях южной лесостепи Омской области в учебно-опытном хозяйстве ФГБОУ ВО Омский ГАУ). Полученные результаты исследований химического состава льняной и рыжиковой муки свидетельствуют о высокой пищевой ценности, возможности использования в качестве биологически активных добавок для обогащения макаронных изделий витаминами и кислотами Омега-3 и Омега-6.

Ключевые слова: макаронные изделия быстрого приготовления, пищевая ценность, яровая твёрдая пшеница, лён белый, рыжиковая мука, глютен, омега-3, омега-6, омега-9.

Instant pasta with increased nutritional value using flour from white flax and camelina grains

Julia V. Friesen	¹	yuv.friзен@omgau.org	 0000-0002-1122-5809
Sergey A. Konovalov	¹	sa.konovalov@omgau.org	 0000-0003-3537-8081
Elena S. Grishina	¹	es.grishina@omgau.org	 0000-0002-7156-8731
Alina A. Merklinger	¹	aa.merklinger@omgau.org	 0009-0008-1735-3730
Anna A. Derkanosova	²	aa-derk@ya.ru	 0000-0002-8817-1466
Konstantin K. Polyansky	³	mto.vrn@mail.ru	 0000-0002-9726-9262

- ¹ Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Institutskaya Ploshchad, 1 str., Omsk, 644008, Russia
² Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
³ Voronezh Branch of the Plekhanov Russian University of Economics, Karl Marx. 67A. Voronezh, 394030, Russia

Для цитирования

Фризен Ю.В., Коновалов С.А., Гришина Е.С., Мерклингер А.А., Дерканосова А.А., Полянский К.К. Макаронные изделия быстрого приготовления повышенной пищевой ценности с использованием муки из зерна льна белого и рыжика посевного // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 189–192. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-189-192

For citation

Friesen Ju.V., Konovalov A.S., Grishina E.S., Merklinger A.A., Derkanosova A.A., Polyansky K.K. Instant pasta with increased nutritional value using flour from white flax and camelina grains. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 183–192. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-183-192

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

Abstract. Instant pasta is known for its convenience and wide variety of flavours, and it has a number of advantages: high digestibility, long shelf life, low cost and availability to all segments of the population. However, it usually contains a high amount of carbohydrates and often does not provide adequate nutrition. Modern society starts to increase its attention on health and nutrition. The rise in the number of people with gluten intolerance and the desire to improve their eating habits has led to the growing popularity of products containing a minimum amount of gluten. Amid this, instant pasta, enriched with useful components such as Omega-3 and Omega-6 acids, is becoming increasingly relevant. The most rational way to create functional pasta is to introduce natural ingredients of plant origin into the recipe, which are not usual for this industry, that allows the increase in the nutritional value, improving the organoleptic and physicochemical indicators and expanding the range of instant pasta. The research was carried out using pasta flour obtained from the grain of durum wheat of the Omsky Izumrud variety. Based on the results of the analyses of organoleptic, physicochemical, biochemical indicators of grain, it can be stated that the quality of grain and flour meets the requirements of the standards. Flour from the grain of white flax of the Amber variety and flour from the grain of camelina of the Omich variety obtained by grinding whole grains in a laboratory mill were used as improvers (all crops were grown in the conditions of the southern forest-steppe of the Omsk region in the educational and experimental field of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Omsk State Agrarian University). The obtained results of the chemical composition of flax and camelina flour indicate high nutritional value and the possibility of using them as biologically active additives for enriching pasta with vitamins and Omega-3 and Omega-6 acids.

Keywords: instant pasta, nutritional value, spring durum wheat, white flax, camelina flour, gluten, omega-3, omega-6, omega-9.

Введение

Большинство исследований, проведенных как за рубежом, так и у нас в стране отмечают два основных параметра оказывающих наибольшее влияние на выбор продукта – это влияние на здоровье и удобство употребления. Согласно этим фактам, все торговые марки, представленные на полке с продуктами быстрого приготовления, стараются подчеркнуть тот факт, что, покупая их продукт, потребитель не жертвует здоровьем и вкусом, а экономит время. Однако вред многих продуктов быстрого приготовления, в том числе и лапши быстрого приготовления различных марок – доказан и заключается в его низкой пищевой ценности. Низкая пищевая ценность обусловлена недостатком витаминов, жиров и аминокислот, поэтому сторонники «здорового питания» и «здорового образа жизни» не рекомендуют использовать этот продукт в качестве пищи. Так, обычно лапшу быстрого приготовления получают из пшеничной муки, а также с добавлением к ней в различных соотношениях помола риса, чумизы, проса, гаоляна, сои, фасоли и бобов. По сравнению с вышеперечисленными аналогами, предлагаемый продукт будет отличаться насыщенностью незаменимыми аминокислотами, различными витаминами, минимизированным содержанием глютена и низким гликемическим индексом. Добавление муки из зерна льна золотистого и рыжиковой муки в рецептуру изготовления лапши быстрого приготовления позволит позиционировать данный продукт как «продукт здорового образа жизни» [1–4]. Считается, что для хорошего самочувствия и нормальной жизнедеятельности, человеку в сутки необходимо получать из продуктов питания от 250 до 500 мг омега-3, омега-6 – от 500 до 1000 мг и омега-9 – от 1000 до 2000 мг. По нашим, расчётам пищевая и энергетическая ценность лапши быстрого приготовления, на 100 г продукта при смешивании трёх видов муки (муки из зерна твёрдой

пшеницы, из зерна льна золотистого и рыжиковой муки) в соответствии 60:30:10% по калорийности превышает аналоговую продукцию, изготовленную из муки мягких сортов пшеницы («Доширак», «Ролтон» и др.) на 16,75 ккал, по содержанию белков на 7,5 г, незаменимых аминокислот на 0,44 г и жирных кислот (Омега-3, 6, 9) на 22,69 г.

Материалы и методы

Материалом, использованным в эксперименте, были зерно яровой твёрдой пшеницы сорта Омский изумруд, зерно льна белого сорта Амбер, зерно ярового рыжика посевного сорта Омич. Урожай исследуемых культур был получен в 2023 году при применении зональной технологии возделывания на учебно-опытном поле, учебно-опытного хозяйства ФГБОУ ВО Омский ГАУ. Зерно исследуемых культур подвергалось анализу согласно общепринятым методикам следующих ГОСТов: ГОСТ 71208–2024 Зерно. Определение влажности, белка, количества клейковины методом спектроскопии в ближней инфракрасной области. Стекловидность и число падения также определяли при помощи ИК анализатора. ГОСТ ISO 665–2017 Семена масличных культур. Определение содержания влаги и летучих веществ. ГОСТ 10842–89 Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур. Метод определения массы 1000 зерен или 1000 семян. ГОСТ 10840–2017 Зерно. Метод определения натуры. ГОСТ 10857–64 Семена масличные. Методы определения масличности. ГОСТ 10854–2015 Семена масличные. Методы определения сорной, масличной и особо учитываемой примеси. ГОСТ 10853–88 Семена масличные. Метод определения зараженности вредителями. Выход муки вычисляли в процентах по отношению к массе фактически переработанного зерна. Качество полученной при помоле муки определяли по следующим методикам: ГОСТ 27839–2013 Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины. ГОСТ 27494–2016 Мука

и отруби. Методы определения зольности. ГОСТ Р 51410–99 Семена масличные. Определение кислотности масел. ГОСТ 34844–2022 Продукция пищевая. Определение массовой доли пищевых волокон. Жирнокислотный состав полученной муки из зерна льна белого и рыжика посевного определяли по ГОСТ 30418–96 Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава. Макароны изделия подвергались анализу согласно ГОСТ 31749–2012 Изделия макаронные быстрого приготовления. Общие технические условия.

Результаты и обсуждение

В условиях южной лесостепи Омской области на территории учебно-опытного хозяйства ФГБОУ ВО Омский ГАУ по зональной технологии было получено зерно яровой твёрдой пшеницы сорта Омский изумруд, зерно льна белого сорта Амбер и зерно ярового рыжика сорта Омич. Все сорта районированы по Западно-Сибирскому региону и относятся к Омской селекции. Полученное зерно было проанализировано на основные технологические свойства согласно соответствующим ГОСТам и ТУ, таблица 1.

Таблица 1.

Показатели качества зерна

Table 1.

Grain quality indicators

Показатели Indicators	Показатели качества Quality indicators		
	Яровая твёрдая пшеница, сорт Омский изумруд Spring durum wheat, Omsky Izumrud variety	Лён белый, сорт Амбер Flax White, Amber variety	Яровой рыжик, сорт Омич Spring camelina, Omich variety
Влажность, % Humidity, %	14,5	7,6	7,0
Белок, % Protein, %	17,6	23,8	38,6
Количество клейковины, % Content of crude gluten, %	36,5	–	–
Качество клейковины не ниже II группы, ед. ИДК Gluten quality according to IDK-1, units instrument	75	–	–
Число падения, с, не менее Fall number, s	288	–	–
Стекловидность, % Glassiness, %	85	–	–
Натура, г/л Nature, g / l	771	–	–
Масса 1000 семян, г Mass of 1000 grains, g	43,1	5,1	1,3
Масличность семян, % Oil content of seeds, %	–	44,7	23,8
Выход муки, % Flour yield, %	69	93	90
Сорная примесь, % Foreign material, %	отсутствует not found		
Зерновая примесь, % Grain impurities, %	отсутствует not found		
Заражённость вредителями Pest Control	невыявлено not found		

Анализ представленных данных в таблице 1 показал, что зерно яровой твёрдой пшеницы соответствует требованиям ГОСТ 9353–2016, зерно льна масличного соответствуют требованиям ГОСТ 10582–76 и зерно рыжика посевного соответствует требованиям ГОСТ 12097–76 [5–7].

Для проведения исследований из проанализированного зерна путём помола была получена мука из разных видов культур, причём выход муки из зерна яровой твёрдой пшеницы составляет 69%, за счёт удаления зародыша, плодовой и семенной оболочек и части алейронового слоя. Выход муки из зерна льна и рыжика посевного составляет 93 и 90%, соответственно, т. к. зерно не подвергается очистки от семенной оболочки и зародыш не отбивается, за счёт этого льняная и рыжиковая мука насыщены клетчаткой. Употребление продуктов переработки, в рецептуре которых используется такой вид муки, способствует очищению организма от токсинов и излишков холестерина, способствует улучшению пищеварения и поддержанию нормального уровня сахара в крови [8]. Органолептические и физико-химические

показатели качества муки из зерна яровой твёрдой пшеницы, льна белого и ярового рыжика представлены в таблице 2.

Омский изумруд – сорт яровой твердой пшеницы, характеризующийся высоким содержанием клейковины – 38%. Это существенный показатель, напрямую влияющий на качество получаемой из неё муки и, как следствие, на свойства конечной продукции – макаронных изделий [9]. Качество клейковины, измеренное по индексу деформации клейковины (ИДК), достигает 75 единиц. Высокий ИДК свидетельствует о хорошей эластичности и прочности клейковины, что крайне важно для формирования структуры теста и придания изделиям необходимой консистенции. Слабая клейковина, напротив, приводит к ломкости макарон, неприятной текстуре хлеба и другим дефектам. Зольность муки, составляющая 0,87%, является важным показателем, отражающим качество помола и состав зерна. Зольность представляет собой содержание минеральных веществ в муке, оставшихся после стораания органических компонентов.

Значительные отклонения от оптимального уровня зольности могут указывать на некачественную очистку зерна или несовершенство технологии помола. Неравномерность распределения минеральных веществ в зерне приводит к тому, что зольность служит важным инструментом контроля на всех этапах производства муки, от приемки зерна до упаковки готовой продукции. Более высокая зольность, может свидетельствовать о присутствии частиц оболочки зерна, которые могут ухудшить цвет и вкус готового продукта. Обратная ситуация – низкая зольность – может указывать на потерю ценных питательных веществ [10]. Методы определения зольности муки строго регламентированы и постоянно совершенствуются для обеспечения высокой

точности измерений. Гранулометрический состав муки, то есть распределение частиц по размеру, также критически важен для качества макаронных изделий. Предпочтительнее использовать муку с преобладанием крупных частиц (более 250 мкм), обеспечивающих оптимальную структуру теста. ГОСТ 31463–2012 регулирует содержание частиц различных размеров в муке высшего и первого сортов, ограничивая долю частиц более 140 и 190 мкм соответственно. Использование ситового анализа (сита № 190/43 в данном случае) позволяет оценить соответствие муки заданным стандартам. Мелкие фракции муки, хотя и могут придать тесту некоторую пластичность, могут также привести к слишком липкой консистенции, затрудняющей формование и сушку макаронных изделий [11].

Таблица 2.

Органолептические и физико-химические показатели качества муки

Table 2.

Organoleptic and physico-chemical indicators of flour quality

Показатели Indicators	Показатели качества Indicators		
	Мука (крупка) из яровой твёрдой пшеницы, сорт Омский изумруд Flour from spring durum wheat, Omsky Izumrud variety	Мука из льна белого, сорт Амбер Flour from white flax, Amber variety	Мука из ярового рыжика, сорт Омич Flour from spring camelina, Omich variety
Цвет Color	Светло-кремовый Light cream	Желтовато-кремовый Yellowish cream	Желто-оранжевого Yellow-orange
Запах Smell	Свойственный муке, без посторонних запахов, не затхлый, не плесневый Typical of flour, no foreign odors, not musty, not moldy	Сладковатый с лёгкой горчинкой Sweet with a slight bitterness	Имеет лёгкий аромат свойственный культуре Has a light aroma characteristic to the crop
Вкус Taste	Свойственный муке из здорового зерна, без посторонних привкусов, не кислый, не горький Typical of flour from healthy grain, without foreign tastes, not sour, not bitter	Лёгкий, нормальный, без посторонних включений Light taste, normal, without foreign inclusions	Не кислый, не горький с приятным ореховым привкусом Not sour, not bitter with a pleasant nutty flavor
Влажность, % Humidity, %	14,0	6,5	6,2
Количество клейковины, % Content of crude gluten, %	38,0	–	–
Качество клейковины не ниже II группы, ед. ИДК Gluten quality according to IDK-1, units instrument	75	–	–
Зольность, % Ash content, %	0,87	–	3,3
Кислотность, град. Acidity, deg	–	2,5	2,1
Пищевые волокна, г на 100 г Dietary fiber, g/100 g	–	27,3	15,0
Белок, г на 100 г Proteins, g/100 g	10,4	18,0	24,0
Жиры, г на 100 г Fats, g/100 g	0,73	42,0	37,0
Углеводы, г на 100 г Carbohydrates, g/100 g	69,8	28,0	15,0
Омега-3, г на 100 г Omega-3, g/100 g	–	12,8	14,3
Омега-6, г на 100 г Omega-6, g/100 g	–	5,9	12,7
Омега-9, г на 100 г Omega-9, g/100 g	–	7,3	15,1

В контексте здорового питания стоит отметить и пищевые волокна, содержание которых значительно варьируется в зависимости от вида муки. Льняная мука, содержащая 27,3 г пищевых волокон на 100 г. продукта. Эти волокна представляют собой клеточные оболочки растения и состоят преимущественно из полисахаридов [12]. Приблизительно 28% сухой массы льняной муки приходится на клетчатку, причем соотношение растворимых и нерастворимых волокон колеблется в пределах 20: 80–40:60. Нерастворимые

волокна, включающие целлюлозу, часть гемицеллюлозы и лигнины, которые обладают мощным антиоксидантным действием, способствуют нормализации пищеварения, предотвращают запоры и благотворно влияют на микрофлору кишечника. Растворимые же волокна способствуют снижению уровня холестерина в крови и стабилизации уровня сахара. Важно учитывать, что использование льняной муки в производстве макаронных изделий требует корректировки рецептуры из-за высокого содержания волокон,

которые могут повлиять на консистенцию готового продукта. Для получения оптимальных результатов часто используется смесь пшеничной и льняной муки в определённых пропорциях. Более того, добавление льняной муки обогащает макаронные изделия витаминами, минералами и ценными жирными кислотами. Рыжиковая мука также богата Омега-3, Омега-6 и Омега-9 (14,3, 12,7 и 15,1 г на 100 г продукта) и не содержит глютена. Кроме того в рыжиковой муке содержатся витамины группы В, Е, D, К и ретинол, макро- и микроэлементы (железо, калий, кальций, магний, медь, фосфор, цинк), антиоксиданты, которые улучшают работу ЖКТ и процессы пищеварения, способствуют улучшению процесса обмена веществ в организме, нейтрализуют свободные радикалы в организме, предотвращая развитие хронических заболеваний, таких как рак и сердечно-сосудистые заболевания, помогают стабилизировать уровень сахара в крови, обладают иммуностимулирующим действием, а также низкой калорийностью и подходят для диетического питания, рыжиковая мука богата клетчаткой и является хорошим источником белка (24 г на 100 г продукта), который необходим для роста и восстановления тканей в организме, что способствует повышению функциональных свойств и пищевой ценности продукта [13]. Поэтому, изучение влияния различных типов муки и их сочетаний на свойства макаронных изделий остаётся актуальной задачей современной пищевой технологии.

Таким образом, представленные данные свидетельствуют о том, что, муку из зерна яровой твёрдой пшеницы сорта Омский изумруд можно отнести к высшему сорту, льняная и рыжиковая мука имеют высокую пищевую ценность и могут быть использованы в качестве дополнительного сырьевого компонента в производстве макаронных изделий.

Структурно-механические свойства макаронных изделий являются важнейшим критерием их качества, влияющим на сохранность формы, структуру и потребительские достоинства продукции. В связи с этим нами были проведены исследования структурно-механических свойств макаронных изделий в зависимости от соотношения используемых компонентов, рисунок 1.

Из представленных данных видно, что наиболее высокая эффективность отмечалась при соотношении компонентов 60/30/10–88,1%. При сокращении внесения муки из зерна твёрдой пшеницы и увеличении композиционного примешивания в равных частях муки из зерна льна белого и рыжиковой муки наблюдается

снижение структурно-механических свойств макаронных изделий от 80,4 до 21,4% (от 70/15/15 до 40/30/30). рисунку применяется масштабирование по ширине одной колонки (8 см) и внизу добавляется подпись. Также возможно вставить рисунок по ширине двух колонок и на отдельной странице альбомной ориентации.

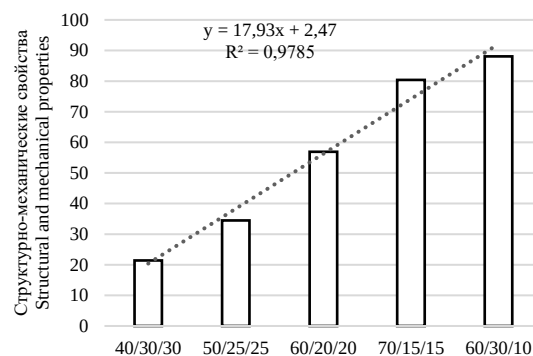


Рисунок 1. Влияние соотношения компонентов на структурно-механические свойства макаронных изделий

Figure 1. The influence of the ratio of components on the structural and mechanical properties of pasta

Коэффициент корреляции в данном случае показывает высокую степень зависимости структурно-механических свойств макаронных изделий от соотношения компонентов $r = 0,98$.

Соотношение ингредиентов 60/30/10 позволило получить макаронные изделия быстрого приготовления с низким содержанием глютена и гликемического индекса, обогащенных витаминами и кислотами омега-3, омега-6 и омега-9, рисунок 2.

Согласно проведённым лабораторным исследованиям, было установлено, что экспериментальный образец макаронных изделий, в соотношении ингредиентов 60/30/10 содержит на 100 г изделий глютена менее 12% омега-3 – 9,38 г, омега-6 – 4,04 г и омега-9 – 4,77 г (рисунок 3).



Рисунок 2. Экспериментальный образец макаронных изделий быстрого приготовления в соотношении ингредиентов 60/30/10

Figure 2. Experimental sample of instant pasta with the ingredient ratio 60/30/10

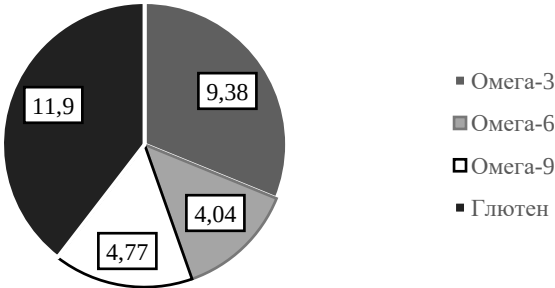


Рисунок 3. Пищевая ценность макаронных изделий быстрого приготовления

Figure 3. Nutritional value of instant pasta

Мука, произведенная из твёрдых сортов пшеницы, обладает низким гликемическим индексом, который составляет менее 55. Это делает её более предпочтительной для людей, следящих за уровнем сахара в крови, поскольку продукты с низким гликемическим индексом медленнее усваиваются организмом, что способствует стабильному уровню глюкозы [14]. Например, мука из белого льна имеет ещё более низкий гликемический индекс – всего 25, а ржи́ковая мука и вовсе 15. Эти виды муки могут быть отличной альтернативой для приготовления различных блюд, особенно для тех, кто стремится к более здоровому питанию. Интересно, что экспериментальный образец лапши быстрого приготовления, созданный на основе таких видов муки, также демонстрирует низкий гликемический

индекс, что делает его более подходящим для людей с диабетом или тех, кто хочет контролировать свой вес. В отличие от этого, большинство популярных продуктов быстрого приготовления, сделанных из муки мягкой пшеницы, имеют высокий гликемический индекс – 85 и более. Это связано с тем, что такая мука содержит больше углеводов, которые быстро усваиваются организмом, что может привести к резким скачкам уровня сахара в крови, [15]. Таким образом, выбор муки и продуктов на её основе может значительно повлиять на общее состояние здоровья. Использование муки из твёрдых сортов пшеницы или альтернативных видов, таких как мука из льна или ржи́ковая мука, может стать важным шагом на пути к более сбалансированному и здоровому питанию. Жиры входят в состав клеток и выполняют две основные функции: структурных компонентов биологических мембран и запасного энергетического материала. Жиры служат источником незаменимых пищевых веществ – жирорастворимых витаминов и незаменимых жирных кислот [16]. Жирные кислоты подразделяются на два основных класса – насыщенные и ненасыщенные (моно- и полиненасыщенные), таблица 3. Потребление жиров для взрослых должно составлять не более 30% от калорийности суточного рациона. Физиологическая потребность в жирах – от 72 до 127 г/сутки для мужчин и от 57 до 100 для женщин.

Таблица 3.
Жи́рно-кислотный состав макаронных изделий быстрого приготовления в сравнении с прототипом
Table 3.

Fatty acid composition of instant pasta in comparison with the prototype

Показатели Indicators	В граммах на 100 г. изделия In grams per 100 g of product	
	Прототип Prototype	Макаронные изделия быстрого приготовления Instant Pasta
Насыщенные жирные кислоты Saturated fatty acids		
Миристиновая Miristina	0,008	0,01
Пальмитиновая Palmitic	0,15	1,04
Стеариновая Stearine	0,01	0,47
Арахидиновая Arachinoid	0,01	0,11
Мононенасыщенные жирные кислоты Monounsaturated fatty acids		
Олеиновая (Омега-9) Oleic (Omega-9)	0,28	4,77
Эруковая Erucic	0,001	0,03
Пальмитолеиновая Palmitoleic	0,01	0,02
Гадолеиновая Gadoleic	0,01	0,07
Полиненасыщенные жирные кислоты Polyunsaturated fatty acids		
Линолевая (Омега -6) Linoleic (Omega-6)	0,81	4,04
Линоленовая (Омега -3) Linolenic (Omega-3)	0,02	9,38
Эйкозодиеновая Eicosadienoic	0,001	0,10

Таким образом, употребление лапши быстрого приготовления в состав которой входят мука из зерна яровой твёрдой пшеницы, мука из зерна льна белого и ржи́ковая мука способствует получению организмом 27,8% жирных кислот от суточной нормы.

Макаронные изделия представляют собой популярный и доступный продукт питания для большинства населения. За счёт введения в состав макаронных изделий муки из зерна льна белого и ржи́ковой муки способствует повышению их питательной ценности, т. к. они в большом количестве содержат витамины группы В, витамины А, К, Е, РР, К и др. таблица 4.

Таблица 4.
Витаминная ценность макаронных изделий быстрого приготовления в сравнении с прототипом
Table 4.

Vitamin value of instant pasta in comparison with the prototype

Показатели Indicators	В мг% на 100 г изделия In mg % per 100 g of product	
	Прототип Prototype	Макаронные изделия быстрого приготовления Instant Pasta
B1, тиамин B1, thiamine	0,32	0,70
B2, рибофлавин B2, riboflavin	0,42	0,50
B4, холин B4, choline	44,4	59,57
B5, пантотеновая B5, pantothenic	1,06	1,19
B6, пиридоксин B6, pyridoxine	0,42	0,57
B9, фолаты B9, folates	20,4	34,32
C, аскорбиновая C, ascorbic	1,20	0,66
E, альфатокоферол, ТЭ E, alpha-tocopherol	1,91	1,90
K, филлохинон K, phyloquinone	0,25	0,43
PP, НЭ PP	2,67	3,89
Бетаин Betaine	0,02	0,31
A, РЭ A	1,20	1,10
H, биотин N, biotin	0,52	1,38
Ниацин Niacin	1,80	2,29

Как видно из таблицы 4, введение в состав макаронных изделий муки из зерна льна белого и рыжиковой муки насыщают продукт витаминами. Особенно изделие богато холином, который играет роль в обмене фосфолипидов в печени, является источником свободных метильных групп, действует как липотропный фактор; фолатыми – их недостаток приводит к анемии, лейкопении, тромбоцитопении. В целом практически по всем видам витаминов предлагаемое нами изделие превосходит прототип. Графически и более наглядно витаминный состав макаронных изделий быстрого приготовления в сравнении с прототипом показан на рисунке 4.

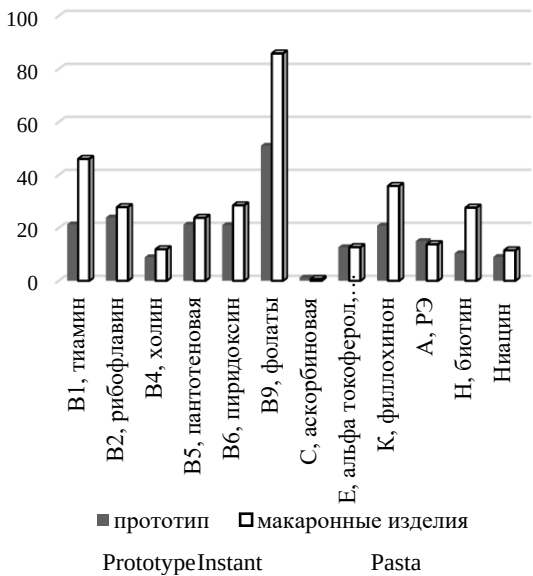


Рисунок 4. Витаминный состав макаронных изделий быстрого приготовления в сравнении с прототипом, % от суточной нормы
Figure 4. Vitamin composition of instant pasta compared to the prototype, % of daily value

Макаронные изделия готовят следующим образом: втестосмеситель, одновременно загружают просеянную пшеничную муку из твёрдых сортов пшеницы 55 кг, муку из зерна льна белого 10 кг и рыжиковую муку 10 кг, смешивают в течение 10 минут, затем при помощи дозатора добавляют 25 кг питьевой воды температурой 80 °С. Продолжительность смешивания ингредиентов составляет 15 минут. Заключительным этапом подготовки теста перед формованием является его окончательное «созревание», которое заключается в равномерном перемешивании в специальном распределителе в течение 10 минут. Далее из распределителя, после «созревания», тесто подают в систему вращающихся вальцов, где оно приобретает вид плоской ленты толщиной от 5–6 мм до 0,8 мм в конце раскатки. Затем прокатанное тесто разрезают в виде тонких лент. Сформированные макаронные изделия подвергают термической обработке нагретым воздухом при температуре 70 °С в течение 30 минут. Затем макаронные изделия охлаждают при температуре 38 °С в течение 3-х минут с максимальной влажностью продукта на выходе – 6,0%. Инспектируют макаронные изделия быстрого приготовления после охлаждения путём визуальной и дегустационной оценки. Далее макаронные изделия быстрого приготовления упаковывают и отправляют на хранение [17–20]. Таким образом, общее время на изготовления макаронных изделий быстрого приготовления составляет 60–90 минут.

Закключение

Заявленные макаронные изделия обладают высокими функциональными свойствами за счет использования пшеничной муки из твёрдых сортов пшеницы, содержащей много

сложных углеводов, у которых низкий гликемический индекс, поэтому они не стимулируют выработку инсулина и не приводят к набору веса.

За счет введения в композицию муки из зерна льна белого, который является рекордсменом по содержанию лигнанов – натуральных гормонов, по составу схожих с женскими, богата полезными антиоксидантами, насыщена микроэлементами, витаминами полиненасыщенными жирными кислотами омега-3, омега-6 и омега-9, которые обеспечивают правильную работу систем организма, а большое количество протеина помогает укрепить мышечную массу, так же мука из зерна льна белого богата клетчаткой и способствует очищению от токсинов и излишков холестерина, способствует улучшению пищеварения и поддержанию нормального уровня сахара в крови.

За счет введения в композицию рыжиковой муки, в состав которой также входят омега-3, омега-6 и омега-9, витамины, макро- и микроэлементы, антиоксиданты, в ней нет глютена, улучшают работу ЖКТ и процессы пищеварения, способствуют улучшению процесса обмена

веществ в организме, нейтрализуют свободные радикалы в организме, предотвращая развитие хронических заболеваний, таких как рак и сердечно-сосудистые заболевания, помогают стабилизировать уровень сахара в крови, обладают иммуностимулирующим действием, а также низкой калорийностью и подходят для диетического питания, богата клетчаткой и является хорошим источником белка, который необходим для роста и восстановления тканей в организме.

Заявленные макаронные изделия быстрого приготовления рекомендуются для массового питания населения, а также для специализированного питания, в частности, людям, страдающим дисбактериозом, сахарным диабетом, так как наличие в его составе витаминов, макро- и микроэлементов, способствуют улучшению работы иммунной и пищеварительной систем организма.

Заявленные макаронные изделия быстрого приготовления были изготовлены, апробированы и прошли расширенную дегустацию в лабораторных условиях на кафедрах агрономии, селекции и семеноводства и продуктов питания и пищевой биотехнологии ФГБОУ ВО Омский ГАУ.

Литература

- 1 Абуова А.Б., Муслимов Н.Ж., Кабылда А.И. Показатели качества и безопасности нетрадиционных видов муки для производства безглютеновых макаронных изделий // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2022. № 3. С. 40–55. doi: 10.36107/spfr.2022.345
- 2 Павельева Е.Г., Резниченко И.Ю. Разработка и оценка качества лапши быстрого приготовления специализированного назначения // *Вестник КрасГАУ*. 2023. № 8(197). С. 249–256. doi: 10.36718/1819–4036–2023–8–249–256
- 3 Осипова Г.А., Березина Н.А., Серегина Т.В., Жугина А.Е. Влияние белоксодержащих добавок на качество и биологическую ценность макаронных изделий // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2018. № 5–6(365–366). С. 34–39. doi: 10.26297/0579–3009.2018.5–6.8
- 4 Sissons M. Development of Novel Pasta Products with Evidence Based Impacts on Health-A Review // *Foods*. 2022. V. 11. № 1. doi: 10.3390/foods11010123
- 5 ГОСТ 9353–2016. Межгосударственный стандарт. Пшеница. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.
- 6 ГОСТ 10582–76. Государственный стандарт Союза ССР. Семена льна масличного. Промышленное сырье. Технические условия. М.: Стандартинформ, 1976. 4 с.
- 7 ГОСТ 12097–76. Государственный стандарт Союза ССР. Рыжик для переработки. Технические условия. М.: Стандартинформ, 1976. 4 с.
- 8 Коновалов С.А., Гаврилова Н.Б. Использование растительного сырья для разработки биотехнологии пищевой добавки содержащей природные бав // *Новейшие достижения в области медицины, здравоохранения и здоровьесберегающих технологий: Сборник материалов I Международного конгресса, Кемерово, 28–30 ноября 2022 года*. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2022. С. 191–194. doi: 10.21603/-I-IC-60
- 9 Фризен Ю.В., Некрасова Е.В., Гайвас А.А. Влияние отдельных элементов агротехнологии на продуктивность твердой пшеницы в южной лесостепи Омской области // *Аграрная наука*. 2024. № 2. С. 81–86. doi: 10.32634/0869–8155–2024–379–2–81–86
- 10 Ефремова А.А., Бакланова И.В., Наумова Н.Л. Использование цельносмолотой многозерновой муки для повышения пищевой ценности макаронных изделий // *Ползуновский вестник*. 2019. № 3. С. 8–12. doi: 10.25712/ASTU.2072–8921.2019.03.002.
- 11 Fantechi T., Contini C., Casini L. Pasta goes green: Consumer preferences for spirulina-enriched pasta in Italy // *Algal Research*. 2023. V. 75. P. 103275. doi: 10.1016/j.algal.2023.103275.
- 12 Некрасова Е.В., Фризен Ю.В., Ромащенко Н.С. Изучение сортов льна масличного в условиях южной лесостепи Омской области // *Сибирское садоводство: современное состояние и перспективы развития: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию образования кафедры садоводства, лесного хозяйства и защиты растений, Омск, 21 марта 2024 года*. Омск: Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2024. С. 291–293.
- 13 Nozhenko T., Nekrasova E., Frizen Yu. Organization of agricultural production and land use to ensure sustainable agricultural development // *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2023. V. 462. P. 01001. doi: 10.1051/e3sconf/202346201001
- 14 Smuda S.S., Mohamed R.M., Abdelmaksoud T.G. Development of gluten-free pasta with chickpeas as a wheat flour substitute and fortified with carob, beetroot, and spinach // *Food Systems*. 2024. V. 7. №. 3. P. 363–367. doi: 10.21323/2618–9771–2024–7–3–363–367

15 Гришина Е.С., Ступаченко К.А. Изучение влияния сока красного сладкого перца на пищевую ценность макаронных изделий из смеси муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и муки амарантовой // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 87–92. doi: 10.25712/ASTU.2072–8921.2020.02.017

16 Коновалов С.А., Коновалова О.А., Ященко О.Н., Гаммершмидт Т.В. Использование нетрадиционных видов сырья в технологии производства хлебобулочных изделий // Сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции посвященной 100-летию со дня рождения С.И. Леонтьева, Омск, 27 февраля 2019 года. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2019. С. 539–544.

17 Гришина Е.С., Ступаченко К.А. Изучение влияния растительного ингредиента на качество макаронных изделий, вырабатываемых из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта // Ползуновский вестник. 2019. № 4. С. 24–28. doi: 10.25712/ASTU.2072–8921.2019.04.006

18 Bento J.A.C. et al. Pre-gelatinized flours of black and carioca bean by-products: Development of gluten-free instant pasta and baked snacks // International Journal of Gastronomy and Food Science. 2021. V. 25. P. 100383. doi: 10.1016/j.ijgfs.2021.100383

19 Bouasla A., Wójtowicz A. Gluten-free rice instant pasta: Effect of extrusion-cooking parameters on selected quality attributes and microstructure // Processes. 2021. V. 9. №. 4. P. 693. doi: 10.3390/pr9040693

20 Zarzycki P. et al. Estimation of degree of starch gelatinisation in instant pasta using measurements of viscosity and water absorption of ground instant pasta dispersions // Acta Agrophysica. 2017. V. 24. №. 4.

References

1 Abuova A.B., Kabylda A.I., Muslimov N.Z. Quality and safety indicators of non-traditional types of flour for the production of gluten-free pasta. Storage and processing of agricultural raw materials. 2022. no. 3. pp. 40–55. doi: 10.36107/spfp.2022.345 (in Russian).

2 Pavelieva E.G., Reznichenko I.Y., Muslimov N.Z. Development and quality assessment of instant noodles for specialized purposes. Bulletin of KrasGAU. 2023. no. 8(197). pp. 249–256. doi: 10.36718/1819–4036–2023–8–249–256. (in Russian).

3 Osipova G.A., Berezina N.A., Seregina T.V., Zhugina A.E. The influence of protein-containing additives on the quality and biological value of pasta. News of higher educational institutions. Food technology. 2018. no. 5–6 (365–366). pp. 34–39. doi: 10.26297/0579–3009.2018.5–6.8. (in Russian).

4 Sissons M. Development of Novel Pasta Products with Evidence Based Impacts on Health-A Review. Foods. 2022. vol. 11. no. 1. doi: 10.3390/foods11010123

5 State Standard 9353–2016. Interstate standard. Wheat. Technical conditions. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 12 p. (in Russian).

6 State Standard 10582–76. Oil flax-seed. Industrial raw material. Specifications. Moscow, Standartinform Publ., 1976. 4 p. (in Russian).

7 State Standard 12097–76. False flax tor processing. Specifications. Moscow, Standartinform Publ., 1976. 4 p. (in Russian).

8 Konovalov S.A., Gavrilova N.B. Use of plant raw materials for the development of biotechnology of a food additive containing natural biologically active substances. The latest achievements in the field of medicine, health care and health-saving technologies: Collection of materials of the I International Congress. 2022. pp. 191–194. doi: 10.21603/-I-IC-60. (in Russian).

9 Friesen Y.V., Nekrasova E.V., Gaivas A.A. Influence of individual elements of agricultural technology on the productivity of durum wheat in the southern forest-steppe of the Omsk region. Agrarian science. 2024. no. 2. pp. 81–86. doi: 10.32634/0869–8155–2024–379–2–81–86 (in Russian).

10 Efremova A.A., Baklanova I.V., Naumova N.L. Use of whole-grain flour to increase the nutritional value of pasta. Polzunovsky Bulletin. 2019. no. 3. pp. 8–12. doi: 10.25712/ASTU.2072–8921.2019.03.002 (in Russian).

11 Fantechi T., Contini C., Casini L. Pasta goes green: Consumer preferences for spirulina-enriched pasta in Italy / T. Fantechi. Algal Research. 2023. vol. 75. pp. 103275. doi: 10.1016/j.algal.2023.103275

12 Nekrasova E.V., Friesen Y.V., Romashchenko N.S. Study of oil flax varieties in the conditions of the southern forest-steppe of the Omsk region. Siberian gardening: current state and development prospects: Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the formation of the Department of Horticulture, Forestry and Plant Protection. 2024. pp. 291–293. (in Russian).

13 Nozhenko T., Nekrasova E., Frizen Yu. Organization of agricultural production and land use to ensure sustainable agricultural development. E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2023. vol. 462. pp. 01001. doi: 10.1051/e3sconf/202346201001

14 Smuda S.S., Mohamed R.M., Abdelmaksoud T.G. Development of gluten-free pasta with chickpeas as a wheat flour substitute and fortified with carob, beetroot, and spinach. Food Systems. 2024. vol. 7. no. 3. pp. 363–367. doi: 10.21323/2618–9771–2024–7–3–363–367

15 Grishina E.S., Stupachenko K.A. Study of the influence of red sweet pepper juice on the nutritional value of pasta products made from a mixture of premium wheat flour and amaranth flour. Polzunovsky Bulletin. 2020. no. 2. pp. 87–92. doi: 10.25712/ASTU.2072–8921.2020.02.017 (in Russian).

16 Konovalov S.A., Konovalova O.A., Yashchenko O.N., Gammershmidt T.V. Use of non-traditional types of raw materials in the technology of bakery production. Materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of S.I. Leontiev. 2019. pp. 539–544. (in Russian).

17 Grishina E.S., Stupachenko K.A. Study of the influence of plant ingredient on the quality of pasta products produced from premium wheat flour. Polzunovsky Bulletin. 2019. no. 4. pp. 24–28. doi: 10.25712/ASTU.2072–8921.2019.04.006. (in Russian).

18 Bento J.A.C. et al. Pre-gelatinized flours of black and carioca bean by-products: Development of gluten-free instant pasta and baked snacks. International Journal of Gastronomy and Food Science. 2021. vol. 25. pp. 100383. doi: 10.1016/j.ijgfs.2021.100383

19 Bouasla A., Wójtowicz A. Gluten-free rice instant pasta: Effect of extrusion-cooking parameters on selected quality attributes and microstructure. Processes. 2021. vol. 9. no. 4. pp. 693. doi: 10.3390/pr9040693

20 Zarzycki P. et al. Estimation of degree of starch gelatinisation in instant pasta using measurements of viscosity and water absorption of ground instant pasta dispersions. Acta Agrophysica. 2017. vol. 24. no. 4.

Сведения об авторах

Юлия В. Фризен к.с.х.н., доцент, кафедра агрономии, селекции и семеноводства, Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, ул. Институтская пл., 1, г. Омск, 644008, Россия, yuv.friзен@omgau.org

<https://orcid.org/0000-0002-1122-5809>

Сергей А. Коновалов кафедра продуктов питания и пищевой биотехнологии, Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, ул. Институтская пл., 1, г. Омск, 644008, Россия, sa.konovalov@omgau.org

<https://orcid.org/0000-0003-3537-8081>

Елена С. Гришина к.т.н., доцент, кафедра продуктов питания и пищевой биотехнологии, Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, ул. Институтская пл., 1, г. Омск, 644008, Россия, es.grishina@omgau.org

<https://orcid.org/0000-0002-7156-8731>

Алина А. Мерклингер аспирант, кафедра агрономии, селекции и семеноводства, Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, ул. Институтская пл., 1, г. Омск, 644008, Россия, aa.merklinger@omgau.org

<https://orcid.org/0009-0008-1735-3730>

Анна А. Дерканосова д.т.н., профессор, кафедра ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революций, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, aa-derk@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8817-1466>

Константин К. Полянский д.т.н., профессор, кафедра управления социально-экономическими системами и бизнес-процессами, Воронежский филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, Карла Маркса, 67А Воронеж, 394030, Россия, mto.vrn@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

Вклад авторов

Юлия В. Фризен написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Сергей А. Коновалов обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Елена С. Гришина консультация в ходе исследования

Алина А. Мерклингер провела эксперимент, выполнила расчёты

Анна А. Дерканосова консультация в ходе исследования

Константин К. Полянский корректировал рукопись до подачи в редакцию

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Julia V. Friesen Cand. Sci. (Agric.), associate professor, agronomy, breeding and seed production department, , Omsk State Agrarian University named after. P.A. Stolypin, Institutskaya square, 1, Omsk, 644008, Russia, yuv.friзен@omgau.org

<https://orcid.org/0000-0002-1122-5809>

Sergey A. Konovalov Cand. Sci (Engin.), associate professor, food and food biotechnology department, Omsk State Agrarian University named after. P.A. Stolypin, Institutskaya square, 1, Omsk, 644008, Russia, sa.konovalov@omgau.org

<https://orcid.org/0000-0003-3537-8081>

Elena S. Grishina Cand. Sci (Engin.), associate professor, food and food biotechnology department, Omsk State Agrarian University named after. P.A. Stolypin, Institutskaya square, 1, Omsk, 644008, Russia, es.grishina@omgau.org

<https://orcid.org/0000-0002-7156-8731>

Alina A. Merklinger graduate student, breeding and seed production department, Omsk State Agrarian University named after. P.A. Stolypin, Institutskaya square, 1, Omsk, 644008, Russia, aa.merklinger@omgau.org

<https://orcid.org/0009-0008-1735-3730>

Anna A. Derkanosova Dr. Sci. (Engin), professor, restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Avenue, 19, Voronezh, 394036, Russia, aa-derk@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8817-1466>

Konstantin K. Polyansky Dr. Sci. (Engin), professor, management of socio-economic systems and business processes department, Voronezh branch of the Plekhanov Russian University of Economics, Karl Marx st., 67A Voronezh, 394030, Russia, mto.vrn@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

Contribution

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

Sergey A. Konovalov conducted a review of literary sources on the problem under study

Elena S. Grishina consultation during the study

Alina A. Merklinger did the experiment, did the calculations

Anna A. Derkanosova consultation during the study

Konstantin K. Polyansky correct it before filing in editing

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 24/07/2024	После редакции 15/08/2024	Принята в печать 02/09/2024
Received 24/07/2024	Accepted in revised 15/08/2024	Accepted 02/09/2024

Оценка различными методами содержания поврежденного крахмала в пшеничной муке высшего сорта

Ирина М. Жаркова	¹	zharir@mail.ru	 0000-0001-8662-4559
Инесса В. Плотникова	¹	plotnikova_2506@mail.ru	 0000-0001-5959-6652
Данил Иванчиков	¹	ivanchikov_99@mail.ru	 0000-0001-9814-6005

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

Аннотация. В процессе помола зерна в муку происходит механическое разрушение целостности некоторой части крахмальных гранул. Доля разрушенного крахмала в муке может существенно различаться в зависимости от принятой на предприятии технологии и особенностей работы используемого оборудования и оказывает значительное влияние на свойства замешиваемого теста и качество продукции. Цель работы – исследование взаимосвязи между содержанием поврежденного крахмала в пшеничной муке высшего сорта и способностью удерживать растворитель на примере образцов муки, выработанной на индустриальных мукомольных предприятиях и в условиях мини-производств. Объекты исследования: 13 образцов пшеничной муки высшего сорта, приобретенные в магазинах розничной торговли г. Воронеж, а также на маркетплейсах: 11 образцов произведены на высокопроизводительных мукомольных предприятиях (9 российских и 2 белорусских), а 2 образца произведены на российских мини-предприятиях. Методы исследования: Массовую долю влаги определяли методом высушивания, содержание поврежденного крахмала – с помощью анализатора SDmatic, способность муки удерживать растворитель (solvent retention capacity, SRC) – на анализаторе SRC-Chopin. Анализ всей совокупности представленных в статье экспериментальных данных свидетельствует о возможности получения обширной взаимодополняющей информации о хлебопекарных качествах пшеничной муки высшего сорта с помощью амперометрического метода определения содержания поврежденного крахмала и SRC-теста с набором диагностических растворителей. Результаты: В муке крупных индустриальных производителей России и Беларуси содержание поврежденного крахмала находилось в интервале 20,4-27,9 UCD. В образцах, выработанных на мини-производствах, отмечены более высокие значения поврежденного крахмала – 30,6 и 33,3 UCD и максимальные значения водопоглощаемости. Индекс эффективности глютена (GPI) в муке крупных индустриальных производителей находился в интервале 0,69...0,89. Заключение: Полученная информация может быть использована на хлебопекарных, кондитерских и макаронных предприятиях, что позволит выбрать поставщика муки, максимально соответствующей для выработки высококачественной продукции из разных товарных сегментов (формовой хлеб, плоский хлеб (лаваш), лепешки, печенье, крекеры и т.п.). Вопрос о существовании устойчивой корреляционной зависимости между характеристиками поврежденного крахмала в муке, полученными с помощью амперометрического метода и SRC-теста, требует дальнейшего изучения. Мука, выработанная крупными мелькомбинатами, характеризуется меньшей вариабельностью показателей качества по сравнению с мини-предприятиями. Выявленные различия в исследованных образцах муки по содержанию поврежденного крахмала и способности удерживать растворитель (SRC) могут служить основанием для дальнейшей классификации по направлениям ее использования.

Ключевые слова: пшеничная мука, технологические свойства, поврежденный крахмал, способность удерживать растворитель, хлебобулочные изделия, технология.

Evaluation of damaged starch content in premium wheat flour using different methods

Irina M. Zharkova	¹	zharir@mail.ru	 0000-0001-8662-4559
Inessa V. Plotnikova	¹	plotnikova_2506@mail.ru	 0000-0001-5959-6652
Danil Ivanchikov	¹	ivanchikov_99@mail.ru	 0000-0001-9814-6005

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

Abstract. During the process of grinding grain into flour, some of the starch granules are mechanically destroyed. The proportion of destroyed starch in flour can vary significantly depending on the technology adopted at the enterprise and the operating characteristics of the equipment used, and has a significant impact on the properties of the kneaded dough and the quality of the product. The aim of the work is to study the relationship between the content of damaged starch in premium wheat flour and the ability to retain solvent using flour samples produced at industrial flour mills and in mini-production conditions as an example. Objects of study: 13 samples of premium wheat flour purchased in retail stores in Voronezh, as well as on marketplaces: 11 samples were produced at high-performance flour mills (9 Russian and 2 Belarusian), and 2 samples were produced at Russian mini-enterprises. Research methods: The mass fraction of moisture was determined by the drying method, the content of damaged starch was determined using an SDmatic analyzer, and the solvent retention capacity (SRC) of flour was determined using an SRC-Chopin analyzer. The analysis of the entire set of experimental data presented in the article indicates the possibility of obtaining extensive complementary information on the baking qualities of premium wheat flour using the amperometric method for determining the content of damaged starch and the SRC test with a set of diagnostic solvents. Results: In the flour of large industrial producers in Russia and Belarus, the content of damaged starch was in the range of 20.4-27.9 UCD. In the samples produced in mini-production facilities, higher values of damaged starch were noted - 30.6 and 33.3 UCD and maximum values of water absorption. The gluten efficiency index (GPI) in the flour of large industrial producers was in the range of 0.69 ... 0.89. Conclusions: The obtained information can be used in bakeries, confectionery and pasta enterprises, which will allow choosing a supplier of flour that is most suitable for the production of high-quality products from different product segments (pan bread, flat bread (lavash), flat cakes, cookies, crackers, etc.). The question of the existence of a stable correlation between the characteristics of damaged starch in flour obtained using the amperometric method and the SRC test requires further study. Flour produced by large flour mills is characterized by less variability in quality indicators compared to mini-enterprises. The revealed differences in the studied flour samples in terms of damaged starch content and solvent retention capacity (SRC) can serve as a basis for further classification by areas of its use.

Keywords: wheat flour, technological properties, damaged starch, solvent retention capacity, bakery products, technology.

Для цитирования

Жаркова И.М., Плотникова И.В., Иванчиков Д.С. Оценка различными методами содержания поврежденного крахмала в пшеничной муке высшего сорта // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 193–200. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-193-200

For citation

Zharkova I.M., Plotnikova I.V., Ivanchikov D.S. Evaluation of damaged starch content in premium wheat flour using different methods. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 193–200. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-193-200

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

Введение

Пшеничная мука представляет собой продукт мукомольного производства, полученный путем измельчения зерна пшеницы. В зависимости от крупности частиц муки и степени очистки зерна от оболочек (плодовых и семенных), в Российской Федерации вырабатывают шесть сортов хлебопекарной пшеничной муки (ГОСТ 26574–2017), качество которой оценивают, в частности, по показателям зольности, белизне, количеству и качеству клейковины, числу падения и влажности. Техническим комитетом по стандартизации ТК 002 «Зерно, продукты его переработки и маслосемена» утвержден проект национального стандарта РФ на муку пшеничную, предназначенную для экспорта, которым предусмотрены

три типа муки ТП-55, ТП-65 и ТП-75 с дополнительным введением требования к ним по таким показателям качества, как глютен-индекс, показатель седиментации, кислотное число жира, показатели фаринографа (валоригрофа), характеризующие реологические свойства теста, и содержание поврежденного крахмала [1].

В процессе помола зерна в муку происходит механическое разрушение целостности некоторой части крахмальных гранул. Среди факторов, влияющих на то, в какой степени будут повреждены гранулы крахмала, можно выделить три основных параметра: тип пшеницы, процесс кондиционирования зерна, процесс помола (рисунок 1) [2, 3].

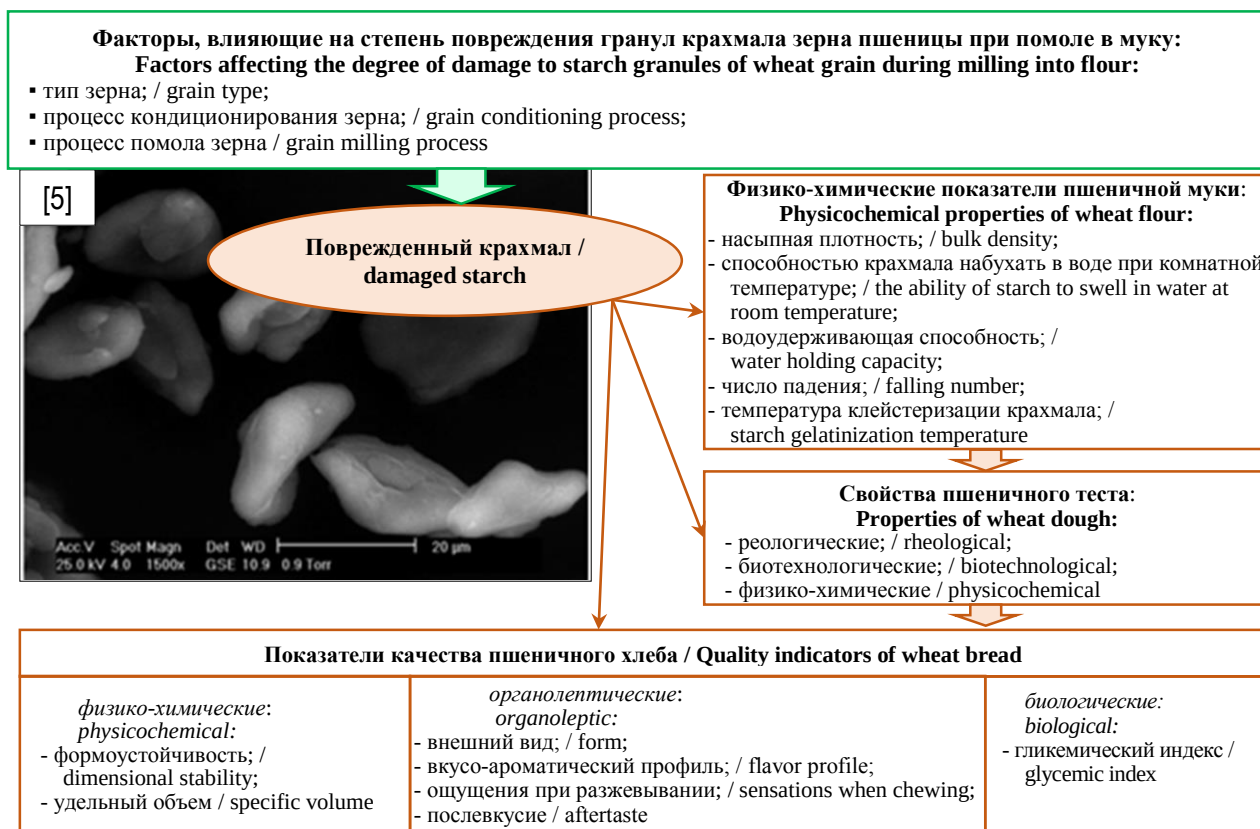


Рисунок 1. Факторы, влияющие на повреждение гранул крахмала муки и качество пшеничного хлеба

Figure 1. Factors Affecting Flour Starch Granule Damage and Wheat Bread Quality

Доля разрушенного крахмала в муке может существенно различаться в зависимости от принятой на предприятии технологии и особенности работы используемого оборудования [4]. Статистически значимое влияние на величину содержания поврежденного крахмала в муке оказывает зазор между валками и скорость вращения валков вальцово-мельничной [2, 4].

С помощью сканирующей электронной микроскопии, атомно-силовой микроскопии и текстурного анализа изображений Barrera G.N. с соавт. на микроструктурном уровне исследовано влияние механического повреждения на поверхность гранул пшеничного крахмала [5].

Отмечено, что гранулы нативного крахмала имели гладкие, плоские поверхности и гладкие края, а при механическом повреждении в них происходили структурные изменения на наноразмерном уровне: гранулы поврежденного крахмала имели зернистую деформацию и меньшую однородность с углублениями различной формы и размера.

Наряду с термином «содержание поврежденного крахмала» при описании степени механической модификации пшеничной муки применяют другой термин – «уровень механической модификации крахмала» (mechanical starch modification) [6].

При механическом повреждении целостности крахмальных гранул повышается шероховатость их поверхности, увеличивается площадь контакта с другими компонентами (в т. ч. с водой), как следствие, возрастает водоудерживающая способность¹; при существенной доле поврежденных гранул крахмала объем хлеба значительно уменьшается [5–7]. Такой эффект можно объяснить тем, что наличие в муке чрезмерного количества разрушенного крахмала приводит к отрицательным зависимостям альвеографических характеристик качества теста, а именно увеличивается водопоглотительная способность, разжижение, повышается липкость (адгезия), при этом снижается устойчивость теста [8–10].

С увеличением содержания поврежденного крахмала возрастает слеживаемость муки [11].

Путем двукратного измельчения зерна в шаровой мельнице *Hackenberg S.* с соавт. получили высокомеханически модифицированную пшеничную муку с уровнем механической модификации (разрушения) крахмала 7,46–8,15 г/100 г муки, тогда как в образце, полученном на вальцовой мельнице, наблюдался умеренный уровень механической модификации крахмала – 4,78 г/100 г муки [12]. Авторами отмечено, что при замесе теста из муки с высокой степенью разрушения крахмала клейковинная сеть имела разрывы и наблюдались участки плотных скоплений, образованных гранулами крахмала.

Объяснением такого явления может служить повышенная способность разрушенных крахмальных гранул к набуханию в присутствии жидкости с образованием капиллярных мостиков между соседними частицами при возникновении сил адгезии [13]. *Dörmann M.* И *Schmid H.* – J. установлено, что набухшие гранулы

крахмала могут сильнее взаимодействовать друг с другом, так как капиллярная сила возрастает с увеличением размера частиц [13]. Преобладание в пшеничной муке частиц размером 25–43 мкм приводит к изменению параметров клейстеризации (температуры, вязкости) [14–16]. Также могут возникать изменения на молекулярном уровне при взаимодействии поверхности механически поврежденной крахмальной гранулы с окружающим белком [5]. В результате перечисленных процессов, хлеб из муки с чрезмерно механически поврежденным крахмалом, имел низкий удельный объем. Для улучшения качества продукции из муки с высокой степенью повреждения крахмала *Hackenberg S.* с соавт. было рекомендовано увеличивать продолжительность замеса теста, что будет способствовать образованию более разветвленной и непрерывной структуры клейковины [6].

Общепринятой методикой определения содержания поврежденного крахмала является амперометрическая, результат определения выражают в единицах Шопен–Дюбуа (UCD) [17].

Необходимо отметить, что наиболее целесообразно рассматривать вопрос о содержании поврежденного крахмала в муке в комплексе с другими показателями, характеризующими количество и качество белков (рисунок 2) [18], способность полимеров муки (белков, поврежденного крахмала, пентозанов) связывать различные диагностические растворители (solvent retention capacity) [19].

Цель работы – исследование взаимосвязи между содержанием поврежденного крахмала в пшеничной муке высшего сорта и способностью удерживать растворитель на примере образцов муки, выработанной на промышленных мукомольных предприятиях и в условиях мини-производств.

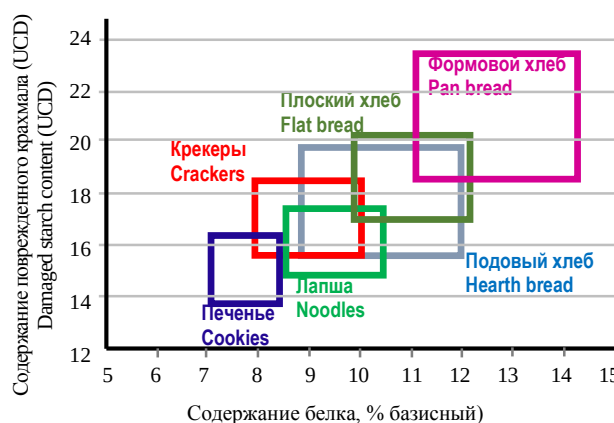


Рисунок 2. Рекомендации по выбору пшеничной муки с учетом оптимального содержания в ней поврежденного крахмала и белка для выработки целевых групп мучной продукции [18]

Figure 2. Recommendations for the selection of wheat flour taking into account the optimal content of damaged starch and protein for the production of target groups of flour products [18]

¹ термины «водоудерживающая» или «водопоглотительная способность», или «водопоглощение» используются в

зависимости от применяемой методики оценки способности муки связывать и удерживать воду

Объекты и методы

Объектами исследований являлись 13 образцов пшеничной муки высшего сорта, приобретенные в магазинах розничной торговли г. Воронеж,

а также на маркетплейсах: 11 образцов произведены на высокопроизводительных мукомольных предприятиях (9 российских и 2 белорусских), а 2 образца – на российских мини-предприятиях (таблица 1).

Таблица 1.

Table 1.

Образцы муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта
Samples of premium grade wheat flour

Основные данные Basic data	Номер образца Sample number												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Торговая марка Trademark	Мука «Императорский рецепт» Flour "Imperial recipe"	Тверской Мелькомбинат, 140 лет Tverskoy Melkombinat, 140 years	С. Пудов S. Pudov	Увелка Uvelka	MAKFA MAKFA	Курский комбинат хлебопродуктов Kursk Bread Products Plant	Мука посольская Ambassadorial flour	Славна Slavna	ОАО Мелькомбинат Бутурлиновский OJSC Melkombinat Buturlinovsky	Мука «Шугуровская» Flour "Shugurovskaya"	Черный хлеб Black bread	Климовичский комбинат хлебопродуктов Klimovichy grain products plant	Лидская Мука Lida Flour
Город, изготовитель City, manufacturer	Воронежская обл., г. Воронеж, АО «Мукомольный комбинат «Воронежский» Voronozh region, Voronezh, JSC "Voronozh Flour Mill"	Тверская область, г. Тверь, ОАО «Мелькомбинат» Tver region, Tver, OJSC "Melkombinat"	Саратовская обл., г. Балашихов, АО «Балком-хлебопродукт» Saratov region, Balashov, JSC "Balcom-bread-product"	Челябинская обл., пос. Увельский, АО КХП «ЗЛАК» Chelyabinsk region, village Uvelskiy, JSC KHP "CEREAL"	Ставропольский край, г. Георгиевск, АО МАКФА Ставропольский регион, Георгиевск, JSC MAKFA	Курская обл., г. Курск, АО «Курский комбинат хлебопродуктов» Kursk region, Kursk, JSC "Kursk Combine of bakery products"	Орловская обл., пгт. Верховье, ООО «Наш союз» Orlov region, village Upper reaches, Nash Soyuz LLC	Белгородская обл., г. Старый Оскол, АО «Комбинат хлебопродуктов Старооскольский» Belgorod region, Staroy Oskol, JSC "Combine of bread products Starooskola"	Воронежская обл., г. Бутурлиновка, ОАО «Бутурлиновский мелькомбинат» Voronozh region, Buturlinovka, OJSC "Buturlinovskiy melkombinat"	Пензенская обл., пос. Красное Полюе, ТНВ «Пугачевское» Penzance-kaya region, village The Red Field, FBP "Pugachevskoye"	Тульская обл., д. Хатманово, ООО «Черный хлеб» Tula region, village Khatmanovo, LLC "Cherny Khleb"	Могилевская обл., г. Климовичи, ОАО «Климовичский комбинат хлебопродуктов» Mogilev region, Klimovichy city, OJSC "Klimovichy bakery plant"	Гомельская обл., г. Лиды, ОАО «Лидский хлебопродукт» Gomel region, Lida, OJSC "Lidakhlebo-product"
Дата упаковки Date of packing	29.12.23 г. 29.12.23	09.02.24 г. 09.02.24	07.04.23 г. 07.04.23	27.01.24 г. 27.01.24	23.10.23 г. 23.10.23	18.11.23 г. 18.11.23	20.09.23 г. 20.09.23	10.02.24 г. 10.02.24	25.09.23 г. 25.09.23	22.02.24 г. 22.02.24	07.03.24 г. 07.03.24	27.04.23 г. 27.04.23	28.11.23 г. 28.11.23
Внешний вид упаковки Appearance of the packaging													
Страна производитель Country of origin	Российская Федерация Russian Federation												Республика Беларусь Republic of Belarus

Массовую долю влаги определяли методом высушивания в сушильном шкафу ЕМ10 по ГОСТ 13586.5, содержание поврежденного крахмала – с помощью анализатора SDmatic по ГОСТ ISO 17715, способность муки удерживать растворитель (solvent retention capacity, SRC) – на анализаторе SRC-Chopin по методике [19, 20].

Результаты и обсуждение

Все проанализированные образцы пшеничной муки высшего сорта соответствовали требованию ГОСТ 26574 по влажности: ее значения колебались в интервале от 9,2 до 13,1% (рисунок 3), причем минимальное и максимальное значения отмечены у образцов муки, выработанной в условиях мини-производств. Мука крупных промышленных производителей характеризовалась значительно меньшим разбросом значений по влажности – 10,2–12,2%.

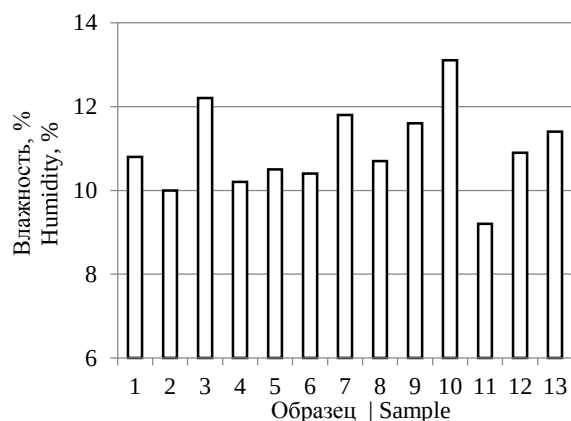


Рисунок 3. Влажность образцов пшеничной муки высшего сорта различных производителей

Figure 3. Moisture content of premium wheat flour samples from various manufacturers

Результаты определения содержания поврежденного крахмала в образцах муки на приборе SDmatic представлены на рисунок 4.

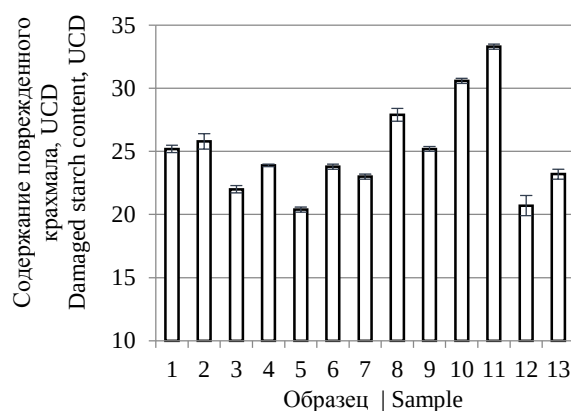


Рисунок 4. Содержание механически поврежденного крахмала в пшеничной муке высшего сорта различных производителей

Figure 4. Content of mechanically damaged starch in premium wheat flour of various manufacturers

Анализируя данные, представленные на рисунок 4, можно констатировать чрезмерно высокую степень повреждения крахмала в муке образцов под номером 10 и 11, выработанных на мини-предприятиях: 30,6 и 33,3 UCD (соответственно). В пшеничной муке высшего сорта крупных промышленных производителей этот показатель варьируется в интервале 20,4–27,9 UCD, что согласуется с данными Мелешкиной Е.П. с соавт. [7]. Полученные экспериментальные данные могут быть полезны для принятия решения о способах корректировки технологического процесса с целью улучшения качества вырабатываемой мучной продукции, поскольку ряд проб имел повышенные значения UCD, что свидетельствует о большем количестве разрушенных гранул крахмала. Экспериментально установлены ориентировочные значения UCD, при которых мука в большей или меньшей степени подходит для выработки определенных групп изделий. Так, для производства формового хлеба целесообразно использовать пшеничную муку с содержанием поврежденного крахмала 19–24 UCD (рисунок 2), а для производства хлеба французского типа (багет) – 17–20 UCD [4, 7, 18].

Поскольку с повышением степени механического повреждения крахмальных гранул в муке одновременного происходят изменения и в белковых веществах, то дополнительная информация о способности муки удерживать растворитель (SRC), дает возможность технологам проанализировать индивидуальный вклад каждого полимера муки (белки, поврежденный крахмал, пентозаны) в ее общую функциональность и позволит принять верное решение о целевом использовании конкретной партии муки или необходимости корректировки ее свойств или параметров технологического процесса производства мучных изделий [19]. SRC-тест (в международной классификации AACC 56–11.02) – это сольватационный тест для муки, в котором используется избыток диагностического растворителя, создаются условия для набухания полимеров. В качестве диагностических растворителей используют деионизированную (или дистиллированную) воду, 5% водный раствор молочной кислоты, 5% водный раствор Na_2CO_3 , 50% водный раствор сахарозы [19, 20].

Выбор диагностических растворителей обусловлен следующим. Вода является универсальным (эталонным) растворителем, поскольку в ней способны к гидратации и набуханию все функционально значимые полимерные компоненты муки (белки, поврежденный крахмал, пентозаны), хотя и в различной степени. Глюteniны способны к максимальному набуханию в разбавленном растворе молочной кислоты,

амилопектин поврежденных крахмальных гранул (в отличие от нативного крахмала) – в разбавленном водном растворе Na_2CO_3 , а пентозаны – в концентрированном водном растворе сахарозы [19]. Результаты SRC-теста для проанализированных образцов пшеничной муки высшего сорта представлены в виде гистограммы на рисунок 5.

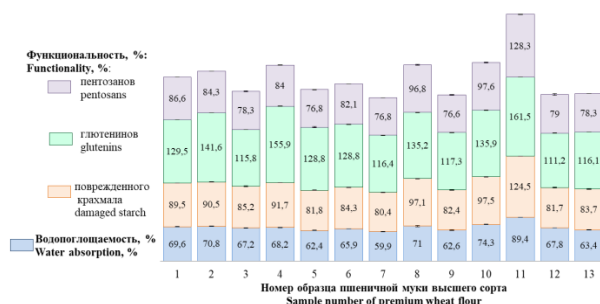


Рисунок 5. Гистограмма способности полимеров пшеничной муки высшего сорта удерживать растворитель (SRC)

Figure 5. Histogram of the solvent retention capacity of premium wheat flour polymers

Максимальные значения водопоглощаемости (рисунок 5) отмечены в образцах под номерами 10 и 11 (мини-предприятия), а максимальные значения SRC для всех диагностических растворов – в образце муки под номером 11. Среди образцов муки, произведенных крупными мелькомбинатами, образец под номером 4 обладал максимальной функциональностью глютеинов.

Сравнение данных о содержании поврежденного крахмала (рисунок 4) со значениями функциональности поврежденного крахмала (рисунок 5) свидетельствуют о наличии определенной корреляции между ними для большинства проанализированных образцов.

На основе данных SRC-теста проведен расчет индекса эффективности клейковины (GPI) по формуле [19]: $GPI = SRC_{LA} / (SRC_{SC} + SRC_{Suc.})$, где SRC_{LA} , SRC_{SC} , $SRC_{Suc.}$ – значения, полученные при использовании растворов молочной кислоты, карбоната натрия и сахарозы (соответственно). Полученные результаты представлены в виде гистограммы на рисунок 6.

Индекс эффективности глютена учитывает вклад в функциональность муки всех основных полимеров (глютеина, поврежденного крахмала, пентозанов), что комплексно и более объективно характеризует ее хлебопекарные свойства. Максимальное значение GPI отмечено в образце под номером 4 – 0,89, что вероятно связано с регионом выращивания зерна (на Урале и в Сибири произрастает пшеница с сильной по качеству клейковине), минимальное значение – 0,64 в образце под номером 11, полученном на мини-предприятии.

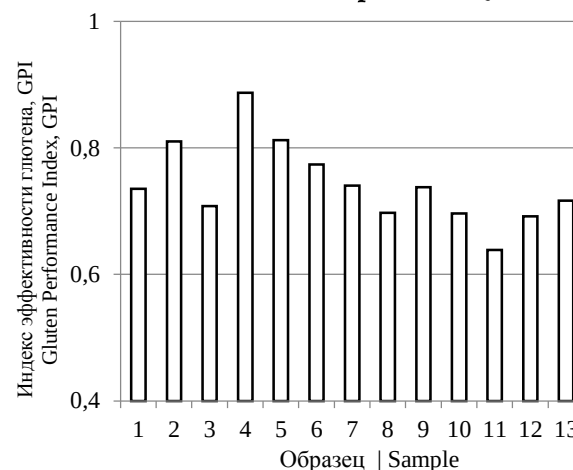


Рисунок 6. Значения индекса эффективности глютена (GPI) пшеничной муки высшего сорта различных производителей

Figure 6. Gluten Performance Index (GPI) values of premium wheat flour from different manufacturers

Заключение

Анализ всей совокупности представленных в статье экспериментальных данных свидетельствует о возможности получения обширной взаимодополняющей информации о хлебопекарных качествах пшеничной муки высшего сорта с помощью амперометрического метода определения содержания поврежденного крахмала и SRC-теста с набором диагностических растворов. Эта информация может быть использована на хлебопекарных, кондитерских и макаронных предприятиях, что позволит выбрать поставщика муки, максимально соответствующей для выработки высококачественной продукции из разных товарных сегментов (формовой хлеб, плоский хлеб (лаваш), лепешки, печенье, крекеры и т. п.). Вопрос о существовании устойчивой корреляционной зависимости между характеристиками поврежденного крахмала в муке, полученными с помощью амперометрического метода и SRC-теста, требует дальнейшего изучения.

Мука, выработанная крупными мелькомбинатами, характеризуется меньшей вариабельностью показателей качества по сравнению с мини-предприятиями. Выявленные различия в исследованных образцах муки по содержанию поврежденного крахмала и способности удерживать растворитель (SRC) могут служить основанием для дальнейшей классификации по направлениям ее использования.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00275, <https://rscf.ru/project/24-26-00275/>.

Литература

- 1 ГОСТ Р (Проект, первая редакция) Мука пшеничная для экспорта. URL: https://vniiz.org/fm_content_folder/uploads/gost/gost-project/tk002/project_GOST_wheat_flour_export_red1.pdf?ysclid=m3sp9d5kv3786013958
- 2 Tapan N.A., Günay M.E., Yildirim N. Application of Machine Learning for the Determination of Damaged Starch Ratio as an Alternative to Medcalf and Gilles Principle // Food Analytical Methods. 2023. V. 16. P. 604–614. doi: 10.1007/s12161-022-02442-9
- 3 Liu X., Xiao X., Liu P. et al. Shear degradation of corn starches with different amylose contents. // Food Hydrocoll. 2017. V. 66. P. 199–205. doi: 10.1016/j.foodh.yd.2016.11.023
- 4 Bojanić N., Rakić D., Fišteš A. Effects of Roller Milling Parameters on Wheat-Flour Damaged Starch: A Comprehensive Passage Analysis and Response-Surface Methodology Optimization. // Foods (Basel, Switzerland). 2024. V.13. № 21. P. 3386. doi: 10.3390/foods13213386
- 5 Barrera G.N., Calderón-Domínguez G., Chanona-Pérez J. et al. Evaluation of the mechanical damage on wheat starch granules by SEM, ESEM, AFM and texture image analysis // Carbohydrate polymers. 2013. V. 98. № 2. P. 1449–1457. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.07.056
- 6 Hackenberg S., Vogel C., Scherf K.A. et al. Impact of altered starch functionality on wheat dough microstructure and its elongation behavior // Food Chem. 2019. V. 290. P. 64–71. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.03.016
- 7 Мелешкина Е.П., Коломиец С.Н., Жильцова Н.С. Количество поврежденного крахмала в муке лабораторного и производственного помолов // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 67–73. doi: 10.20914/2310-1202-2023-3-67-7373
- 8 Lin S., Gao J., Jin X. et al. Whole-wheat flour particle size influences dough properties, bread structure and in vitro starch digestibility // Food Funct. 2020. № 11(4). pp. 3610–3620. doi:10.1039/c9fo02587a
- 9 Teobaldi A.G., Barrera G.N., Severini H., Ribotta P.D. Influence of damaged starch on thermal and rheological properties of wheat starch and wheat starch-gluten systems in water and sucrose // J Sci Food Agric. 2023. V. 103. № 3. P. 1377–1384. doi: 10.1002/jsfa.12231
- 10 Ma S., Li L., Wang X.X. et al. Effect of mechanically damaged starch from wheat flour on the quality of frozen dough and steamed bread // Food Chem. 2016. V. 202. P. 120–124. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.01.075
- 11 Siliveru K., Ambrose R.K., Vadlani P.V. Significance of composition and particle size on the shear flow properties of wheat flour // Sci Food Agric. 2017. № 97(8). P. 2300–2306. doi:10.1002/jsfa.8038
- 12 Hackenberg S., Jekle M., Becker T. Mechanical wheat flour modification and its effect on protein network structure and dough rheology // Food chemistry. 2018. V. 248. P. 296–303. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.12.054
- 13 Dörmann M., Schmid H.-J. Simulation of capillary bridges between particles // Procedia Engineering. 2015. V. 102. P. 14–23.
- 14 Guan E., Yang Y., Pang J. et al. Ultrafine grinding of wheat flour: Effect of flour/starch granule profiles and particle size distribution on falling number and pasting properties. // Food Sci Nutr. 2020. V. 8. № 6. P. 2581–2587. doi: 10.1002/fsn3.1431
- 15 Wang N., Li C., Miao D. et al. The effect of non-thermal physical modification on the structure, properties and chemical activity of starch: A review // Int J Biol Macromol. 2023. V. 251. P. 126200. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.126200
- 16 Zhang K., Dai Y., Hou H. et al. Influences of grinding on structures and properties of mung bean starch and quality of acetylated starch // Food Chem. 2019. V. 294. P. 285–292. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.05.055
- 17 ГОСТ ISO 17715–2015. Мука из мягкой пшеницы. Амперометрический метод определения поврежденного крахмала. Москва: Стандартинформ, 2016. 11 с.
- 18 KPM Analytics. URL: <https://www.kpmanalytics.com/articles-insights/damaged-starch-impact-on-baking>
- 19 Kweon M., Slade L., Levine H. Solvent Retention Capacity (SRC) Testing of Wheat Flour: Principles and Value in Predicting Flour Functionality in Different Wheat-Based Food Processes and in Wheat Breeding-A Review // Cereal Chem. 2011. V. 88. № 6. P. 537–552.
- 20 Автоматическое измерение раствороудерживающей способности муки (SRC). URL: <https://agrofaktor.by/wp-content/uploads/2017/08/src-chopin-doc6pages-ru-151202.pdf>

References

- 1 GOST R (Draft, first edition) Wheat flour for export. Available at: https://vniiz.org/fm_content_folder/uploads/gost/gost-project/tk002/project_GOST_wheat_flour_export_red1.pdf?ysclid=m3sp9d5kv3786013958 (in Russian).
- 2 Tapan N.A., Günay M.E., Yildirim N. Application of Machine Learning for the Determination of Damaged Starch Ratio as an Alternative to Medcalf and Gilles Principle. Food Analytical Methods. 2023. vol. 16. pp. 604–614. doi: 10.1007/s12161-022-02442-9
- 3 Liu X., Xiao X., Liu P. et al. Shear degradation of corn starches with different amylose contents. Food Hydrocoll. 2017. vol. 66. pp. 199–205. doi: 10.1016/j.foodh.yd.2016.11.023
- 4 Bojanić N., Rakić D., Fišteš A. Effects of Roller Milling Parameters on Wheat-Flour Damaged Starch: A Comprehensive Passage Analysis and Response-Surface Methodology Optimization. Foods (Basel, Switzerland). 2024. vol.13. no. 21. pp. 3386. doi: 10.3390/foods13213386
- 5 Barrera G.N., Calderón-Domínguez G., Chanona-Pérez J. et al. Evaluation of the mechanical damage on wheat starch granules by SEM, ESEM, AFM and texture image analysis. Carbohydrate polymers. 2013. vol. 98. no. 2. pp. 1449–1457. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.07.056
- 6 Hackenberg S., Vogel C., Scherf K.A. et al. Impact of altered starch functionality on wheat dough microstructure and its elongation behavior. Food Chem. 2019. vol. 290. pp. 64–71. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.03.016
- 7 Meleshkina E.P., Kolomiets S.N., Zhiltsova N.S. The amount of damaged starch in laboratory and industrial milled flour. Proceedings of VSUET. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 67–73. doi: 10.20914/2310-1202-2023-3-67-7373 (in Russian).

- 8 Lin S., Gao J., Jin X. et al. Whole-wheat flour particle size influences dough properties, bread structure and in vitro starch digestibility. *Food Funct.* 2020. no. 11(4). pp. 3610–3620. doi:10.1039/c9fo02587a
- 9 Teobaldi A.G., Barrera G.N., Severini H., Ribotta P.D. Influence of damaged starch on thermal and rheological properties of wheat starch and wheat starch-gluten systems in water and sucrose. *J Sci Food Agric.* 2023. vol. 103. no. 3. pp. 1377–1384. doi: 10.1002/jsfa.12231
- 10 Ma S., Li L., Wang X.X. et al. Effect of mechanically damaged starch from wheat flour on the quality of frozen dough and steamed bread. *Food Chem.* 2016. vol. 202. pp. 120–124. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.01.075
- 11 Siliveru K., Ambrose R.K., Vaddani P.V. Significance of composition and particle size on the shear flow properties of wheat flour. *Sci Food Agric.* 2017. no. 97(8). pp. 2300–2306. doi:10.1002/jsfa.8038
- 12 Hackenberg S., Jekle M., Becker T. Mechanical wheat flour modification and its effect on protein network structure and dough rheology. *Food chemistry.* 2018. vol. 248. pp. 296–303. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.12.054
- 13 Dörmann M., Schmid H.-J. Simulation of capillary bridges between particles. *Procedia Engineering.* 2015. vol. 102. pp. 14–23.
- 14 Guan E., Yang Y., Pang J. et al. Ultrafine grinding of wheat flour: Effect of flour/starch granule profiles and particle size distribution on falling number and pasting properties. *Food Sci Nutr.* 2020. vol. 8. no. 6. pp. 2581–2587. doi: 10.1002/fsn3.1431
- 15 Wang N., Li C., Miao D. et al. The effect of non-thermal physical modification on the structure, properties and chemical activity of starch: A review. *Int J Biol Macromol.* 2023. vol. 251. pp. 126200. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.126200
- 16 Zhang K., Dai Y., Hou H. et al. Influences of grinding on structures and properties of mung bean starch and quality of acetylated starch. *Food Chem.* 2019. vol. 294. pp. 285–292. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.05.055
- 17 GOST ISO 17715–2015. Soft wheat flour. Amperometric method for the determination of damaged starch. Moscow, Standartinform, 2016. 11 p. (in Russian).
- 18 KPM Analytics. Available at: <https://www.kpmanalytics.com/articles-insights/damaged-starch-impact-on-baking>
- 19 Kweon M., Slade L., Levine H. Solvent Retention Capacity (SRC) Testing of Wheat Flour: Principles and Value in Predicting Flour Functionality in Different Wheat-Based Food Processes and in Wheat Breeding-A Review. *Cereal Chem.* 2011. vol. 88. no. 6. pp. 537–552.
- 20 Automatic measurement of the solution holding capacity of flour (SRC). Available at: <https://agrofaktor.by/wp-content/uploads/2017/08/src-chopin-doc6pages-ru 151202.pdf>

Сведения об авторах

Ирина М. Жаркова д.т.н., доцент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, zharir@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-8662-4559>

Инесса В. Плотникова к.т.н., доцент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, plotnikova_2506@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5959-6652>

Данил Иванчиков магистрант, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ivanchikov_99@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-9814-6005>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Irina M. Zharkova Dr. Sci. (Engin.), Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, zharir@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-8662-4559>

Inessa V. Plotnikova Cand. Sci. (Engin.), Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, plotnikova_2506@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5959-6652>

Danil Ivanchikov postgraduate student, Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ivanchikov_99@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-9814-6005>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/08/2024	После редакции 14/09/2024	Принята в печать 24/09/2024
Received 11/08/2024	Accepted in revised 14/09/2024	Accepted 24/09/2024

Формирование функционально-технологических свойств мясных фаршей с использованием белково-углеводных композитов

Анна А. Дерканосова ¹	aa-derk@ya.ru	 0000-0002-9726-9262
Елена Е. Курчаева ¹	alena.kurchaeva@ya.ru	 0000-0001-5958-0909
Евгения В. Панина ¹	panina-genia@mail.ru	 0000-0001-6159-842X

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

² Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия

Аннотация. В связи с проблемами питания у трети населения планеты, именно по сбалансированности основных пищевых элементов, актуальным является разработка пищевых систем удовлетворяющим не только по пищевой ценности конечного продукта, но и по повышенному химико-биологическому составу. Разработка таких систем направлена на использование в производстве различных растительных и животных композитов. Такие композиты позволяют обогатить продукт пищевыми волокнами и необходимыми нутриентами, которые благотворно влияют на пищеварительную систему. Низкая стоимость таких композитов позволит снизить затраты на производство. Предложенная система предполагает использование модельного фарша на основе мяса птицы и говядины 2 сорта с белково-углеводным комплексом (БУК) с включением биомодифицированного сердца говяжьего, субпродуктовой пасты из биомодифицированных вымени и легкого крупного рогатого скота. В состав БУК включали коммерческий порошкообразный препарат яблочной клетчатки и порошкообразный полуфабрикат из биоферментированных семян маша. Обоснован выбор данных добавок в связи с их химическим составом, что позволит сделать конечный продукт функциональной направленности. Выбор субпродуктов крупного рогатого скота также обоснован химическим составом, так как данный ресурс сможет сбалансировать состав пищевой системы по содержанию белков, минеральных веществ и витаминов. В работе опытным путем выявили оптимальное соотношение модельных фаршей мяса птицы (грудная часть) и говядины, которое составило в процентном соотношении основного мясного сырья, которое составило 60:40. Для определения оптимальных соотношений добавляемых ингредиентов в составе БУК использовали вертикально-интегрированный подход, основываясь на оценке влагосвязывающей (ВСС, %) и влагоудерживающей способности (ВУС, %) мясной системы. По результатам проведенного опыта по оптимизации компонентного состава БУК для внесения в модельный фарш были получены зависимости, описывающие функционально – технологические свойства систем. Проведенные исследования по оценке эффективности использования в составе мясных систем белково-углеводных композиций свидетельствует о перспективах их внедрения в производственный цикл выработки мясных рубленых полуфабрикатов обогащенного состава. Доказано, что применение в составе фаршевой системы белково – углеводной композиции на основе ингредиентов растительного и животного происхождения оказывает положительное влияние на структуру и пищевую ценность рубленых полуфабрикатов.

Ключевые слова: мясные системы, функционально-технологические свойства, белково-углеводный композит, яблочная клетчатка, биоферментированные семена маша, ферментированные субпродукты крупного рогатого скота.

Formation of functional and technological properties of minced meat using protein-carbon composites

Anna A. Derkanosova ¹	aa-derk@ya.ru	 0000-0002-9726-9262
Elena E. Kurchaeva ¹	alena.kurchaeva@ya.ru	 0000-0001-5958-0909
Evgenia V. Panina ¹	panina-genia@mail.ru	 0000-0001-6159-842X

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

² Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia

Abstract. Due to the nutritional problems of a third of the world's population, it is in terms of the balance of the main food elements that it is relevant to develop food systems that satisfy not only the nutritional value of the final product, but also the increased chemical and biological composition. The development of such systems is aimed at using various plant and animal composites in the production. Such composites make it possible to enrich the product with dietary fibers and essential nutrients that have a beneficial effect on the digestive system. The low cost of such composites will reduce production costs. The proposed system involves the use of model minced meat based on poultry meat and beef of the 2nd grade with a protein-carbohydrate complex (PCC) with the inclusion of a biomodified beef heart, a by-product paste from biomodified udders and light cattle. The composition of the PCC included a commercial powdered preparation of apple fiber and a powdered semi-finished product from biofermented masha seeds. The choice of these additives is justified in connection with their chemical composition, which will make the final product functional. The choice of by-products of cattle is also justified by the chemical composition, since this resource will be able to balance the composition of the food system in terms of protein, minerals and vitamins. In the work, the most optimal ratio of model minced poultry meat (breast) and beef was experimentally identified, which was 60:40 as a percentage of the main meat raw materials. To determine the optimal ratios of added ingredients in the composition of PCC, a vertically integrated approach was used, based on an assessment of the moisture binding (MBC, %) and moisture-retaining capacity (MRC, %) of the meat system. Based on the results of the conducted experience in optimizing the component composition of beef for introduction into the model stuffing, dependencies describing the functional and technological properties of the systems were obtained. The conducted research on the evaluation of the effectiveness of the use of protein-carbohydrate compositions in meat systems indicates the prospects for their introduction into the production cycle of minced meat semi-finished products of enriched composition. It is proved that the use of a protein-carbohydrate composition based on ingredients of vegetable and animal origin in the stuffing system has a positive effect on the structure and nutritional value of chopped semi-finished products.

Keywords: meat systems, functional and technological properties, protein – carbohydrate composite, apple fiber, biofermented masha seeds, fermented by-products of cattle.

Для цитирования

Дерканосова А.А., Курчаева Е.Е., Панина Е.В. Формирование функционально-технологических свойств мясных фаршей с использованием белково-углеводных композитов // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 201–208. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-201-208

For citation

Derkanosova A.A., Kurchaeva E.E., Panina E.V. Formation of functional and technological properties of minced meat using protein-carbon composites. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 201–208. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-201-208

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

Введение

Дефицит питания является значимой проблематикой для глобального сообщества. Примерно 33% населения планеты сталкиваются с одной из форм недостаточности питательных веществ, к которым относятся голод, энергетическое истощение, дефицит критически важных микронутриентов или избыточный вес, приводящий к разнообразным патологиям, нарушениям в развитии и функциональности организма. Это, в свою очередь, сокращает продолжительность жизни и уменьшает количество лет, проведенных в состоянии здоровья. В ответ на эту проблему были предприняты шаги по перестроению продовольственных систем в различных странах. Основные задачи, поставленные в рамках этих усилий, включают в себя обеспечение доступности продовольствия, сокращение потерь и отходов пищевых продуктов, а также улучшение их питательной ценности. Эти меры находят поддержку в законодательных актах и решениях, принятых на уровне государства, в том числе и в Российской Федерации, что подтверждается соответствующими документами [1].

Наиболее востребованными продуктами питания являются полуфабрикаты и на сегодняшний день полуфабрикаты из мясного сырья занимают особое место на рынке. Однако стоит отметить, что состав таких продуктов не всегда сбалансирован по пищевым и биологическим характеристикам. В связи с государственной политикой, нацеленной на здоровый образ жизни и правильное питание, все больше потребителей обращают внимание на состав пищевых продуктов. Решением проблемы обогащения полуфабрикатов занимаются на протяжении последнего десятилетия очень активно. Так в технологии производства мясных рубленых полуфабрикатов предлагают использовать растительное сырье, которое сможет обогатить мясную основу не только белковой составляющей, но и пищевыми волокнами. В качестве обогатителей в этом случае выступают растительные композиты, в том числе овощные культуры, растительная клетчатка, а также продукты переработки бобовых культур. Использование растительных добавок может значительно обогатить продукт волокнами, которые положительно влияют на пищеварительную систему. Кроме того, такая технология позволит значительно снизить затраты на производство и как следствие конечную цену продукта для потребителя, делая мясные полуфабрикаты доступными для больших групп населения.

Данная ситуация подчеркивает необходимость увеличения ассортимента специализированных и функциональных продовольственных

товаров, а также товаров повседневного потребления с добавленными питательными веществами. Также важно заниматься разработкой новых видов продовольственных изделий, обладающих определенными характеристиками, будь то полуфабрикаты или продукция, готовая к немедленному употреблению.

Однако для применения растительных добавок имеются и ограничения. При их добавлении могут значительно меняться органолептические показатели готового продукта, что отрицательно повлияет на спрос. Производство функциональных мясных рубленых полуфабрикатов обогащенного состава предполагает использование не только растительных компонентов, но и биомодифицированного вторичного мясного сырья, в частности субпродуктов крупного рогатого скота. Использование белково-углеводных обогатителей будет способствовать обогащению мясных полуфабрикатов пищевыми волокнами, а также оказывать влияние на повышении его реологических и органолептических характеристик и снижение стоимости конечного продукта.

Цель работы – исследование функционально-технологических свойств модельных фаршевых систем, содержащих белково-углеводную композицию на основе композитов растительного и животного происхождения.

Материалы и методы

Для получения модельной фаршевой основы использовали мясную систему на основе грудной части цыплят-бройлеров и говядины 2 сорта в оптимально подобранном соотношении 60:40 на основе изучения функционально – технологических свойств мясной системы, в частности влагосвязывающей, влаго- и жиродерживающей способности. Подобранное соотношение компонентов мясной системы позволило достигнуть их максимальных значений до уровня 65,5–68,2%. При разработке белково-углеводной композиции (БУК) на основе растительного и животного сырья важна степень сочетаемости вводимых для обогащения компонентов с мясной матрицей. Входящие в состав БУК составляющие – биомодифицированные проращиванием семена маша и субпродукты крупного рогатого скота характеризуются высоким содержанием белка (таблица 1 и 2), что открывает перспективы для их комплексного использования в технологии мясных продуктов.

Использование в составе БУК коммерческого препарата яблочной клетчатки обосновано тем, что происходит повышение сочности продукта, уменьшаются потери при жарке, а также происходит более полное связывание влаги и жира в мясной системе [2].

Таблица 1.

Химический состав коммерческого препарата яблочной клетчатки и порошкообразного полуфабриката из биомодифицированных проращиванием семян маша, г на 100 г. продукта

Table 1.

The chemical composition of the commercial preparation of apple fiber and powdered semi-finished product from biomodified germination of masha seeds, g per 100 g of the product

Массовая доля, % Mass fraction, %	Содержание Content	
	Коммерческий препарат яблочной клетчатки Commercial preparation of apple fiber	Порошкообразный полуфабрикат из биомодифицированных семян маша Powdered semi-finished product from modified masha seeds
Влага Moisture	10,80	9,10
Жир Fat	0,52	2,10
Белок Protein	1,28	24,10
Углеводы Carbohydrates	84,79	61,35
нерастворимых пищевых волокон, % insoluble dietary fiber, %	43,10	16,50
Зола Ash	2,61	3,35

Таблица 2.

Химический состав субпродуктов КРС

Table 2.

Chemical composition of cattle by-products

Субпродукт By-product	Содержание, % Content, %			Белки, в том числе % Proteins, including %			
	Липиды Lipids	Зола Ash	Вода Water	Полноценные Full-fledged	Коллаген Collagen	Эластин Elastin	Всего Total
Вымя Udder	13,7	0,80	72,60	3,20	7,56	1,54	12,30
Легкое Lungs	4,70	1,00	77,50	9,47	4,64	1,04	15,20
Сердце Heart	3,28	1,25	78,5	9,81	1,19	3,8	14,8

В ходе наших предыдущих экспериментов было осуществлено тестирование мясных систем, в которые вводилась гидратированная яблочная клетчатка в количестве от 0% до 10%. На основании полученных данных, оптимальной оказалась концентрация яблочной клетчатки в размере 3%. Выбранная дозировка значительно улучшила функциональные и технологические характеристики мясного фарша. В частности, было выявлено, что введение данной добавки в количестве 3% в предварительно гидратированном виде является наиболее эффективным, поскольку обеспечивает водоудерживающую способность (ВУС) модельного фарша на уровне 77%, в то время как для контрольного образца (без ввода яблочной клетчатки) данный показатель составлял 61%. Наблюдалось, что с ростом процентного содержания яблочной клетчатки в общем объеме фарша его влагоудерживающая способность увеличивалась, достигая значения в диапазоне 72–78%.

Результаты

При разработке новой рецептуры обогащенного мясного продукта предлагается вертикально-интегрированный подход, который

поможет выявить наилучшее соотношение белково-углеводных композитов с целью придания конечной системе заданных свойств.

Для обработки полученных экспериментальных данных использовали статистический метод на основе ротатабельном униформпланировании. Такой подход позволил в результате 32 экспериментов в трехкратном повторении получить уравнение регрессии, которое дают представление о протекающем в системе процессе.

Факторы, которые существенно влияют на разрабатываемую рецептуру, включают следующие значения: x_1 – дозировка биомодифицированного сердца КРС, %, x_2 – дозировка субпродуктовой пасты из биомодифицированного вымени и легкого КРС, %; x_3 – дозировка коммерческого препарата яблочной клетчатки, %; x_4 – дозировка порошкообразного полуфабриката из биомодифицированных семян маша. Для оценки влияния составляющих элементов были использованы следующие определения: y_1 – ВСС, %; y_2 – ВУС, %. Пределы изменения факторов исследования представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Пределы изменения факторов исследования

Table 3.

Limits of change of study factors

Условия планирования Planning conditions	Пределы изменения факторов Limits of change of factors			
	x ₁ , %	x ₂ , %	x ₃ , %	x ₄ , %
Нулевой уровень (0) Level zero (0)	7,5	7,0	3,0	9,0
Верхний уровень (+1) Upper level (+1)	9,5	8,0	4,0	11,0
Нижний уровень (-1) Lower level (-1)	5,5	6,0	2,0	7,0
Верхняя «звездная» точка (+2) Upper "star" point (+2)	11,5	9,0	5,0	13,0
Нижняя «звездная» точка (-2) Lower "star" point (-2)	3,5	5,0	1,0	5,0

Исследуемый процесс может быть представлен в математической модели полинома второй степени:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 + \sum_{i \leq j}^n b_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

где b_0 – представляет собой свободный член уравнения, который равен средней величине отклика при средних "нулевых" уровнях факторов; x – это масштабированные значения факторов, определяющие функцию отклика и подверженные варьированию; b_{ij} – коэффициенты двухфакторных взаимодействий, отражающие, как изменяется степень влияния одного фактора при изменении величины другого; b_{ii} – коэффициенты квадратичных эффектов, определяющие нелинейность выходного параметра от рассматриваемых факторов; i, j – индексы факторов; n – число факторов в матрице планирования.

Обсуждение

В целях оценки адекватности математической модели был проведен дисперсионный анализ (ANOVA) эксперимента с использованием программы Design Expert (Stat-Ease Inc.).

$$y_1 = 80,50 + 1,85x_1 + 1,07x_2 + 1,09x_3 + 1,92x_4 - 1,42x_1x_2 - 0,92x_1x_3 + 0,83x_2x_3 + 0,29x_2x_4 - 1,45x_1^2 + 0,05x_2^2 - 1,08x_3^2 - 0,79x_4^2 \quad (2)$$

$$y_2 = 78,70 + 0,75x_1 + 0,25x_2 + 0,55x_3 + 0,21x_4 - 0,48x_1x_2 + 0,28x_1x_3 - 0,31x_1x_4 + 0,19x_2x_3 - 0,63x_2x_4 - 1,29x_1^2 - 0,73x_2^2 - 1,02x_3^2 - 0,47x_4^2 \quad (3)$$

Анализируя полученные уравнения регрессии (2 и 3), выделили факторы, которые влияют на исследуемый процесс. В результате делали вывод о том, что для показателя ВСС

наибольшее влияние оказывали дозировки биомодифицированного сердца КРС и порошкообразного полуфабриката семян маша. Для показателя ВУС особое влияние оказывала дозировка биомодифицированного сердца КРС и яблочной клетчатки. Также было обнаружено, что знак «+» перед коэффициентом при линейных членах указывает на то, что с увеличением значения параметра, значение выходного параметра будет уменьшаться со знаком «-» – убывать.

На рисунке 1 представлена оценка влияния входных параметров x_i на выходные параметры y_i .

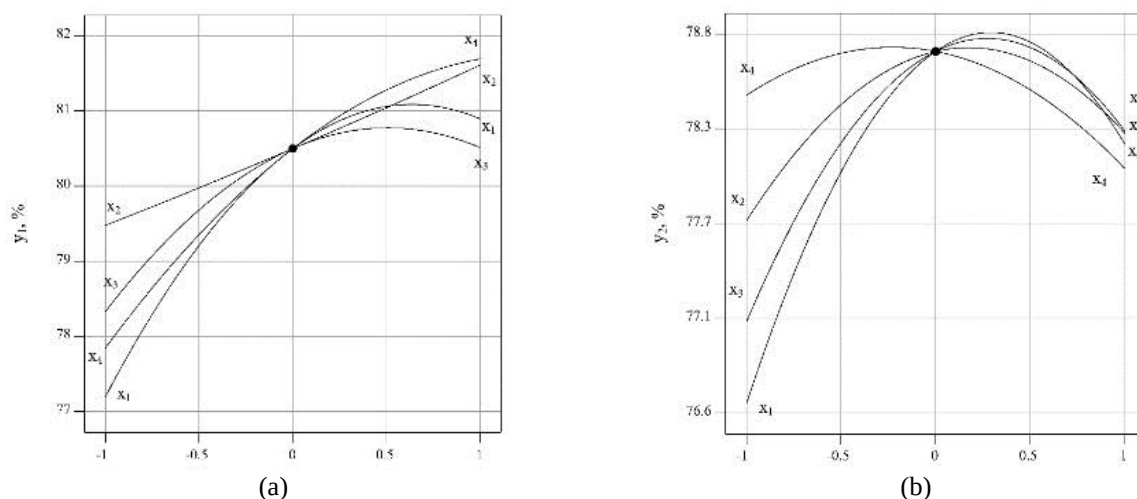
Данная модель позволяет определить оптимальное сочетание входных факторов для получения максимального значения выходных параметров. Оптимизация основывается на анализе больших объемов данных и использовании статистических методов.

Процедура численной оптимизации основывается на методах математического программирования. Благодаря использованию этих методов удалось снизить сложность задачи и получить быстрое и точное решение.

Графическая процедура оптимизации представляет собой интуитивный и наглядный способ визуализации результатов. Она позволяет наглядно представить зависимость выходных параметров от входных факторов и определить оптимальное сочетание этих факторов.

Таким образом, предложенные численная и графическая процедуры оптимизации обладают значительным практическим потенциалом и позволяют прогнозировать оптимальный уровень входных факторов, а также получать средне-высокие значения выходных параметров.

$$y_i(x_1 \dots x_j) \rightarrow \text{ave.max.} \quad (4)$$

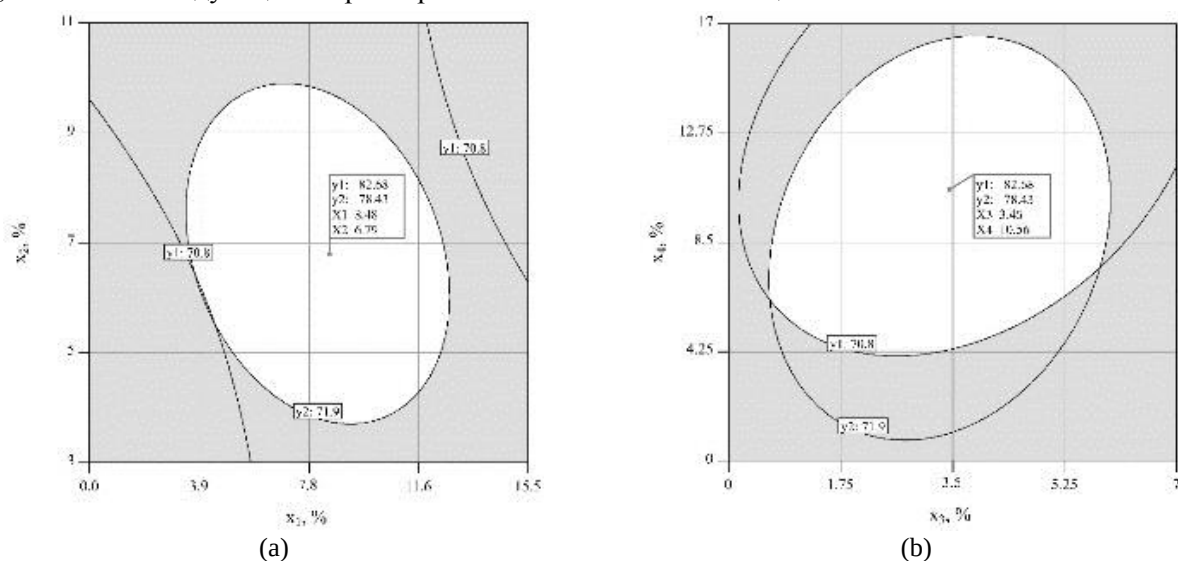
Рисунок 1. Воздействие значений x_i на показатели y_i ; а – для ВСС, %; б – для ВУС, %Figure 1. Impact of x_i values on y_i indicators; a – for VSS, %; b – for VUS, %

В результате решения оптимизационной задачи было выявлено, что для нахождения интервалов оптимальных значений параметров необходимо учесть значение желательности, которое составляет $D \rightarrow 1,0$.

Были определены оптимальные интервалы параметров, которые влияют на решение поставленной задачи оптимизации. Конкретнее, значения следующих параметров лежат

в оптимальных интервалах: x_1 (8,48–9,75, %); x_2 (6,78–8,01, %); x_3 (2,84–3,95, %); x_4 (8,07–10,64, %).

Далее, были наложены полученные интервалы друг на друга, что позволило определить область пересечения оптимального решения. Она выделена на рисунке 2 и представляет собой белую зону. Важно отметить, что данная область соответствует заданным критериям оптимизации.

Рисунок 2. Область решения задачи оптимизации в интервале $[-2 \dots +2]$ Figure 2. Solution domain of the optimization problem in the interval $[-2 \dots +2]$

Таким образом, проведенный анализ и определение оптимальных значений параметров помогли выявить область, где достигается наилучшее решение поставленной задачи оптимизации. Данные выходных параметров в итоге составили:

– ВСС, $y_1 = 82,68$, %, ВУС, $y_2 = 78,43$, %, при соответствующих входных: $x_1 = 8,48\%$; $x_2 = 6,79\%$; $x_3 = 3,45\%$; $x_4 = 10,56\%$.

Для проверки точности выбора оптимальных условий процесса была проведена серия параллельных экспериментов. После сравнения результатов экспериментов с расчетными данными была обнаружена значительная сходимость. Все полученные данные попали в пределы рассчитанных доверительных интервалов параметров оптимизации.

Подобранный компонентный состав БУК позволит нам разработать новый вид обогащенного мясного продукта для функционального питания.

Полученные данные легли в основу разработки рецептуры рубленых полуфабрикатов на основе модельного фарша – котлеты «Домашние».

Разработанный нами мясной рубленый полуфабрикат – котлеты «Закусочные» обогащен за счет включения композитов растительного и животного происхождения белками, пищевыми волокнами, витаминами группы В, а также магнием, фосфором и калием, что предполагает использование данного вида продукта для функционального питания.

Мясные продукты, обогащенные пищевыми волокнами, как в растворимом, так и в нерастворимом виде, обладают свойствами, препятствующими аккумуляции тяжелых металлов в организме. Они эффективно уменьшают содержание свинца в печени и в целом способствуют

уменьшению концентрации солей тяжелых металлов. Растворимые пищевые волокна также способствуют лучшему усвоению кальция [1].

Химический состав рубленых полуфабрикатов – котлет «Закусочные» представлен в таблице 4.

Результаты исследования химического состава разработанного вида мясного рубленого полуфабриката с использованием белково – углеводной композиции и pH – среды позволяют установить зависимость между рецептурными компонентами мясной системы и обогащающей композиции. Показатели влагосвязывающей способности для опытного образца рубленого полуфабриката находится на уровне 77,5–78,0%, что превышает значения контрольного рубленого полуфабриката. Аналогично тенденция прослеживается по показателям влаго- и жирудерживающей способности фарша с включением белково-углеводной композиции (повышения до уровня 80,5–81,7% относительно контрольного образца, имеющего значения данных), что также говорит об улучшении функционально-технологических свойств разработанной мясной системы.

Таблица 4.

Химический состав мясных рубленых полуфабрикатов

Table 4.

Chemical composition of minced meat semi-finished products

Показатель Indicator	Значение показателя для полуфабрикатов рубленых (котлет) Value of the indicator for semi-finished chopped (cutlets)	
	Котлеты «Домашние» (контроль) Cutlets "Homemade" (control)	Котлеты «Закусочные» (опыт) Cutlets "Snack bars" (experiment)
Массовая доля влаги, % Mass fraction of moisture, %	59,98	60,66
Массовая доля жира, % Mass fraction of fat, %	18,08	12,07
Массовая доля белка, % Mass fraction of protein, %	12,78	13,59
Массовая доля углеводов, % Mass fraction of carbohydrates, %	9,16	13,68
в том числе пищевых волокон including dietary fiber	–	9,34
pH полуфабриката pH of the semi-finished product	6,0	6,3
Соотношение жир: белок: вода Fat:protein:water ratio	1,4:1: 4,7	1:1,12:5,02

Опытный образец рубленых полуфабрикатов обладал более высокой органолептической оценкой и плотной структурой.

Опытный образец рубленого мясного полуфабриката по сравнению с контрольным образцом содержит меньшее количество жира и большее количество белка. Последнее обусловлено увеличением в рецептуре белковой составляющей животного и растительного происхождения.

Заключение

Проведенные исследования по оценке эффективности использования в составе мясных систем белково-углеводных композиций

свидетельствует о перспективах их внедрения в производственный цикл выработки мясных рубленых полуфабрикатов обогащенного состава. Методами математического моделирования оптимизирован состав белково – углеводной композиции, позволяющей формировать функционально-технологические свойства конечной фаршевой системы. Доказано, что применение в составе фаршевой системы белково-углеводной композиции на основе ингредиентов растительного и животного происхождения оказывает положительное влияние на структуру и пищевую ценность рубленых полуфабрикатов.

Литература

- 1 Васюкова А.Т., Кусова И.У., Эдварс Р.А., Любимова К.В. и др. Функционально-технологические свойства мясных полуфабрикатов с БАД // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 71–77. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-71-77
- 2 Панина Е.В., Курчаева Е.Е. Разработка подходов к производству мясных рубленых полуфабрикатов с использованием белково-углеводных комплексов // Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы национальной научно-практической конференции. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2024. С. 31–40.
- 3 Рушиц А.А., Зубков И.С. Разработка технологии мясных рубленых полуфабрикатов с повышенной пищевой ценностью // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2013. № 1.
- 4 Данилов М.Б., Гомбожапова Н.И., Лескова С.Ю., Бадмаева Т.М. Разработка технологии мясных рубленых полуфабрикатов функционального назначения // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2015. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-myasnyh-rublenyh-polufabrikatov-funktsionalnogo-naznacheniya>
- 5 Зинина О.В. Обзор разработок комбинированных рубленых полуфабрикатов // Молодой ученый. 2015. № 21 (101). С. 165–168. URL: <https://moluch.ru/archive/101/22832/>
- 6 Лукин А.А., Бец Ю.А., Наумова Н.Л. О возможности использования порошка из яблок сублимационной сушки в рецептуре мясного продукта // Ползуновский вестник. 2021. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnosti-ispolzovaniya-poroshka-iz-yablok-sublimatechnoy-sushki-v-retsepture-myasnogo-produkta>
- 7 Казымов С.А., Прудникова Т.Н. Влияние проращивания на аминокислотный состав бобов маша // Известия вузов. Пищевая технология. 2012. № 5–6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-proraschivaniya-na-aminokislотноy-sostav-bobov-masha>
- 8 Кыдыралиев Н.А., Шаршембиева А.М. Перспективы использования проростков зернобобовых в питании школьников // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2019. № 12. С. 108–113. doi: 10.26104/NTTIK.2019.45.557
- 9 Письменный С.А., Варивода А.А. Использование яблочного порошка с целью получения десертной продукции для здорового питания // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам 77 й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2021 год. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. С. 876–878.
- 10 Karchava M.S., Berulava N.J., Kintsurashvili T.D., Ergemlidze I.O. Meat product for baby nutrition enriched with natural mineral and vitamin supplements // *Juvenis Scientia*. 2018.
- 11 Dominguez R., Pateiro M., Munekata P.E.S., McClements D.J. Encapsulation of bioactive phytochemical in plant-based matrices and application as additives in meat and meat product. 2021. V. 26. № 13. P. 3984.
- 12 Munekata, P.E.S., Rocchetti G., Pateiro M., Lucini L. et al. Addition of plant extracts to meat and meat products to extend shelf-life and health-promoting attributes // An overview. *Curr. Opin. Food Sci.* 2020. P. 81–87.
- 13 Li X., He X., Lv Y., He Q. Extraction and functional properties of water-soluble dietary fiber from apple pomace // *Journal of food process engineering*. 2014. V. 37. №. 3. P. 293-298.
- 14 Carvalho D.V. et al. Cashew apple fiber prevents high fat diet-induced obesity in mice: an NMR metabolomic evaluation // *Food & function*. 2019. V. 10. №. 3. P. 1671-1683.
- 15 Guedes-Oliveira J.M. et al. Washed cashew apple fiber (*Anacardium occidentale* L.) as fat replacer in chicken patties // *LWT-Food Science and Technology*. 2016. V. 71. P. 268-273.
- 16 Issar K., Sharma P. C., Gupta A. Utilization of apple pomace in the preparation of fiber-enriched acidophilus yoghurt // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2017. V. 41. №. 4. P. e13098.
- 17 Moreira M.R. et al. Effects of polysaccharide-based edible coatings enriched with dietary fiber on quality attributes of fresh-cut apples // *Journal of food science and technology*. 2015. V. 52. P. 7795-7805.
- 18 Kowalczyk M., Znamirska A., Buniowska M. Probiotic sheep milk ice cream with inulin and apple fiber // *Foods*. 2021. V. 10. №. 3. P. 678.
- 19 Skinner R.C. et al. A comprehensive analysis of the composition, health benefits, and safety of apple pomace // *Nutrition reviews*. 2018. V. 76. №. 12. P. 893-909.
- 20 Lopes L.G. et al. The intake of dry cashew apple fiber reduced fecal egg counts in *Haemonchus contortus*-infected sheep // *Experimental parasitology*. 2018. V. 195. P. 38-43.

References

- 1 Vasyukova A.T., Kusova I.U., Edvars R.A., Lyubimova K.V., et al. Functional and technological properties of semi-finished meat products with dietary supplements. *Proceedings of VSUET*. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 71–77. doi: 10.20914/2310-1202-2022-2-71-77 (in Russian).
- 2 Panina E.V., Kurchaeva E.E. Development of approaches to the production of minced meat semi-finished products using protein-carbohydrate complexes. *Theory and practice of innovative technologies in the agro-industrial complex: materials of the national scientific and practical conference*. Voronezh, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2024. pp. 31–40. (in Russian).
- 3 Rushits A.A., Zubkov I.S. Development of technology for minced meat semi-finished products with increased nutritional value. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2013. no. 1. (in Russian).
- 4 Danilov M.B., Gombozhapova N.I., Leskova S.Yu., Badmaeva T.M. Development of technology for minced meat semi-finished products for functional purposes. *Bulletin of Science and Education of the North-West of Russia*. 2015. no. 2. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-myasnyh-rublenyh-polufabrikatov-funktsionalnogo-naznacheniya> (in Russian).
- 5 Zinina O.V. Review of developments of combined minced semi-finished products. *Young scientist*. 2015. no. 21 (101). pp. 165–168. Available at: <https://moluch.ru/archive/101/22832/> (in Russian).

- 6 Lukin A.A., Bets Yu.A., Naumova N.L. On the possibility of using freeze-dried apple powder in the formulation of a meat product. *Polzunovsky Vestnik*. 2021. no. 1. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnosti-ispolzovaniya-poroshka-iz-yablok-sublimatsionnoy-sushki-v-retsepture-myasnogo-produkta> (in Russian).
- 7 Kazymov S.A., Prudnikova T.N. The influence of germination on the amino acid composition of mung beans. *News of universities. Food technology*. 2012. no. 5–6. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-proraschivaniya-na-aminokislotnyy-sostav-bobov-masha> (in Russian).
- 8 Kydyraliev N.A., Sharshembieva A.M. Prospects for the use of legume sprouts in the nutrition of schoolchildren. *Science, new technologies and innovations of Kyrgyzstan*. 2019. no. 12. pp. 108–113. doi: 10.26104/NNTIK.2019.45.557 (in Russian).
- 9 Pismenny S.A., Varivoda A.A. Use of apple powder to obtain dessert products for healthy nutrition. Scientific support for the agro-industrial complex: a collection of articles based on the materials of the 77th scientific and practical conference of students on the results of research for 2021. Krasnodar, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 2022. pp. 876–878. (in Russian).
- 10 Karchava M.S., Berulava N.J., Kintsurashvili T.D., Ergemlidze I.O. Meat product for baby nutrition enriched with natural mineral and vitamin supplements. *Juvenis Scientia*. 2018.
- 11 Domingutz R., Pateiro M., Munekata P.E.S., McClements D.J. Encapsulation of bioactive phytochemical in plant-based matrices and application as additives in meat and meat product. 2021. vol. 26. no. 13. pp. 3984.
- 12 Munekata P.E.S., Rocchetti G., Pateiro M., Lucini L. et al. Addition of plant extracts to meat and meat products to extend shelf-life and health-promoting attributes. An overview. *Curr. Opin. Food Sci.* 2020. pp. 81–87.
- 13 Li X., He X., Lv Y., He Q. Extraction and functional properties of water-soluble dietary fiber from apple pomace. *Journal of food process engineering*. 2014. vol. 37. no. 3. pp. 293–298.
- 14 Carvalho D.V. et al. Cashew apple fiber prevents high fat diet-induced obesity in mice: an NMR metabolomic evaluation. *Food & function*. 2019. vol. 10. no. 3. pp. 1671–1683.
- 15 Guedes-Oliveira J.M. et al. Washed cashew apple fiber (*Anacardium occidentale* L.) as fat replacer in chicken patties. *LWT-Food Science and Technology*. 2016. vol. 71. pp. 268–273.
- 16 Issar K., Sharma P. C., Gupta A. Utilization of apple pomace in the preparation of fiber-enriched acidophilus yoghurt. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2017. vol. 41. no. 4. pp. e13098.
- 17 Moreira M.R. et al. Effects of polysaccharide-based edible coatings enriched with dietary fiber on quality attributes of fresh-cut apples. *Journal of food science and technology*. 2015. vol. 52. pp. 7795–7805.
- 18 Kowalczyk M., Znamirska A., Buniowska M. Probiotic sheep milk ice cream with inulin and apple fiber. *Foods*. 2021. vol. 10. no. 3. pp. 678.
- 19 Skinner R.C. et al. A comprehensive analysis of the composition, health benefits, and safety of apple pomace. *Nutrition reviews*. 2018. vol. 76. no. 12. pp. 893–909.
- 20 Lopes L.G. et al. The intake of dry cashew apple fiber reduced fecal egg counts in *Haemonchus contortus*-infected sheep. *Experimental parasitology*. 2018. vol. 195. pp. 38–43.

Сведения об авторах

Анна А. Дерканосова д.т.н., профессор, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, aa-derk@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

Елена Е. Курчаева д.с.-х.н., профессор, кафедра частной зоотехнии, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1 г. Воронеж, 394087, Россия, alena.kurchaeva@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5958-0909>

Евгения В. Панина старший преподаватель, кафедра процессов и аппаратов перерабатывающих производств, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, panina-genia@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6159-842X>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Anna A. Derkanosova Dr. Sci. (Engin.), Professor, Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, aa-derk@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

Elena E. Kurchaeva Dr. Sci. (Agric.), Professor, Department of private animal Science, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina Street, 1 Voronezh, 394087, Russia, alena.kurchaeva@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5958-0909>

Evgenia V. Panina Senior Lecturer, Department of Processes and Equipment of Processing Industries, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina Street, 1 Voronezh, 394087, Russia, panina-genia@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6159-842X>

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 15/07/2024	После редакции 30/07/2024	Принята в печать 10/08/2024
Received 15/07/2024	Accepted in revised 30/07/2024	Accepted 10/08/2024

Investigation of the Er-Sb-Te system

Saba H. Mamadova	¹	saba.mammadova36@gmail.com	 0000-0002-6545-2070
Fuad M. Sadigov	¹	fuad.sadiqov.55@mail.ru	 0009-0006-0571-6800
Zakir I. Ismailov	¹	zakir-51@mail.ru	 0000-0003-3499-953X
Kseniya B. Kim	²	kmkseniya@yandex.ru	 0000-0001-5564-8267
Sabukhi I. Niftaliyev	²	sabukhi@gmail.com	 0000-0001-7887-3061

¹ Baku State University, 23 Zahid Khalilov street, Baku Az1148, Azerbaijan

² Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Аннотация. Methods of physicochemical analysis, namely differential thermal analysis (DTA), high temperature differential thermal analysis (HTTA), X-ray phase analysis (XRD), microstructural analysis (MSA) and microhardness measurements are used to determine the nature of the physicochemical interaction in the Er-Sb-Te ternary system. Phase diagrams of the following quasi-binary $\text{Er}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$, $\text{ErTe-Sb}_2\text{Te}_3$, ErTe-SbTe , ErTe-Sb and non-quasi-binary $\text{Er-Sb}_2\text{Te}_3$, D ($\text{ErSb}_3\text{Te}_{5.5}$)-Te sections are presented for the first time. It has been established that at a component ratio of 1:1 in the $\text{Er}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$ system, a new ternary phase with the composition ErSbTe_3 is formed, which crystallizes in the hexagonal syngony with unit cell parameters: $a=0.408$; $c=3.045$ nm. In the system based on Sb_2Te_3 , solid solutions are formed, the boundaries of which are up to 3 mol% Er_2Te_3 at room temperature, and at the eutectic temperature it reaches about 8 mol% Er_2Te_3 . The ternary combination of ErSbTe_3 with an α -solid solution forms a eutectic, the coordinates of which are 20 mol % Er_2Te_3 and 800 K. The liquidus of the $\text{ErTe-Sb}_2\text{Te}_3$ system consists of two branches of primary crystallization of an α -solid solution based on Sb_2Te_3 and an Er_2Te_3 compound. In the $\text{ErTe-Sb}_2\text{Te}_3$ section, a region of homogeneity is also formed based on Sb_2Te_3 up to 5 mol % ErTe . The system state diagram is of the simple eutectic type. Eutectic coordinates 25 mol% ErTe and 850K. In the ErSb - ErTe and Sb - ErTe systems, no new ternary phases and homogeneity regions have been found. Eutectic coordinates in the ErSb - ErTe system; 50mol % ErTe and 1200K, and in the second system (Sb - ErTe) a degenerate eutectic is observed (at 900K). The cut $\text{Sb}_2\text{Te}_3\text{-Er}$ intersects three, and D-Te two subordinate triangles. In both systems, ternary eutectic and peritectic invariant reactions occur at different temperatures. A projection of the liquidus surface of the Er-Sb-Te ternary system is also constructed, which consists of fourteen fields of primary crystallization of phases, separated by 25 monovariant equilibrium curves. Monovariant curves intersect at 11 nonvariant points, five of which are eutectic and six are peritectic.

Ключевые слова: phase diagram, ternary system, phase equilibrium, quasi-binary, non-quasi-binary sections, solid solutions, liquidus of the system, crystallization of phases.

Исследование системы Er-Sb-Te

Саба Г. Мамадова	¹	saba.mammadova36@gmail.com	 0000-0002-6545-2070
Фуад М. Садыгов	¹	fuad.sadiqov.55@mail.ru	 0009-0006-0571-6800
Закир И. Исмаилов	¹	zakir-51@mail.ru	 0000-0003-3499-953X
Ксения Б. Ким	²	kmkseniya@yandex.ru	 0000-0001-5564-8267
Сабухи И. Нифталиев	²	sabukhi@gmail.com	 0000-0001-7887-3061

¹ Бакинский государственный университет, ул. Захида Халилова 23, Баку, Az1148, Азербайджан

² Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Abstract. Методами физико-химического анализа, а именно дифференциально-термического (ДТА), высокотемпературного дифференциально-термического (ВДТА), рентгенофазового (РФА), микроструктурного (МСА) анализов и измерением микротвердости определен характер физико-химического взаимодействия в тройной системе Er-Sb-Te. Впервые представлены фазовые диаграммы следующих квазибинарных $\text{Er}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$, $\text{ErTe-Sb}_2\text{Te}_3$, ErTe-SbTe , ErTe-Sb и неквазибинарных $\text{Er-Sb}_2\text{Te}_3$, D ($\text{ErSb}_3\text{Te}_{5.5}$)-Te сечений. Установлено, что при соотношении компонентов 1:1 в системе $\text{Er}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$ образуется новая тройная фаза составом ErSbTe_3 , которая кристаллизуется в гексагональной сингонии с параметрами элементарной ячейки: $a=0.408$; $c=3.045$ нм. В системе на основе Sb_2Te_3 образуются твердые растворы границы которых составляют до 3 мол% Er_2Te_3 при комнатной температуре, а при температуре эвтектики достигает около 8 мол% Er_2Te_3 . Тройное соединение ErSbTe_3 с α -твердым раствором образует эвтектику, координаты которой составляют 20мол % Er_2Te_3 и 800K. Ликвидус системы $\text{ErTe-Sb}_2\text{Te}_3$ состоит из двух ветвей первичной кристаллизации α - твердого раствора на основе Sb_2Te_3 и соединения Er_2Te_3 . В разрезе $\text{ErTe-Sb}_2\text{Te}_3$ также образуется область гомогенности на основе Sb_2Te_3 до 5 мол % ErTe . Диаграмма состояния системы относится к простому эвтектическому типу. Координаты эвтектики 25 мол% ErTe и 850K. В системах ErSb - ErTe и Sb - ErTe новые тройные фазы и области гомогенности не обнаружены. Координаты эвтектики в системе ErSb - ErTe ; 50мол % ErTe и 1200K, а во второй системе (Sb - ErTe) наблюдается вырожденная эвтектика (при 900K). Разрез $\text{Sb}_2\text{Te}_3\text{-Er}$ пересекает три, а D-Te два подчиненных треугольника. В обеих системах происходят тройные эвтектические и перитектические неинвариантные реакции при различных температурах. Также построена проекция поверхности ликвидуса тройной системы Er-Sb-Te, которая состоит из четырнадцати полей первичной кристаллизации фаз, разделенных 25 кривыми моновариантного равновесия. Моновариантные кривые пересекаются в 11 инвариантных точках, пять из которых являются эвтектическими и шесть перитектическими.

Keywords: диаграмма состояния, тройная система, фазовое равновесие, квазибинарные, неквазибинарные сечения, твердые растворы, ликвидус системы, кристаллизация фаз.

Для цитирования

Мамадова С. Г., Садыгов Ф. М., Исмаилов З. И., Ким К. Б., Нифталиев С. И. Investigation of the Er-Sb-Te system // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 209–216. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-209-216

For citation

Mamadova S.H., Sadygov F.M., Ismailov Z.I., Kim K.B., Niftaliyev S.I. Исследование системы Er-Sb-Te. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 209–216. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-209-216

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

Introduction

Chalcogenides of antimony and bismuth are promising materials for optoelectronic devices [1, 2], solar cells [3], thermoelectric converters [4–6], photo electrochemical cells [7], optical recording [8], lithium-ion batteries [9, 10]. Moreover, they are also used as a topological insulator [11–13] and superconductors [13, 14].

According to [15, 16], one of the effective and promising ways to improve the thermoelectric properties of compounds is doping. It has recently been found that rare earth elements REE (REE = Lu, Ce, Sm, Er, La, Gd, etc.) can be successfully used as impurities to improve the thermoelectric characteristics of Bi_2Te_3 [17–28]. According to [27] the $\text{Bi}_{1.9}\text{Gd}_{0.1}\text{Te}_3$ composition is optimal for obtaining the maximum increase in ZT for Bi_2Te_3 compounds doped with REE.

The study of chemical interaction in Er-B-X (B-Sb, Bi; X-S, Se, Te) systems is of interest from the point of view of improving thermoelectric properties.

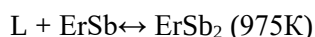
The phase diagrams boundary binary systems of the Er-Sb-Te ternary system have been studied in detail in [28–33].

In the Er-Te system, double compounds with compositions ErTe , Er_2Te_3 , ErTe_2 , ErTe_3 have been found.

System state diagram studied by Weissan. The $\text{Er} + \text{ErTe}$ eutectic is at 13 at% Te and melts at 1270 °C. Between ErTe and Er_2Te_3 there is a continuous series of solid solutions. The melting points of the boundary compositions are 1325 and 1460 °C, respectively. Tritelluride ErTe_3 is formed by a peritectic reaction at 575 °C [28].

In the Sb-Te system at 618 °C, the congruently melting compound Sb_2Te_3 is formed. The solubility of Sb in Te is ~1 at. % at room temperature. The eutectic crystallizes at 92 at. % Te and 422 °C [29–31].

The Er-Sb system was studied by the authors [32–33] and the state diagram of the system was constructed. Two compounds with compositions ErSb and ErSb_2 are formed in the system. The ErSb compound is formed at a ratio of components 1:1 with an open maximum at 1650 K, and ErSb_2 by the peritectic reaction:



ErSb forms a eutectic with Er, the eutectic coordinates are: 80 mol.% Er and 1200 K [33].

Materials and methods

The initial materials for the synthesis of alloys were Er metal "Erm-O"; Sb "B-4"; Te "TA-2".

The alloys were obtained by direct alloying of the components in evacuated quartz ampoules at 900–1300K, depending on the composition, followed by slow cooling in a switched off furnace. To obtain an equilibrium state, the alloys were subjected to homogenizing annealing in evacuated quartz ampoules at temperatures 50–100 K below the solidus temperature for two weeks.

The study was carried out by a complex of methods of physical and chemical analysis.

Differential thermal analysis (DTA) was performed using an NTR-73 pyrometer and Thermoscan-2. The liquidus temperature of the high-temperature part of the diagrams was determined on a VDTA-8 in an inert atmosphere using W-W/Re thermocouples. Heating rate 40 deg./min.

X-ray diffraction analysis (XRD) was carried out by taking X-ray diffraction patterns of powders on a Bruker D8 ADVANCE diffractometer with $\text{Cu K}\alpha$ radiation.

For microstructural analysis (microscope MIM-7), an etchant with the composition of 10% mol $\text{H}_2\text{SO}_4 + 45\text{g K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 90\text{ mol\% H}_2\text{O}$ was used. The etching process lasts 26 s. The microhardness of the alloys was measured on a PMT-3 microhardness tester at loads of 10 and 20 g. The measurement error was 1.2–1.43%.

Results

To study the chemical interaction in the entire concentration range and construct the projection of the liquidus surface of the Er-Sb-Te ternary system, the following sections were studied: $\text{ErSb}-\text{ErTe}$, $\text{Er}_2\text{Te}_3-\text{Sb}_2\text{Te}_3$, $\text{ErTe}-\text{Sb}$, $\text{ErTe}-\text{Sb}_2\text{Te}_3$, $\text{Sb}_2\text{Te}_3-\text{Er}$, and $\text{Sb}_2\text{Te}_3 - \text{D}(\text{ErSb}_3\text{Te } 5,5) \text{Er}_2\text{Te}_3-\text{Sb}_2\text{Te}_3$ section is quasi-binary (Fig.1).

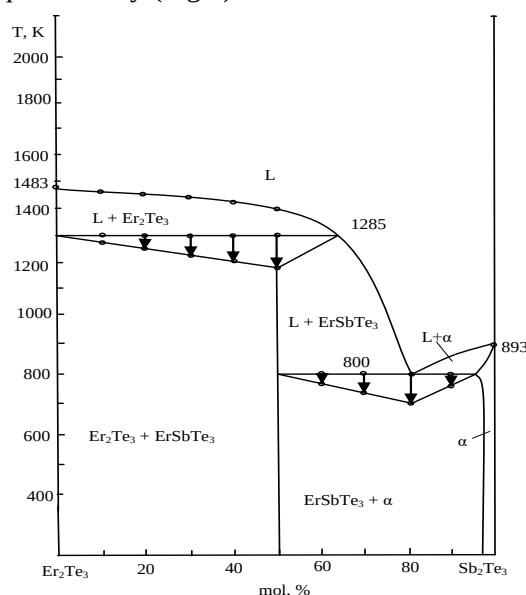
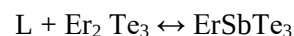


Figure 1. Phase diagram of the Sb_2Te_3 - Er_2Te_3 system

It can be seen from the figure that the Sb_2Te_3 - Er_2Te_3 section belongs to the simple eutectic type. At a ratio of components of 1:1, a ternary compound of composition ErSbTe_3 is formed in the system by a peritectic reaction at a temperature of 1285 K.



The ErSbTe_3 compound forms a eutectic with an α -solid solution based on Sb_2Te_3 . Eutectic coordinates is 80 mol% Sb_2Te_3 and 800 K.

The formation of solid solutions based on Sb_2Te_3 was found, the boundary of which is approximately 3 mol.% Sb_2Te_3 at a temperature of 300 K.

By indexing the diffraction pattern of the 1:1 composition alloy, it was found that ErSbTe_3 crystallizes in a tetragonal syngony with unit cell parameters, $a = 18.95\text{\AA}$; $c = 12.68\text{\AA}$ (Fig.2)

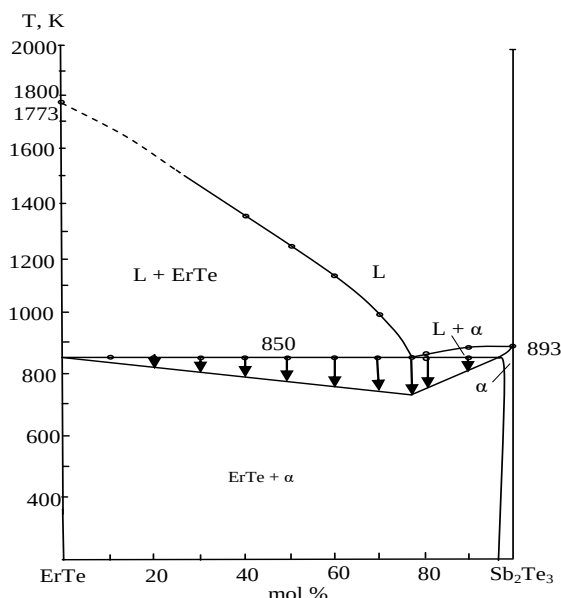


Figure 2. Phase diagram of the ErTe – Sb_2Te_3 system

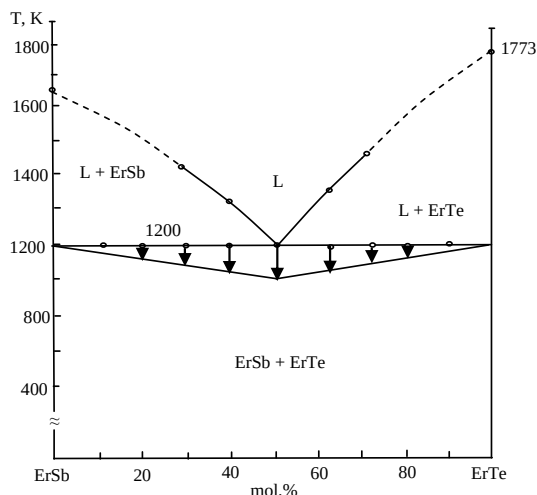


Figure 4. Phase diagram of the ErSb – ErTe – system

$\text{Er-Sb}_2\text{Te}_3$ non-quasi-binary section (Fig. 2) crosses three subordinate triangles: ErSb-Er-ErTe, ErSb-Sb-ErTe, ErTe-Sb-Sb $_2\text{Te}_3$.

The effects at 1000 and 800 K reflect the co-crystallization of Er with ErTe and ErTe with an α -solid solution based on Sb_2Te_3 , respectively.

Data on chemical interaction in sections of the eutectic type in the Er-Sb-Te system are given in Table 1.

Table 1.
The nature of the chemical interaction in sections

Sections	Eutectic coordinates		
	Sb_2Te_3 mol%	T, K	
$\text{Sb}_2\text{Te}_3\text{-ErTe}$	75	850	Fig.3
Sb-ErTe	degenerate	900	Fig.4
ErSb-ErTe	50	1200	Fig.5

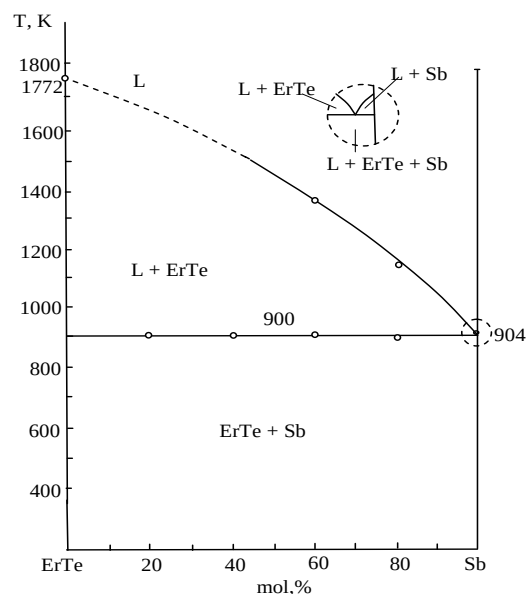


Figure 3. Phase diagram of the ErTe – Sb system

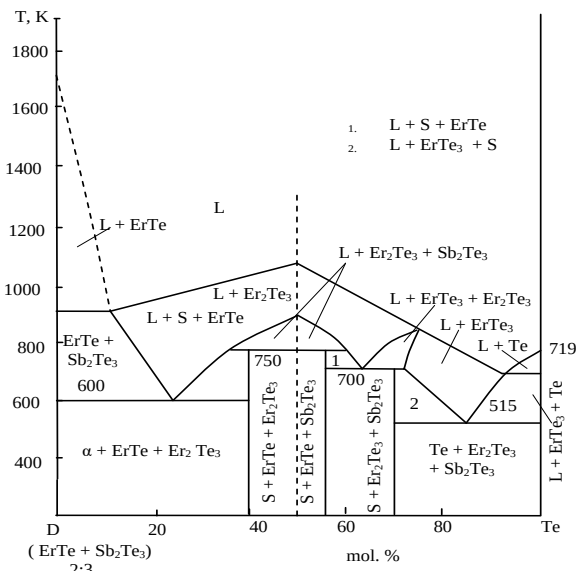
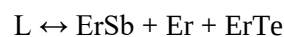


Figure 5. D($\text{ErTe} + \text{Sb}_2\text{Te}_3$) – Te polythermal section of the phase diagram of the Er-Sb-Te system

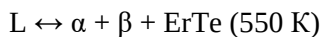
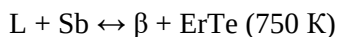
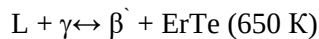
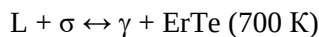
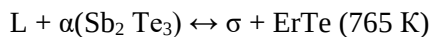
Crystallization of the alloys of the part of the section of the intersecting triangle ErSb-Er-ErTe ends at a ternary eutectic temperature of 1600K, according to the reaction:



Peritectic transformations take place in this part of the system:



Part of the system crosses partial triangle III, where ternary eutectic and peritectic nonvariant transformations occur:



D(ErSb₃Te_{5,5}) – Te section is non-quasi-binary (Fig. 7), crosses two triangles Sb₂Te₃-ErTe-Er₂Te₃ and Sb₂Te₃-Te-Er₂Te₃. Liquidus consists of four curves of primary phase crystallization: ErTe, Er₂Te₃, ErTe₃, and Te.

The following nonvariant eutectic and peritectic reactions take place in this part of the system:

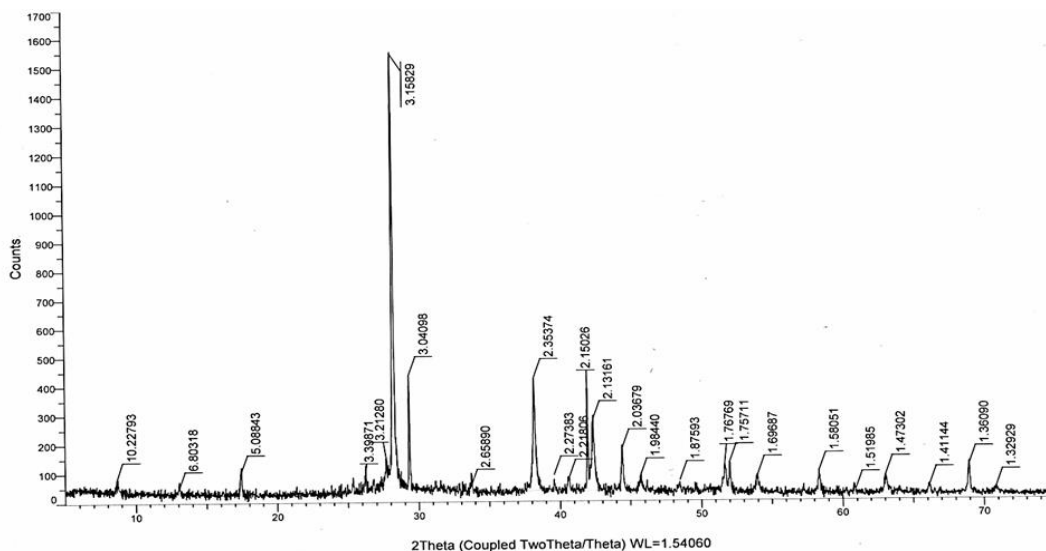
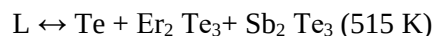
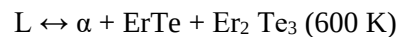
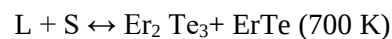
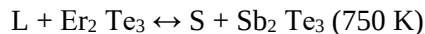
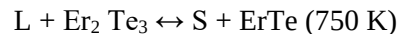


Figure 6. X-ray diffraction pattern of ErSbTe₃ compound

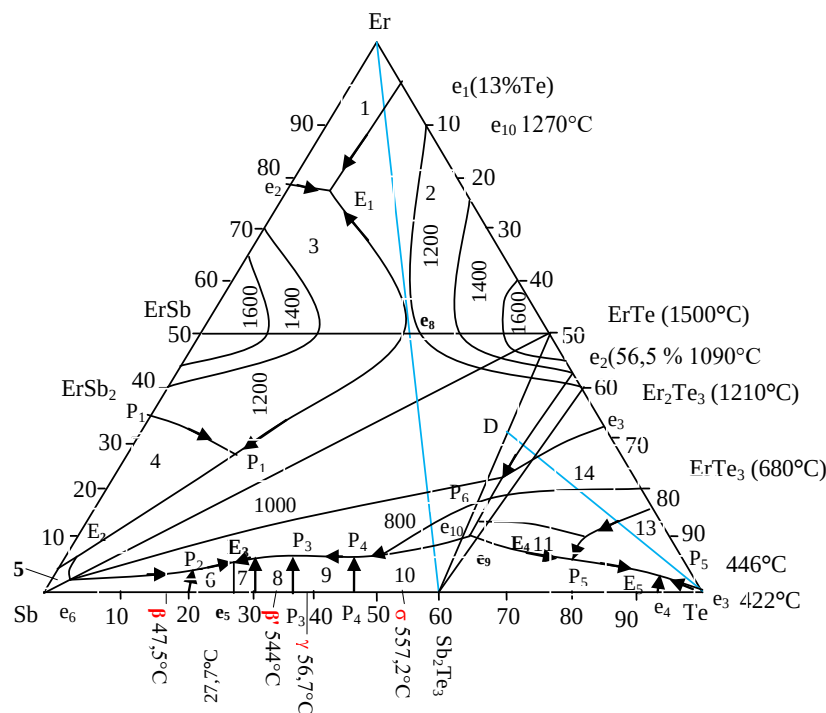


Figure 7. Liquidus surface projection of the Er-Sb-Te ternary system. Areas of primary crystallizations phases: 1 – Er, 2 – ErTe, 3 – ErSb, 4 – ErSb₂, 5 – Sb, 6 – β, 7 – β', 8 – h, 9 – σ, 10 – Sb₂Te₃, 11 – ErSbTe₃, 12 – Te, 13 – ErTe₃, 14 – Er₂Te₃

The study of the six sections described above and the literature data on binary systems made it possible to construct a projection of the liquidus surface of the Er-Sb-Te ternary system (Fig. 7), which can be divided into five secondary systems: ErSb-Er-ErTe, ErSb-Sb-ErTe, ErTe-Sb-Sb₂Te₃, Sb₂Te₃-ErTe-Er₂Te₃, Sb₂Te₃-Te-Er₂Te₃.

The liquidus of the investigated system consists of 14 primary phase crystallization fields separated by 25 monovariant equilibrium curves. The largest region of the diagram is occupied by the crystallization field of the ErTe compound (~55%). Monovariant curves intersect at 11 nonvariant points, 5 of which are eutectic and 6 are peritectic. Nonvariant reactions occurring during the crystallization of alloys are shown in Table 2.

Table 2.

Nonvariant equilibrium processes in the Er-Sb-Te ternary system

Point	Equilibria	Temperature T, K
e ₁₁ -E ₁	$L \leftrightarrow Er + ErSb$	1200–60
e ₁ -E ₁	$L \leftrightarrow Er + ErTe$	1343–600
E _{1e6} P ₁	$L \leftrightarrow ErSb + ErTe$	600–1200–800
P ₁ P ₁	$L \leftrightarrow ErSb + ErSb_2$	975–800
P ₁ E ₂	$L \leftrightarrow ErSb_2 + Sb$	800–695
E _{2e6} P ₂	$L \leftrightarrow Er_2Te + Sb$	675–900–850
P _{4e10} E ₄	$L \leftrightarrow Sb_2Te_3 + ErTe$	765–850–600
P ₄ P ₄	$L \leftrightarrow Sb_2Te_3 + \sigma$	830–765
P ₄ P ₃	$L \leftrightarrow \gamma + ErTe$	765–700
P ₃ P ₃	$L \leftrightarrow \gamma + \beta'$	813–700
P ₃ E ₃	$L \leftrightarrow \beta' + ErTe$	700–550
e ₅ E ₃	$L \leftrightarrow \beta' + \gamma$	818–550
P ₂ P ₂	$L \leftrightarrow Sb + \beta$	810–650
T ₂ E ₃	$L \leftrightarrow \beta + ErTe$	750–650
e ₂ P ₆	$L \leftrightarrow ErTe + ErTe_3$	1360–750
P ₆ E ₄	$L \leftrightarrow ErTe + ErSbTe_3(S)$	750–600
e ₁₉ E ₄	$L \leftrightarrow ErTe + Sb_2Te_3$	850–600
P _{6e6} P ₆	$L \leftrightarrow ErTe_3 + S$	760–1285–750
E _{4e3} P ₅	$L \leftrightarrow Sb_2Te_3 + S$	600–800–700
P ₅ P ₆	$L \leftrightarrow Er_2Te_3 + ErTe_3$	923–750
P ₆ P ₅	$L \leftrightarrow S + ErTe_3$	750–700
P ₅ E ₅	$L \leftrightarrow ErTe_3 + Sb_2Te_3$	700–515

Conclusion

By using the DTA, HTDA, XRD, MSA and microhardness measurements the character of the physicochemical interaction in the Er-Sb-Te

ternary system are studied. It has been established that the Sb₂Te₃-Er₂Te₃, Sb₂Te₃-ErTe, ErTe-Sb, ErTe-ErSb sections are quasi-binary, while the Sb₂Te₃-Er and D – Te sections are non-quasi-binary.

Литература

- 1 Baghbanzadeh-Dezfuli B., Jamali-Sheini F., Cheraghizade M. Sonical deposition of nanostructured Sb₂Se₃ films for optoelectronic applications // Journal of Alloys and Compounds. 2021. V. 85. № 1. P. 157308. doi: 10.1016/j.jallcom.2020.157308
- 2 Wang F.K., Yang S.J., Zhai T.Y. 2D Bi₂Se₃ materials for optoelectronics // IScience. 2021. V. 24. № 11. P. 103291. doi: 10.1016/j.isci.2021.103291
- 3 Ghosh S., Moreira M.V.B., Fantini C., González J.C. Growth and optical properties of nanocrystalline Sb₂Se₃ thin-films for the application in solar-cells // Solar Energy. 2020. V. 211. P. 613–621. doi: 10.1016/j.solener.2020.10.001
- 4 Nolas G.S., Sharp J., Goldsmid J. Thermoelectrics: basic principles and new materials developments. Springer Science & Business Media, 2013. V. 45. doi: 10.1007/978-3-662-04569-5
- 5 Goldsmid H.J. Bismuth telluride and its alloys as materials for thermoelectric generation // Materials. 2014. V. 7. №4. P. 2577–2592. doi: 10.3390/7042577
- 6 Scherrer H., Scherrer S. Bismuth telluride, antimony telluride, and their solid solutions // CRC Handbook of thermoelectrics. CRC Press, 2018. P. 211-238.
- 7 Yang W., Kim J.H., Hutter O.S. Benchmark performance of low-cost Sb₂Se₃ photocathodes for unassisted solar overall water splitting // Nature Communications. 2020. V 11. № 1. P. 861. doi: 10.1038/s41467-020-14704-3
- 8 Sankapal B.R., Lokhande, C.D. Photoelectrochemical characterization of Bi₂Se₃ thin films deposited by SILAR technique // Materials Chemistry and Physics. 2002. V. 73. № 2–3. P. 151–155. doi: 10.1016/s0254-0584(01)00362-5
- 9 Li W., Deng L., Wang X., Cao J. et al. Close-spaced thermally evaporated 3D Sb₂Se₃ film for high-rate and high-capacity lithium-ion storage // Nanoscale. 2021. V. 13. № 21. P. 9834–9842. doi: 10.1039/d1nr01585k
- 10 Xue M.-Z., Fu Z.-W. Pulsed laser deposited Sb₂Se₃ anode for lithium-ion batteries // J. Alloys Compd. 2008. V. 458. P. 351–356. doi: 10.1016/j.jallcom.2007.03.109
- 11 Zhang H., Liu C.-X., Qi X.-L., Dai X. et al. Topological insulators in Bi₂Se₃, Bi₂Te₃ and Sb₂Te₃ with a single Dirac cone on the surface // Nature Physics. 2009. V. 5. P. 438–442.
- 12 Mazumder K., Shirage P.M. A brief review of Bi₂Se₃ based topological insulator: From fundamentals to applications // Journal of Alloys and Compounds. 2012. V. 888. № 25. P. 161492. doi: 10.1016/j.jallcom.2021.161492

- 13 Anversa J., Chakraborty S., Piquini P., Ahuja R. High pressure driven superconducting critical temperature tuning in Sb₂Se₃ topological insulator // *Appl. Phys. Lett.* 2016. V. 108. P. 212601. doi: 10.1063/1.4950716
- 14 Zhang K., Xu M., Li N., Xu M. et al. Superconducting Phase Induced by a Local Structure Transition in Amorphous Sb₂Se₃ under High Pressure // *Phys. Rev. Lett.* 2021. V. 127. № 12. P. 127002. doi: 10.1103/PhysRevLett.127.127002
- 15 Ioffe A.F. *Semiconductor Thermoelements and Thermoelectric Cooling*. A.F. Ioffe. London: Infosearch Limited, 1957. 1923p.
- 16 Suh J., Yu K.M., Fu D., Liu X. et al. Simultaneous enhancement of electrical conductivity and thermopower of Bi₂Te₃ by multifunctionality of native defects // *Adv. Mater.* 2015. V. 27. № 24. P. 3681–3686. doi: 10.1002/adma.201501350
- 17 Shchurova M.A., Andreev O.V., Kuznetsova A.V. Electrophysical properties of the Bi_{1-2-x}Se_{3-x}X SMSE alloys as thermoelectric converter of n-type // *Tyumen state university herald*. 2013. V. 5. P. 82–87.
- 18 Yaprntsev M., Vasiliev A., Ivanov O. Sintering temperature effect on thermoelectric properties and microstructure of the grained Bi_{1.9}Gd_{0.1}Te₃ compound // *J. Eur. Ceram. Soc.* 2019. V. 39. № 4. P. 1193–1205. doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2018.12.041
- 19 Ivanov O., Yaprntsev M., Lyubushkin R., Soklakova O. Enhancement of thermoelectric efficiency in Bi₂Te₃ via rare earth element doping // *Scr. Mater.* 2018. V. 146. P. 91–94. doi: 10.1016/j.scriptamat.2017.11.031
- 20 Yaprntsev M., Lyubushkin R., Soklakova O., Ivanov O. Effects of Lu and Tm doping on thermoelectric properties of Bi₂Te₃. // *J. Electron. Mater.* 2018. V. 47. № 2. P. 1362–1370. doi: 10.1007/s11664-017-5940-8
- 21 Ivanov O., Yaprntsev M. Mechanisms of thermoelectric efficiency enhancement in Lu-doped Bi₂Te₃. // *Mater. Res. Express*. 2018. V. 5. № 1. P. 1–10. doi: 10.1088/2053-1591/aaa265
- 22 Yaprntsev M.N., Lyubushkin R.A., Soklakova O.N. Synthesis and electrical properties of Bi₂Te₃-based thermoelectric materials doped with Er, Tm, Yb, and Lu // *Semiconductors*. 2017. V. 51. № 6. P. 710–713. doi: 10.1134/S106378261706029X
- 23 Yang J.J., Wu F.F., Zhu Z.Z., Yao L.L. et al. Thermoelectrical properties of lutetium-doped Bi₂Te₃ bulk samples prepared from flower-like nanopowders // *J. Alloys Compd.* 2015. V. 619. P. 401–405. doi: 10.1016/J.JALLCOM.2014.09.024
- 24 Singh N., Schwingenschlogl U. LaBiTe₃: An unusual thermoelectric material // *Phys. Status RRI*. 2014. V. 8. № 9. P. 805–808. doi: 10.1002/pssr.201409110
- 25 Lin J., Vanderbilt D. Weyl semimetals from none centrosymmetric topological insulators // *Physical Review B*. 2014. V. 90. № 15. P. 155–316. doi: 10.1103/PhysRevB.90.155316
- 26 Li Zh., Si Ch., Zhou J., Xu H. et al. Yttrium-Doped Sb₂Te₃: A Promising Material for Phase-Change Memory // *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2016. V. 8. № 39. P. 26126–26134. doi: 10.1021/acsami.6b08700
- 27 Yaprntseva M., Vasil'eva A., Ivanova O. Thermoelectric properties of the textured Bi_{1.9}Gd_{0.1}Te₃ compounds sparkplasma-sintered at various temperature // *Journal of the European Ceramic Society*. 2020. V. 40. № 3. P. 742–775. doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2019.11.028
- 28 Yarembash E.I., Eliseev A.A. *Chalcogenides of rare earth elements*. M: Nauka, 1975, 260 p.
- 29 Ghosh G. The Sb-Te (Antony-Tellurium) system // *Journal of Phase Equilibria*. 1994. V. 15. P. 349–360.
- 30 Eckerbin V.P., Stegher A. On the phases in the Sb-Te system // *Acta Crystallographica*. 1966. V. 2. P. 78.
- 31 Brown A., Liewis B. The systems bismuth-tellurium and antimony – tellurium and synthesis of the antimony – tellurium and the synthesis of the minerals hedleyite and wehrlite // *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 1962. V. 23. P. 1597–1604.
- 32 Sadigov F.M., Alizade N.M., Ismailov Z.I. Nature of chemical interaction in the ternal system Er-Bi (Sb) – Se // *Eurasian Union of Scientists*. 2021. V. 1. P. 82.
- 33 Sadigov F.M., Mamadova S.H., Ismayilov Z.I. State diagram of Er-Sb system // *Ganja*. 2022. P. 85–87.
- 34 Лякишева Н.П. Диаграммы состояния бинарных металлических систем. Справочник М.: Машиностроение, 1997. 1023 с.

References

- 1 Baghbanzadeh-Dezfuli B., Jamali-Sheini F., Cheraghizade M. Sonical deposition of nanostructured Sb₂Se₃ films for optoelectronic applications. *Journal of Alloys and Compounds*. 2021. vol. 85. no. 1. pp. 157308. doi: 10.1016/j.jallcom.2020.157308
- 2 Wang F.K., Yang S.J., Zhai T.Y. 2D Bi₂Se₃ materials for optoelectronics. *IScience*. 2021. vol. 24. no. 11. pp. 103291. doi: 10.1016/j.isci.2021.103291
- 3 Ghosh S., Moreira M.V.B., Fantini C., González J.C. Growth and optical properties of nanocrystalline Sb₂Se₃ thin-films for the application in solar-cells. *Solar Energy*. 2020. vol. 211. pp. 613–621. doi: 10.1016/j.solener.2020.10.001
- 4 Nolas G.S., Sharp J., Goldsmid J. *Thermoelectrics: basic principles and new materials developments*. Springer Science & Business Media, 2013. vol. 45. doi: 10.1007/978-3-662-04569-5
- 5 Goldsmid H.J. Bismuth telluride and its alloys as materials for thermoelectric generation. *Materials*. 2014. vol. 7. no. 4. pp. 2577–2592. doi: 10.3390/7042577
- 6 Scherrer H., Scherrer S. Bismuth telluride, antimony telluride, and their solid solutions. *CRC Handbook of thermoelectrics*. CRC Press, 2018. pp. 211–238.
- 7 Yang W., Kim J.H., Hutter O.S. Benchmark performance of low-cost Sb₂Se₃ photocathodes for unassisted solar overall water splitting. *Nature Communications*. 2020. vol. 11. no. 1. pp. 861. doi: 10.1038/s41467-020-14704-3
- 8 Sankapal B.R., Lokhande, C.D. Photoelectrochemical characterization of Bi₂Se₃ thin films deposited by SILAR technique. *Materials Chemistry and Physics*. 2002. vol. 73. no. 2–3. pp. 151–155. doi: 10.1016/s0254-0584(01)00362-5
- 9 Li W., Deng L., Wang X., Cao J. et al. Close-spaced thermally evaporated 3D Sb₂Se₃ film for high-rate and high-capacity lithium-ion storage. *Nanoscale*. 2021. vol. 13. no. 21. pp. 9834–9842. doi: 10.1039/d1nr01585k
- 10 Xue M.-Z., Fu Z.-W. Pulsed laser deposited Sb₂Se₃ anode for lithium-ion batteries. *J. Alloys Compd.* 2008. vol. 458. pp. 351–356. doi: 10.1016/j.jallcom.2007.03.109

- 11 Zhang H., Liu C.-X., Qi X.-L., Dai X. et al. Topological insulators in Bi₂ Se₃, Bi₂ Te₃ and Sb₂ Te₃ with a single Dirac cone on the surface. *Nature Physics*. 2009. vol. 5. pp. 438–442.
- 12 Mazumder K., Shirage P.M. A brief review of Bi₂ Se₃ based topological insulator: From fundamentals to applications. *Journal of Alloys and Compounds*. 2012. vol. 888. no. 25. pp. 161492. doi: 10.1016/j.jallcom.2021.161492
- 13 Anversa J., Chakraborty S., Piquini P., Ahuja R. High pressure driven superconducting critical temperature tuning in Sb₂ Se₃ topological insulator. *Appl. Phys. Lett.* 2016. vol. 108. pp. 212601. doi: 10.1063/1.4950716
- 14 Zhang K., Xu M., Li N., Xu M. et al. Superconducting Phase Induced by a Local Structure Transition in Amorphous Sb₂Se₃ under High Pressure. *Phys. Rev. Lett.* 2021. vol. 127. no. 12. pp. 127002. doi: 10.1103/PhysRevLett.127.127002
- 15 Ioffe A.F. *Semiconductor Thermoelements and Thermoelectric Cooling*. A.F. Ioffe. London, Infosearch Limited, 1957. 1923p.
- 16 Suh J., Yu K.M., Fu D., Liu X. et al. Simultaneous enhancement of electrical conductivity and thermopower of Bi₂ Te₃ by multifunctionality of native defects. *Adv. Mater.* 2015. vol. 27. no. 24. pp. 3681–3686. doi: 10.1002/adma.201501350
- 17 Shchurova M.A., Andreev O.V., Kuznetsova A.V. Electrophysical properties of the Bi₂-X Se₃-X-X SMSE alloys as thermoelectric converter of n-type. *Tyumen state university herald*. 2013. vol. 5. pp. 82–87.
- 18 Yaprıntsev M., Vasiliev A., Ivanov O. Sintering temperature effect on thermoelectric properties and microstructure of the grained Bi_{1.9}Gd_{0.1}Te₃ compound. *J. Eur. Ceram. Soc.* 2019. vol. 39. no. 4. pp. 1193–1205. doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2018.12.041
- 19 Ivanov O., Yaprıntsev M., Lyubushkin R., Soklakova O. Enhancement of thermoelectric efficiency in Bi₂ Te₃ via rare earth element doping. *Scr. Mater.* 2018. vol. 146. pp. 91–94. doi: 10.1016/j.scriptamat.2017.11.031
- 20 Yaprıntsev M., Lyubushkin R., Soklakova O., Ivanov O. Effects of Lu and Tm doping on thermoelectric properties of Bi₂ Te₃. *J. Electron. Mater.* 2018. vol. 47. no. 2. pp. 1362–1370. doi: 10.1007/s11664-017-5940-8
- 21 Ivanov O., Yaprıntsev M. Mechanisms of thermoelectric efficiency enhancement in Lu-doped Bi₂ Te₃. *Mater. Res. Express*. 2018. vol. 5. no. 1. pp. 1–10. doi: 10.1088/2053-1591/aa265
- 22 Yaprıntsev M.N., Lyubushkin R.A., Soklakova O.N. Synthesis and electrical properties of Bi₂Te₃-based thermoelectric materials doped with Er, Tm, Yb, and Lu. *Semiconductors*. 2017. vol. 51. no. 6. pp. 710–713. doi: 10.1134/S106378261706029X
- 23 Yang J.J., Wu F.F., Zhu Z.Z., Yao L.L. et al. Thermoelectrical properties of lutetium-doped Bi₂ Te₃ bulk samples prepared from flower-like nanopowders. *J. Alloys Compd.* 2015. vol. 619. pp. 401–405. doi: 10.1016/J.JALLCOM.2014.09.024
- 24 Singh N., Schwingenschlogl U. LaBiTe₃: An unusual thermoelectric material. *Phys. Status RRI*. 2014. vol. 8. no. 9. pp. 805–808. doi: 10.1002/pssr.201409110
- 25 Lin. J., Vanderbilt D. Weyl semimetals from noneentrosymmetric topological insulators. *Physical Review B*. 2014. vol. 90. no. 15. pp. 155–316. doi: 10.1103/PhysRevB.90.155316
- 26 Li Zh., Si Ch., Zhou J., Xu H. et al. Yttrium-Doped Sb₂ Te₃: A Promising Material for Phase-Change Memory. *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2016. vol. 8. no. 39. pp. 26126–26134. doi: 10.1021/acsami.6b08700
- 27 Yaprıntseva M., Vasil'eva A., Ivanova O. Thermoelectric properties of the textured Bi_{1.9}Gd_{0.1}Te₃ compounds sparkplasma-sintered at various temperature. *Journal of the European Ceramic Society*. 2020. vol. 40. no. 3. pp. 742–775. doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2019.11.028
- 28 Yarembash E.I., Eliseev A.A. *Chalcogenides of rare earth elements*. M, Nauka, 1975, 260 p.
- 29 Ghosh G. The Sb-Te (Antony-Tellurium) system. *Journal of Phaze Equilibria*. 1994. vol. 15. pp. 349–360.
- 30 Eckerbin V.P., Stegher A. On the phases in the Sb-Te system. *Acta Crystallo-graphica*. 1966. vol. 2. pp. 78.
- 31 Brown A., Liewis B. The systems bismuth-tellurium and antimony – tellurium and synthesis of the antimony – tellurium and the synthesis of the minerals hedleyite and wehrlite. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 1962. vol. 23. pp. 1597–1604.
- 32 Sadigov F.M., Alizade N.M., Ismailov Z.I. Nature of chemical interaction in the ternal system Er-Bi (Sb) – Se. *Eurasian Union of Scientists*. 2021. vol. 1. pp. 82.
- 33 Sadigov F.M., Mammadova S.H., Ismayilov Z.I. State diagram of Er-Sb system. *Ganja*. 2022. pp. 85–87.
- 34 Lyakisheva N.P. State diagrams of binary metal systems. *Handbook M., Mechanical Engineering*, 1997. 1023 p. (in Russian).

Сведения об авторах

Saba H. Mammadova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, general and inorganic chemistry department, Baku State University, Azerbaijan, 23 Zahid Khalilov street, Baku Az1148, Azerbaijan, saba.mammadova36@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6545-2070>

Fuad M. Sadigov Dr. Sci. (Chem.), professor, general and inorganic chemistry department, Baku State University, Azerbaijan, 23 Zahid Khalilov street, Baku Az1148, Azerbaijan, fuad.sadiqov.55@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0006-0571-6800>

Zakir I. Ismailov Cand. Sci. (Chem.), associate professor, general and inorganic chemistry department, Baku State University, Azerbaijan, Azerbaijan, 23 Zahid Khalilov street, B, zakir-51@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3499-953X>

Kseniya B. Kim Cand. Sci. (Chem.), associate professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh,

Information about authors

Саба Г. Мамадова к.х.н., доцент, кафедра общей и неорганической химии, Бакинский государственный университет, ул. Захида Халилова 23, Баку, Az1148, Азербайджан, saba.mammadova36@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6545-2070>

Фуад М. Садыгов доктор химических наук, профессор, кафедра общей и неорганической химии, Бакинский государственный университет, ул. Захида Халилова 23, Баку, Az1148, Азербайджан, fuad.sadiqov.55@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0006-0571-6800>

Закир И. Исмаилов к.х.н., доцент, кафедра общей и неорганической химии, Бакинский государственный университет, ул. Захида Халилова 23, Баку, Az1148, Азербайджан, zakir-51@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3499-953X>

Ксения Б. Ким к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный

Russian Federation, avenue Revolution, 19, Voronezh, 394036, Russia, kmkseniya@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5564-8267>

Sabukhi I. Niftaliyev Dr. Sci. (Chem.), professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, avenue Revolution, 19, Voronezh, 394036, Russia, sabukhi@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-7887-3061>

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.

университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, Воронеж, Россия, kmkseniya@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5564-8267>

Сабухи И. Нифталиев д.х.н., профессор, заведующий кафедрой неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, Воронеж, Россия, sabukhi@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-7887-3061>

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 04/07/2024	После редакции 22/07/2024	Принята в печать 12/08/2024
Received 04/07/2024	Accepted in revised 22/07/2024	Accepted 12/08/2024

Выделение кислоты из отработанного травильного раствора методом диффузионного диализа с анионообменной мембраной

Ольга А. Козадерова¹ kozaderova-olga@mail.ru  0000-0002-8135-5801
Виктория Ю. Чернова¹ vikyart33@gmail.com  0009-0004-7781-1546

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

Аннотация. При травлении стали образуются отходы - отработанные травильные растворы, содержащие свободные кислоты и соли металлов. Такие растворы необходимо перерабатывать или утилизировать. В статье показана возможность применения диализа для выделения соляной кислоты из такого раствора. Преимуществом этого мембранного метода являются компактность оборудования, возможность частичной регенерации компонентов сточной воды и организация замкнутого цикла потребления химических веществ на производстве, возможность комбинации с другими мембранными методами. Исследован процесс диффузионного диализа модельного раствора, содержащего соляную кислоту (1,5 моль/дм³) и хлорид железа (III) (0,25 моль/дм³). Эксперимент проведен в двухкамерном противоточном диализаторе с анионообменной мембраной МА-41 в режиме рецикла. Эффективность разделения компонентов раствора охарактеризована такими параметрами процесса, как потоки кислоты через мембрану, коэффициент разделения, коэффициент задержания соли. Процесс проведен в двух вариантах: при соотношениях объемов отдающего (питающего) и принимающего растворов равного 1:1 (первый вариант) и 2:1 (второй вариант). При диализе изучаемого модельного раствора получены следующие значения коэффициентов разделения соляная кислота/соль железа (III) для первого и второго вариантов соответственно: 27,2 и 19,2. Соотношение объемов отдающего и принимающего растворов, равное 2:1, позволяет получить раствор соляной кислоты заданной концентрации за меньшее время, чем при соотношении объемов отдающего и принимающего растворов, равном 1:1. Преимуществом первого варианта проведения эксперимента является возможность получения более чистого целевого продукта - раствора соляной кислоты (с меньшим содержанием соли железа (III)).

Ключевые слова: соляная кислота, хлорид железа (III), травильный раствор, диффузионный диализ, очистка.

Recovery of acid from spent pickling solution by diffusion dialysis with anion exchange membrane

Olga A. Kozaderova¹ kozaderova-olga@mail.ru  0000-0002-8135-5801
Victoria Yu. Chernova¹ vikyart33@gmail.com  0009-0004-7781-1546

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

Abstract. When etching steel, waste products such as spent etching solutions containing free acids and metal salts are formed, and such solutions must be recycled or disposed of. The article shows the possibility of using dialysis to isolate hydrochloric acid from these solutions. The advantage of this membrane method is the compactness of the equipment, the possibility of partial regeneration of wastewater components and the organization of a closed cycle of chemical consumption in production, as well as the possibility of combination with other membrane methods. The process of diffusion dialysis of a model solution containing hydrochloric acid (1.5 mol/dm³) and iron (III) chloride (0.25 mol/dm³) has been studied. The experiment was carried out in a two-chamber countercurrent dialyzer with an anion exchange membrane MA-41 in the recycle mode. The efficiency of separation of the solution components is characterized by such process parameters as acid fluxes through the membrane, separation coefficient, and salt rejection coefficient. The process was carried out in two versions: with the volume ratios of the giving (feeding) and receiving solutions equal to 1:1 (first variant) and 2:1 (second variant). During dialysis of the studied model solution, the following values of the hydrochloric acid/iron (III) salt separation coefficients were obtained for the first and second variants, respectively: 27.2 and 19.2. The volume ratio of the giving and receiving solutions, equal to 2:1, allows us to obtain a hydrochloric acid solution of a given concentration in less time than with a volume ratio of giving and receiving solutions equal to 1:1. The advantage of the first variant of the experiment is the possibility of obtaining a cleaner target product, namely a solution of hydrochloric acid (with a lower content of iron (III) salt).

Keywords: hydrochloric acid, iron (III) chloride, spent pickling solution, diffusion dialysis, purification.

Введение

Травление стали в растворах кислоты относится к химическим способам очистки металлов. Такие способы применяются при серийном и массовом производстве изделий из нержавеющей стали с целью восстановления утраченных под воздействием температуры антикоррозионных свойств. Кроме химической очистки применяются электрохимическое травление, механическая и лазерная обработка [1].

Травление стали проводят обычно в растворах соляной и серной кислот. Преимуществом соляной кислоты по сравнению с серной является высокая скорость травления, небольшая относительно массы удаляемой окалины масса шлама, низкая плотность этого шлама, что облегчает его последующее удаление с поверхности изделия [2].

Для цитирования

Козадерова О. А., Чернова В. Ю. Выделение кислоты из отработанного травильного раствора методом диффузионного диализа с анионообменной мембраной // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 217–222. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-217-222

For citation

Kozaderova O.A., Chernova V.Yu. Recovery of acid from spent pickling solution by diffusion dialysis with anion exchange membrane. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 217–222. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-217-222

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

Кроме растворов соляной и серной кислот применяют травильные растворы других составов: раствор хлорида железа, плавиковая кислота – азотная кислота, бихромат калия – серная кислота, соляная кислота – уротропин, сульфат меди – серная кислота – желатин [3].

При травлении стали образуются отходы – отработанные травильные растворы, содержащие свободные кислоты и соли металлов. Тип и концентрация кислот и солей в таких отходах определяются применяемым травильным раствором, который выбирается в зависимости от вида обрабатываемой стали. Объем кислых сточных вод от промывки бунтов до и после операции травления в кислотном растворе, составляет более 3,5 м³ на одну тонну протравленного кислото-горячекатаного проката или проволоки [4].

Отработанный травильный раствор необходимо перерабатывать или утилизировать. Среди методов переработки травильных растворов выделяют ионообменную очистку, нейтрализацию, микробиологическую очистку, выпаривание, кристаллизацию, пирометаллургию, экстракцию и процессы мембранного разделения (диффузионный диализ, электродиализ, мембранную дистилляцию) [5–11].

Процесс ионообменной переработки отработанного травильного раствора состоит из двух этапов. Сначала через слой анионита пропускают отработанный травильный раствор (стадия удерживания кислоты), затем – разбавленный водный раствор кислоты (стадия вытеснения кислоты) [6]. Удерживание кислоты на анионите осуществляется за счет исключения сильно гидратированных ионных пар соли, которые в меньшей степени, чем молекулы или ионные пары кислоты, проникают в наноразмерные «поры» гелевого анионита. В работе [6] такой вариант разделения кислоты и соли на сильноосновном анионите АВ-17х8 в сульфатной форме продемонстрирован для реального отработанного травильного раствора промышленного предприятия черной металлургии (состав – более 200 г/дм³ сульфата железа и более 65 г/дм³ серной кислоты).

Пример комбинации метода нейтрализации и мембранного электролиза для конверсии отработанного кислого травильного раствора, образующегося в процессе травления изделий из титана соляной кислотой, описан в работе [7]. Процесс включает в себя нейтрализацию этого раствора щелочью, фильтрацию и сушку осадка гидроксида титана, а также электрохимическую переработку фильтрата, содержащего хлорид натрия, в электролизёре с ионообменными мембранами.

В последние годы проявляется интерес к микробиологической переработке сточных вод, содержащих тяжелые металлы. Обзор материала по этой теме можно найти в работе [8].

При диффузионном диализе с анионообменной мембраной ионы кислого отработанного раствора (питающего раствора) мигрируют через мембрану в приемную камеру, через которую прокачивается дистиллированная вода, под действием градиента концентрации. Фиксированные группы анионообменной мембраны заряжены положительно, в связи с этим анионы могут беспрепятственно мигрировать через мембрану, в то время как большинство катионов (коинов) отторгаются мембраной в силу Доннановского исключения. Однако, при диффузионном диализе миграция катионов через анионообменную мембрану из исходного раствора в принимающий необходима для поддержания электронейтральности растворов. Перенос катионов через анионообменную мембрану происходит в результате их увлечения анионами. Водородные ионы мигрируют через анионообменную мембрану легче, чем другие катионы, из-за небольшого размера, низкого заряда, высокой подвижности, особого механизма переноса в водных растворах. В результате при диффузионном диализе смешанного раствора «соль-кислота» можно получить пермеат, обогащенный кислотой, и ретентат, обогащенный солью.

Варианты применения диффузионного диализа можно найти как для разделения органических кислот/минеральных солей, так и для разделения неорганических кислот/минеральных солей [9–13]. В работе [11] рассмотрена возможность использования различных типов ионообменных мембран в диффузионном диализе для разделения серной кислоты и сульфата никеля. Изучен процесс диализного разделения реального раствора отходов гальванического производства следующего состава: 252,3 г/л серной кислоты, 20,9 г/л ионов никеля, небольшие количества ионов цинка, железа, меди.

Цель работы – оценка возможности выделения кислоты из раствора, содержащего соляную кислоту и соль – хлорид железа (III), методом диффузионного диализа с анионообменной мембраной МА-41 и получение основных характеристик этого процесса.

Материалы и методы

Объект исследования – раствор, моделирующий отработанный травильный раствор, следующего состава: соляная кислота 1,5 моль/дм³, хлорид железа (III) 0,25 моль/дм³. Железо способно к образованию хлоридных комплексов.

В изучаемом растворе большая доля Fe^{3+} (около 75%) представлена в виде $[\text{FeCl}_2]^+$. Изучение диффузионного переноса соляной кислоты и соли железа (III) через анионообменную мембрану проводили с применением двухкамерного проточного диализатора (рисунок 1). Исследуемый раствор (питающий раствор, рисунок 1) подавали с помощью перистальтического насоса в режиме рецикла в одну из камер снизу вверх.

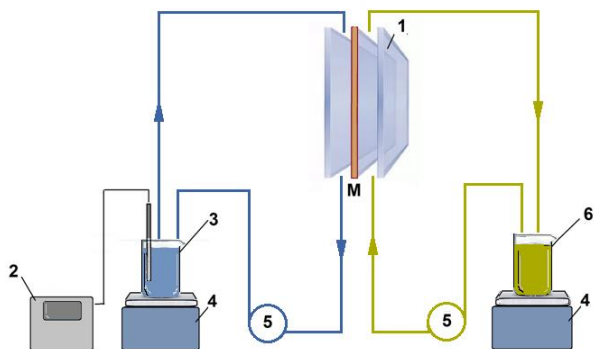


Рисунок 1. Схема установки для реализации периодического диализа: 1 – двухкамерная ячейка с анионообменной мембраной M; 2 – pH-метр; 3 – емкость с приемным раствором; 4 – магнитная мешалка; 5 – перистальтический насос; 6 – емкость с питающим раствором

Figure 1. Installation scheme for the implementation of periodic dialysis: 1 – two-chamber cell with an anion exchange membrane M; 2 – pH meter; 3 – container with a receiving solution; 4 – magnetic stirrer; 5 – peristaltic pump; 6 – container with a feeding solution

Через смежную камеру (приемную) в режиме рецикла подавали противотоком (сверху вниз) дистиллированную воду. Скорость потоков через камеры $20 \text{ см}^3/\text{мин}$. Толщина камер 1 см. Рабочая площадь мембраны в ячейке 67 см^2 . С течением времени эксперимента в приемной камере происходило увеличение концентрации диффундирующих веществ. Рассматривали два варианта соотношения объемов отдающего (питающего) и принимающего растворов – 1:1 и 2:1. В первом случае максимально возможная концентрация соляной кислоты, которую теоретически можно получить в приемной камере, составляет $0,75 \text{ моль}/\text{дм}^3$. Это соответствует степени извлечения кислоты 50%. Для второго варианта возможно получение кислоты более высокой концентрации. Однако в настоящей работе мы ограничились получением пермеата с одинаковой концентрацией по соляной кислоте для первого и второго вариантов.

Расчет критериев эффективности процесса – отношения концентраций $\text{Fe}^{3+}/\text{H}^+$ в пермеате ($r_{\text{Fe}^{3+}/\text{H}^+}$), потоков кислоты (J_i , $\text{моль} \cdot \text{см}^2/\text{с}$), коэффициента задержания соли (R), а также коэффициента разделения (S) – проводили по формулам:

$$r_{\text{Fe}^{3+}/\text{H}^+} = \frac{C_d^t(\text{Fe}^{3+})}{C_d^t(\text{H}^+)}; \quad (1)$$

$$J_i = \frac{1}{A} \cdot \frac{dn_i}{dt}; \quad (2)$$

$$S = \frac{C_d^t(\text{H}^+)/C_d^t(\text{Fe}^{3+})}{C_f^0(\text{H}^+)/C_f^0(\text{Fe}^{3+})} \quad (3)$$

$$R = 1 - \frac{C_d^t(\text{Fe}^{3+})}{C_f^0(\text{Fe}^{3+})} \quad (4)$$

где A – площадь мембраны, см^2 ; n_i – число молей i-го компонента перешедшего в приемный раствор (моль) за время t (с); C_f^0 – концентрации компонентов в отдающем растворе в начале эксперимента, $\text{моль} \cdot \text{дм}^{-3}$; C_d^t – концентрация компонентов в пермеате в момент времени t, $\text{моль} \cdot \text{дм}^{-3}$.

Камеры диализатора разделяла мембрана МА-41 [14]. Это гетерогенная сильноосновная анионообменная мембрана, представляющая собой композицию из полиэтилена и сополимера стирола и дивинилбензола с четвертичными аммониевыми группами. Толщина мембраны 0,046 см. Перед проведением экспериментов мембрану кондиционировали в соответствии с методикой [15], затем переводили в хлоридную ионную форму. После этого мембрану выдерживали в рабочем растворе не менее суток, после чего отмывали водой до отсутствия в промывных водах кислоты и железа.

Контроль изменения концентрации кислоты в пермеате осуществляли в течение эксперимента (метод прямой потенциометрии, измерение pH раствора), в пермеате и ретентате по окончании эксперимента (кислотно-основное титрование). Содержание железа (III) в пермеате и ретентате находили по окончании эксперимента (комплексометрическое титрование: раствор Трилона Б в присутствии сульфосалициловой кислоты).

Результаты и обсуждение

На рисунке 2 приведены кинетические кривые изменения концентрации соляной кислоты в принимающем растворе.

И для первого, и для второго вариантов эксперимента сначала наблюдается линейная зависимость концентрации от времени, затем прирост концентрации кислоты замедляется.

Рисунок 3 показывает изменение потоков кислоты через мембрану. При достижении времени эксперимента 3,5–4 ч наблюдается снижение потоков. Это время соответствует началу отклонения от линейной зависимости функции концентрации от времени (рисунок 1). Данный эффект связан с заметным уменьшением движущей силы процесса (градиента концентраций), что наиболее сильно проявляется для первого варианта эксперимента (для соотношения объемов отдающий/принимающий раствор равного 1:1).

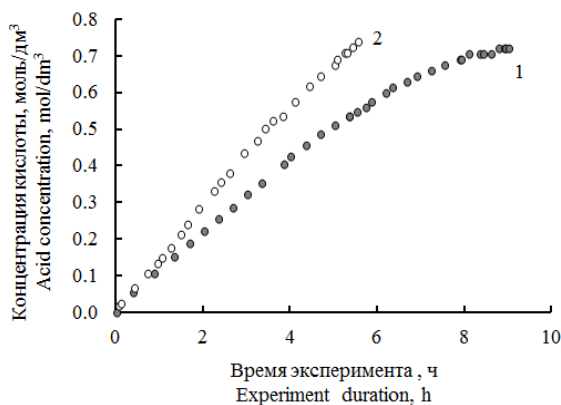


Рисунок 2. Изменение концентрации соляной кислоты в камере пермеата для соотношения объемов отдающего и принимающего растворов 1:1 (кривая 1) и 2:1 (кривая 2)
Figure 2. The change in the concentration of hydrochloric acid in the permeate chamber for different volume ratios of the giving and receiving solutions: 1:1 (curve 1) and 2:1 (curve 2)

Состав растворов до и после эксперимента приведен на рисунке 4. На основе их анализа найдены коэффициенты разделения кислота/соль и коэффициент задержания соли (таблица 1). Раствор кислоты, полученный при отношении объемов отдающего и принимающего растворов равного 1:1, содержит меньшее количество соли железа (III). Однако прирост концентрации кислоты в этом случае идет с меньшей скоростью (рисунок 1).

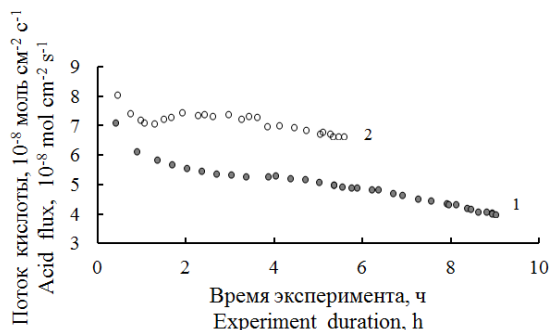


Рисунок 3. Потоки кислоты через мембрану для соотношения объемов отдающего и принимающего растворов 1:1 (кривая 1) и 2:1 (кривая 2)
Figure 3. Acid fluxes through the membrane for different ratios of volumes of giving and receiving solutions: 1:1 (curve 1) and 2:1 (curve 2)

При соотношении объемов отдающего и принимающего растворов 2:1 можно получить раствор соляной кислоты заданной концентрации за время в 1,5 раз меньшее, чем при одинаковых объемах отдающего и принимающего растворов, но содержание соли железа (III) в этом растворе будет в 1,4 раза больше.

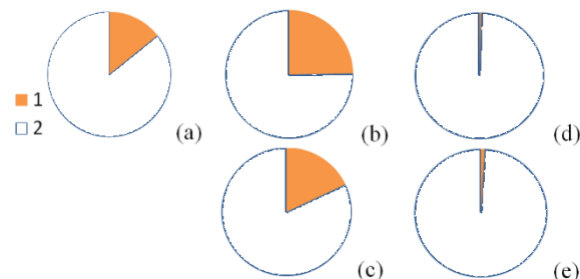


Рисунок 4. Мольное соотношение Fe^{3+} (1) и HCl (2) в исходном растворе (a), ретентате (b, c) и пермеате (d, e) при отношениях объемов отдающего и принимающего растворов 1:1 (b, d) и 2:1 (c, e) соответственно

Figure 4. Molar ratio of Fe^{3+} (1) and HCl (2) in the initial solution (a), retentate (b, c) and permeate (d, e) with volume ratios of giving and receiving solutions of 1:1 (b, d) and 2:1 (c, e), respectively

Сравнение полученных характеристик разделения кислоты и соли с характеристиками диализа, найденными для аналогичных систем [9, 16-19] показывает необходимость разработки усовершенствованных анионообменных мембран с более высокими коэффициентами разделения соляная кислота / хлорид железа (III). Это может быть достигнуто как путем изменения структурных свойств мембран, например, модифицированием объема или поверхности образцов, так и созданием более тонких ионообменных мембран, имеющих повышенную диффузионную проницаемость по кислоте. В свое время предприятие «Щекиноазот» выпускало опытную партию тонких гетерогенных ионообменных мембран, в том числе и МА-41 [20]. Привлекательным направлением применения этих мембран может быть именно вариант диализа, рассмотренный в настоящей статье.

Таблица 1.

Характеристики диализного разделения раствора, содержащего соляную кислоту (1,5 моль/дм³), хлорид железа (III) (0,25 моль/дм³) с анионообменной мембраной МА-41

Table 1.

Characteristics of dialysis separation of a solution containing hydrochloric acid (1.5 mol/dm³), iron (III) chloride (0.25 mol/dm³) with an anion exchange membrane MA-41

Показатели Parameters	Отношение объемов отдающий раствор: принимающий раствор Volume ratio giving solution: receiving solution	
	1:1	2:1
Отношение концентраций $\text{Fe}^{3+}/\text{H}^+$ в пермеате ($r_{\text{Fe}^{3+}/\text{H}^+}$) Ratio of $\text{Fe}^{3+}/\text{H}^+$ concentrations in permeate ($r_{\text{Fe}^{3+}/\text{H}^+}$)	0,0061	0,0087
Коэффициент задержания соли, R, % Salt rejection coefficient, R, %	98,2	97,4
Коэффициент разделения, S Separation coefficient, S	27,2	19,2

Заключение

Реализован диффузионный диализ модельного раствора, содержащего соляную кислоту (1,5 моль/дм³) и хлорид железа (III) (0,25 моль/дм³): режим рецикла, анионообменная мембрана МА-41. Проведена оценка характеристик диализа, позволяющих судить об эффективности процесса выделения кислоты из смешанного раствора (диффузионные потоки кислоты через мембрану, коэффициент задержания соли, коэффициент разделения кислота / соль, содержание соли в пермеате) и их зависимость от соотношения объемов отдающего и принимающего растворов (2:1 или 1:1 соответственно).

Применение отдающего раствора в объеме в два раза большим по сравнению с объемом принимающего раствора позволяет получить заданную концентрацию кислоты в приемной камере за меньшее время. Это связано с тем, что движущая сила процесса диализа (градиент концентраций) в данном случае падает гораздо медленнее. Однако содержание соли железа (III) в пермеате для такого варианта проведения процесса оказывается более высоким.

Дальнейшим развитием настоящего исследования может быть работа с более тонкими модифицированными образцами отечественных ионообменных мембран, которые позволят получить повышенные коэффициенты разделения минеральная кислота/соль.

Литература

- 1 Лаврентьев А.Ю., Какорин Д.Д., Дожделев А.М. Выбор способа очистки поверхности наплавленного металла в процессе аддитивного производства металлических изделий // Современные материалы, техника и технологии. 2023. № 3. С. 35–39.
- 2 Михайловский И.А., Мумбаева А.А. Выбор способа удаления окалина с поверхности катанки при производстве углеродистой проволоки // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2017. Т. 2. С. 42–44.
- 3 Астраумова В.Г., Пятанова П.А., Ложникова Т.В. Исследование скорости коррозии при химическом травлении стальных корпусов высокочастотных резонаторов // Техника радиосвязи 2023. № 1. С. 98–102.
- 4 Филиппов А.А., Пачурин Г.В., Ребрушкин М.Н., Конюхова Н.С. Снижение комплексного воздействия опасных и вредных факторов в условиях производства стальной проволоки // XXI век. Техносферная безопасность. 2020. № 5(2) С. 222–232. doi:10.21285/2500–1582–2020–2–222–232
- 5 Zhang C., Zhang W., Wang Y. Diffusion dialysis for acid recovery from acidic waste solutions: Anion exchange membranes and technology integration // Membranes. 2020. V. 10. №. 8. P. 169. doi:10.3390/membranes10080169
- 6 Крачак А.Н., Груздева А.Н., Хамизов Р.Х., Долгонос А.А. Переработка отработанного сульфатного травильного раствора методом удерживания кислоты на сильноосновном анионите // Сорбционные и хроматографические процессы. 2022. Т. 22. № 5. С. 684–693. doi: 10.17308/sorpchrom.2022.22/10721
- 7 Быковский Н.А., Кантор Е.А., Малкова М.А., Пучкова Л.Н., Фанакова Н.Н. Сточные воды производства изделий из титана – сырье для получения Ti(OH)₄, NaOH и HCl // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 2. С. 8–11. doi:10.18412/1816–0395–2021–2–8–11
- 8 Шипэй В., Лю Т., Сяо С., Ло Ш. Достижения в области бактериальной ремедиации для очистки от тяжелых металлов: мини-обзор // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2022. № 11. С. 100–122.
- 9 Jiuyang L., Junming H., Jing W., Junwei Y. et al. High-performance porous anion exchange membranes for efficient acid recovery from acidic wastewater by diffusion dialysis // Journal of Membrane Science. 2021. V. 624. P. 119116. doi: 10.1016/j.memsci.2021.119116
- 10 Ruiz-Aguirre A., Lopez J., Gueccia R., Randazzo S. et al. Diffusion dialysis for the treatment of H₂ SO₄-CuSO₄ solutions from electroplating plants: Ions membrane transport characterization and modeling // Separation and Purification Technology. 2021. V. 266. P. 118215. doi: 10.1016/j.seppur.2020.118215
- 11 Loza S., Loza N., Kovalchuk N., Romanyuk N. et al. Comparative study of different ion-exchange membrane types in diffusion dialysis for the separation of sulfuric acid and nickel sulfate // Membranes. 2023. V. 13. №. 4. P. 396. doi: 10.3390/membranes13040396
- 12 Козадедова О.А., Калинина С.А., Моргачева Е.А., Нифталиев С.И. Сорбционные характеристики и диффузионная проницаемость анионообменной мембраны МА-41 в растворах молочной кислоты // Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т. 21. № 3. С. 317–325. doi: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3465
- 13 Vasil'eva V., Goleva E., Pismenskaya N., Kozmai A. et al. Effect of surface profiling of a cation-exchange membrane on the phenylalanine and NaCl separation performances in diffusion dialysis // Separation and Purification Technology. 2019. V. 210. P. 48–59. doi: 10.1016/j.seppur.2018.07.065
- 14 ООО ИП «ИШекиноазот». URL: <http://azotom.ru/monopolyarnye-membrany/>
- 15 Кононенко Н.А., Демина О.А., Лоза Н.А., Фалина И.В. и др. Мембранная электрохимия. Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2017. 290 с.
- 16 Culcasi A., Gueccia R., Randazzo S., Cipollina A. et al. Design of a novel membrane-integrated waste acid recovery process from pickling solution // Journal of Cleaner Production. 2019. V. 236. P. 117623. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117623
- 17 Pal S., Mondal R., Guha S., Chatterjee U., Jewrajka S.K. Crosslinked terpolymer anion exchange membranes for selective ion separation and acid recovery // Journal of Membrane Science. 2020. V. 612. P. 118459. doi: 10.1016/j.memsci.2020.118459
- 18 Gueccia R., Randazzo S., Chillura Martino D., Cipollina A., Micale G. Experimental investigation and modeling of diffusion dialysis for HCl recovery from waste pickling solution // Journal of Environmental Management. 2019. V. 235. P. 202–212. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.01.028
- 19 Irfan M., Bakangura E., Afsar N. Ul, Xu T. Augmenting acid recovery from different systems by novel Q-DAN anion exchange membranes via diffusion dialysis // Separation and Purification Technology. 2018. V. 201. P. 336–345. doi: 10.1016/j.seppur.2018.02.042
- 20 Гаршина Т.И., Козадедова О.А., Шапошник В.А. физико-химические характеристики тонких ионообменных мембран // Сорбционные и хроматографические процессы. 2007. Т. 7. № 1. С. 148–151.

References

- 1 Lavrentiev A. Yu., Kakorin D.D., Dozhdelev A.M. The choice of a method for cleaning the surface of the deposited metal in the process of additive manufacturing of metal products. Modern materials, equipment and technologies. 2023. no. 3 (48). pp. 35–39. (in Russian).
- 2 Mikhailovsky I.A., Mumbaeva A.A. Choosing a method for removing scale from the surface of wire rod in the production of carbon wire. Current problems of modern science, technology and education. 2017. vol. pp. 42–44. (in Russian).
- 3 Astramova V.G., Pyatanova P.A., Lozhnikova T.V. Investigation of the corrosion rate during chemical etching of steel cases of high-frequency resonators. Radio communication technology. 2023. no. 1 (56). pp. 98–102. (in Russian).
- 4 Filippov A.A., Pachurin G.V., Rebrushkin M.N., Konyukhova N.S. Reduction of complex effects of hazardous and harmful factors in manufacturing wire. XXI century. Technosphere Safety. 2020. no. 5(2). pp. 222–232. (in Russian). doi: 10.21285/2500–1582–2020–2–222–232
- 5 Zhang C., Zhang W., Wang Y. Diffusion dialysis for acid recovery from acidic waste solutions: Anion exchange membranes and technology integration. Membranes. 2020. V. 10. №. 8. P. 169. doi:10.3390/membranes10080169
- 6 Krachak A.N., Gruzdeva A.N., Khamizov R. Kh., Dolgonosov A.A. Processing waste sulphate pickle liquor by acid retardation on a strong basic anion exchanger. Sorption and chromatography processes. 2022. vol. 22. no 5. pp. 684–693. doi: 10.17308/sorpchrom.2022.22/10721. (in Russian).
- 7 Bykovsky N.A., Kantor E.A., Malkova M.A., Puchkova L.N. et al. Waste Water from the Production of Titanium Products as a Raw Material for the Ti(OH)₄, NaOH and HCl Production. Ecology and Industry of Russia. 2021. vol. 25. no. 2. pp. 8–11. doi: 10.18412/1816–0395–2021–2–8–11
- 8 Wang Sh., Liu T., Xiao X., Luo Sh. Advances in microbial remediation for heavy metal treatment: a mini review. Journal of Leather Science and Engineering. 2021. vol. 3. no. 1. doi:10.1186/s42825–020–00042-z
- 9 Jiuyang L., Junming H., Jing W., Junwei Y. et al. High-performance porous anion exchange membranes for efficient acid recovery from acidic wastewater by diffusion dialysis. Journal of Membrane Science. 2021. vol. 624. pp. 119116. doi: 10.1016/j.memsci.2021.119116
- 10 Ruiz-Aguirre A., Lopez J., Gueccia R., Randazzo S. et al. Diffusion dialysis for the treatment of H₂ SO₄-CuSO₄ solutions from electroplating plants: Ions membrane transport characterization and modeling. Separation and Purification Technology. 2021. vol. 266. pp. 118215. doi: 10.1016/j.seppur.2020.118215
- 11 Loza S., Loza N., Kovalchuk N., Romanyuk N. et al. Comparative study of different ion-exchange membrane types in diffusion dialysis for the separation of sulfuric acid and nickel sulfate. Membranes. 2023. vol. 13. no. 4. pp. 396. doi: 10.3390/membranes13040396
- 12 Kozaderova O.A., Kalinina S.A., Morgacheva E.A., Niftaliyev S.I. sorption characteristics and diffusion permeability of the MA-41 anion-exchange membrane in lactic acid solutions. Sorption and chromatography processes. vol. 21. no. 3. pp. 317–325. doi: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3465 (in Russian).
- 13 Vasil'eva V., Goleva E., Pismenskaya N., Kozmai A. et al. Effect of surface profiling of a cation-exchange membrane on the phenylalanine and NaCl separation performances in diffusion dialysis. Separation and Purification Technology. 2019. vol. 210. pp. 48–59. doi: 10.1016/j.seppur.2018.07.065
- 14 OOO IP Shhekinoazot. Available at: <http://azotom.ru/monopolyarnye-membrany/> (in Russian).
- 15 Kononenko N.A., Demina O.A., Loza N.A., Falina I.V. et al. Membrane electrochemistry. Krasnodar, Kuban State University, 2017. 290 p. (in Russian).
- 16 Culcasi A., Gueccia R., Randazzo S., Cipollina A. et al. Design of a novel membrane-integrated waste acid recovery process from pickling solution. Journal of Cleaner Production. 2019. vol. 236. pp. 117623. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117623
- 17 Pal S., Mondal R., Guha S., Chatterjee U., Jewrajka S.K. Crosslinked terpolymer anion exchange membranes for selective ion separation and acid recovery. Journal of Membrane Science. 2020. vol. 612. pp. 118459. doi: 10.1016/j.memsci.2020.118459
- 18 Gueccia R., Randazzo S., Chillura Martino D., Cipollina A., Micale G. Experimental investigation and modeling of diffusion dialysis for HCl recovery from waste pickling solution. Journal of Environmental Management. 2019. vol. 235. pp. 202–212. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.01.028
- 19 Irfan M., Bakangura E., Afsar N. Ul, Xu T. Augmenting acid recovery from different systems by novel Q-DAN anion exchange membranes via diffusion dialysis. Separation and Purification Technology. 2018. vol. 201. pp. 336–345. doi: 10.1016/j.seppur.2018.02.042
- 20 Garshina T.I., Kozaderova O.A., Shaposhnik V.A. Physico-chemical characteristics of thin ion-exchange membranes. Sorption and chromatographic processes. 2007. vol. 7. no. 1. pp. 148–151.

Сведения об авторах

Ольга А. Козадерова д.х.н., профессор, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kozaderova-olga@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-8135-5801>

Виктория Ю. Чернова студент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vikiart33@gmail.com

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 A. Kozaderova Cand. Sci. (Chem.), professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kozaderova-olga@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-8135-5801>

Victoria Yu. Chernova student, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vikiart33@gmail.com

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/07/2024	После редакции 13/08/2024	Принята в печать 28/08/2024
Received 11/07/2024	Accepted in revised 13/08/2024	Accepted 28/08/2024

Подбор и модификация термопластичных полимерных пленок для ортодонтологии

Виктор А. Род	¹	vikdor.andreevich@mail.ru	 0009-0008-8333-4749
Александр Н. Утехин	¹	alutekhin@yandex.ru	 0009-0003-1681-8579
Александр П. Кондратов	¹	apkrezerw@mail.ru	 0000-0001-6118-0808

¹ Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, Москва, 107023, Россия

Аннотация. Установлена возможность применения термопластичных полимерных пленок полиэтилена низкой плотности и полиэтилентерефталата отечественных марок для производства элайнеров и мягких форм, предназначенных для полимеризации стоматологических композитов, используемых в ортодонтологии. Надмолекулярная структура и состав листов полиэтилентерефталата и полиэтилена низкой плотности отечественных марок, а также их механические свойства отличаются от структуры и свойств фирменных полимерных материалов Shueu-Dental. Различие состава и степени кристалличности листов установлено методом дифференциально-сканирующей калориметрии. Установлено, что основу мягких пленок для матриц составляет полиэтилен низкой плотности со степенью кристалличности $35 \pm 5\%$, а основу жестких пленок для изготовления элайнеров – аморфный сополимер этилентерефталата с температурой стеклования $76-81^\circ\text{C}$. Деформационные свойства импортного полиэтилена низкой плотности аналогичны свойствам отечественных полимеров различных марок. Деформационные свойства и кристалличность импортного полиэтилентерефталата существенно отличается от аналогичных по составу материалов отечественных марок. Для приведения к соответствию состава и кристалличности полимерных материалов фирмы Shueu-Dental и пленок отечественного производства производили модифицирующую термообработку отечественных материалов в муфельной печи. Путем подбора температуры и времени термообработки листов полиэтилентерефталата получен материал меньшей кристалличности без содержания «летучих» компонентов. Пригодность модифицированной пластины полиэтилентерефталата отечественного производства для изготовления элайнеров проверялась путем измерения её жесткости. Жесткость оценивали по величине модуля Юнга, измеренного путем растяжения образцов исходных и модифицированных материалов с постоянной скоростью растяжения. После модифицирующей термообработки исследовали степень локальной вытяжки и разнотолщинность готовых изделий (элайнеров) из полиэтилена низкой плотности и полиэтилентерефталата. Измерили толщину в характерных точках и установили количественную связь между толщиной изделий и степенью вытяжки полимеров, применяемых в ортодонтологии.

Ключевые слова: полиэтилентерефталат, полиэтилен, ортодонтология, элайнер, полимер, термоформование, пневмоформование, степень вытяжки.

Selection and modification of thermoplastic polymer films for orthodontology

Viktor A. Rod	¹	vikdor.andreevich@mail.ru	 0009-0008-8333-4749
Aleksandr N. Utekhin	¹	alutekhin@yandex.ru	 0009-0003-1681-8579
Aleksandr P. Kondratov	¹	apkrezerw@mail.ru	 0000-0001-6118-0808

¹ Moscow Polytechnic University, st. Bolesnaya Semenovskaja, 38, Moscow, 107023, Russia

Abstract. The possibility of using thermoplastic polymer films low density polyethylene and polyethylene terephthalate of domestic marks for the production of elixirs and soft molds intended for polymerization of dental composites used in orthodontics was established. The supramolecular structure and composition of the low-density polyethylene and polyethylene sheets of domestic brands, as well as their mechanical properties are different from the structure and properties of Shueu-Dental's signature polymer materials. The difference in composition and degree of crystallinity of the sheets is determined by differential scanning calorimetry. The base of soft films for matrices is low density polyethylene with a crystallinity of $35 \pm 5\%$, and the base of hard films for the manufacture of elixirs is an amorphous copolymer of ethylene terephthalate with a glassing temperature of $76-81^\circ\text{C}$. The deformation properties of imported low density polyethylene are similar to the properties of domestic polymers of various brands. The deformation properties and crystallinity of imported polyethylene terephthalate are significantly different from those of domestic brands, which are similar in composition for the conformity of the polymer materials of Shueu-companyDental and domestically produced films produced modified heat treatment of domestic materials in the muffler furnace. By selecting the temperature and time of heat treatment of polyethylene terephthalate sheets, a material with reduced crystallinity is obtained without the content of «volatile» components. The suitability of a modified plastic terephthalate plate of domestic production for the manufacture of the aligner was tested by measuring its rigidity. Hardness was estimated by the size of the module Jung measured by stretching samples of original and modified materials at constant stretching speed. After the modified heat treatment, the degree of local pull and diversity of finished products (liners) made of low-density polyethylene and polyethylene terephthalate were investigated. Measured thickness at characteristic points and established a quantitative relationship between the thickness of the products and the degree of extraction of polymers used in orthodontics.

Keywords: polyethylene terephthalate, polyethylene, orthodontology, aligner, polymer, thermoforming, pressure forming, stretching degree.

Введение

Совершенствование технологии переработки термопластичных полимеров в плёнки и листы осуществляется с использованием новых сведений об их физических свойствах,

получаемых в отечественных научных школах и экспериментальных исследованиях, проводимых учеными многих технологически развитых стран [1–4]. Новые сведения в области технологии синтеза и переработки полимеров позволяют непрерывно расширять области их применения.

Для цитирования

Род В.А., Утехин А.Н., Кондратов А.П. Подбор и модификация термопластичных полимерных пленок для ортодонтологии // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 223–230. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-223-230

For citation

Rod V.A., Utekhin A.N., Kondratov A.P. Selection and modification of thermoplastic polymer films for orthodontology. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 223–230. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-223-230

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

Фундаментальным свойством твердых аморфных и аморфно-кристаллических термопластов является их способность превращаться в эластичные легко растяжимые плёнки при изменении температуры и принимать сложную форму изделий [1]. Важнейшую роль в совершенствовании технологии переработки термопластичных полимеров играют высокоинформативные термомеханические испытания [2], а также исследования термопластов методами дифференциальной сканирующей калориметрии [3]. В последние годы существенно увеличилось производство и применение термоусадочных плёнок с «памятью формы» в различных сферах деятельности человека, включая упаковку товаров массового потребления, и производстве сложных силовых конструкций. Реализация силовых возможностей изделий из термоусадочных плёнок с «памятью формы» осуществляется путем их программированного нагревания, которое осуществляется конвективным способом теплообмена со средой или электромагнитными излучениями различных диапазонов длин волн [4], соответствующими их применению. Конкретному применению термопластов предшествуют термоциклические испытания термоусадочных полимерных изделий с памятью формы [5, 6].

В медицине полимеры с «памятью формы» применяются в качестве материалов для изготовления протезов различных видов [10], раскрывающихся оболочек лекарств, обеспечивающих «адресную» доставку физиологического активного вещества в поврежденное место желудочно-кишечного тракта [11–12], конструктивных элементов ортопедических эндо протезов [13], и ортодонтических имплантатов. В ортопедии такие материалы служат основой системы гибких бандажей [14], которые дополнительно обладают антибактериальной функцией, активизируемой при деформации.

Термоформование изделий сложной формы обусловлено двухосной вытяжкой. В таком варианте двусосного деформирования пластичного материала степень вытяжки (λ) принято выражать через относительное утонение листовой или пленочной заготовки [1]:

$$\lambda = \left(\sqrt{\delta_{\text{заг}} / \delta} \right) - 1 \quad (1)$$

где $\delta_{\text{заг}}$ и δ – толщина заготовки и стенки изделия. Кроме того, степень вытяжки можно оценивать по отношению толщины заготовки к толщине изделия на конкретном его участке: $a = \delta_{\text{заг}} / \delta$.

Наиболее пригодным и широко применяемым экспериментальным методом изучения вытяжки при формировании является нанесение на поверхность образца делительных сеток. Важным показателем качества является разнотолщинность изделий. Под разнотолщинностью технологи понимают либо отношение минимальной толщины изделия к его максимальной толщине $r' = \delta_{\text{min}} / \delta_{\text{max}}$ (так называемый индекс разнотолщинности), либо отношение минимальной толщины изделия к начальной толщине заготовки $r' = \delta_{\text{min}} / \delta_{\text{заг}}$. Однако наиболее приемлемым является определение разнотолщинности как отношения минимальной толщины изделия к его средней толщине $r' = \delta_{\text{min}} / \delta_{\text{ср}}$. Так как установить среднюю толщину изделия не всегда просто, то последнее соотношение удобнее записать в следующем виде:

$$r' = \delta_{\text{min}} \cdot S_{\text{заг}} / \delta_{\text{заг}} \cdot S_{\text{изд}} \quad (2)$$

где $S_{\text{заг}}$ и $S_{\text{изд}}$ – соответственно площадь части заготовки, находящейся непосредственно над (или под) формой, и площадь поверхности готового изделия.

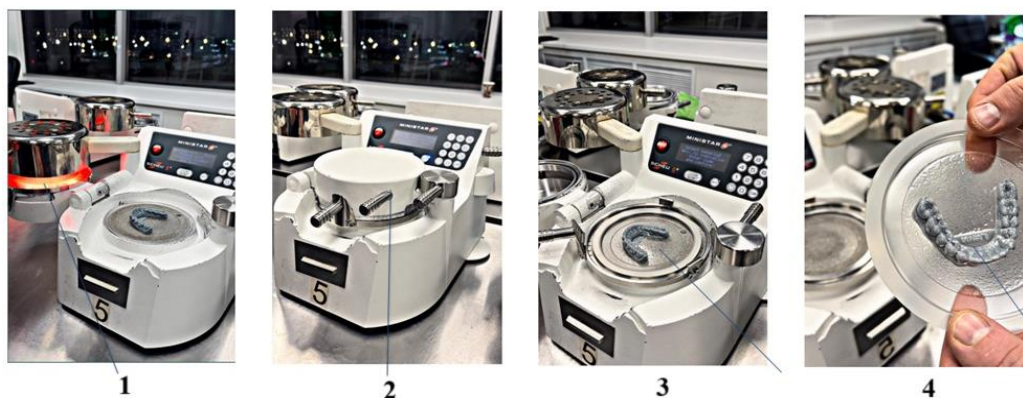


Рисунок 1. Термоформовочный агрегат фирмы Shueu-Dental, модель Ministar-S для изготовления элайнеров. 1 – ИК излучатель, 2 – герметичная пневмокамера, 3 – 3D копия челюсти, 4 – отформованная заготовка элайнера
Figure 1. Thermoforming unit(s) by Shueu-Dental, model Ministar-S for manufacturing of aligner. 1 – IR emitter, 2 – Airtight air chamber, 3 – 3D jaw replica, 4 – Moulded blank of the aligner

Ministar-S оснащен ИК излучателем, который нагревает полимерную пластину и переводит полимер в высокоэластическое состояние. Используемые пластины отличаются по химическому составу и толщине, поэтому для каждой пластины на стадии подготовки процесса пневмоформования создается код, который устанавливает продолжительность нагревания. Термоформовочный агрегат обеспечивает нагревание полимерной пластины до температуры формования за период облучения, продолжительность которого запрограммирована в зависимости от способности полимера поглощать тепловое излучение. После завершения процесса нагревания излучением по сигналу таймера оператор переносит разогретую пластину на 3D модель челюсти и герметизирует пневмокамеру. В камеру подается давление 0,4 МПа, и разогретая эластичная полимерная пластина плотно обжимает 3D модель. Деформированная эластичная пленка в напряженном состоянии охлаждается на поверхности модели путем теплопередачи энергии модели и корпусу камеры, становится жесткой, т. к. переходит в стеклообразное состояние. Охлаждение осуществляется до комнатной температуры, и отформованная заготовка элайнера обрезается вручную.

Материалы и методы

Исследован набор пленочных и листовых полимерных материалов толщиной 650–800 мкм, используемых компанией Erkodent (Германия)

в протезировании при изготовлении элайнеров, а также пленки различной степени вытяжки и анизотропии из аналогичных по химическому составу полимеров отечественного происхождения: полиэтилена низкой плотности различных марок и полиэтилентерефталата

Методы исследования и приборы: 1) ИК-анализ пленок методом НПВО на ИК Фурье-спектрометре ФСМ 2201/2202; 2) дифференциально-сканирующая калориметрия на приборе "Netsch DSC 204 F1 Phoenix", 3) физико-механические испытания по ГОСТ 11262–80, на разрывной машине "Inston 5969", 4) гидростатическое взвешивание для определения плотности на модернизированных весах ViBRA AF-R-220; 5) измерение толщины и линейных размеров электродинамическим толщиномером Константа К6Ц; 7) Измерение ПТР термопластов по ГОСТ 11645–2021

Результаты и обсуждение

Образцы исследуемых полимерных пленок прозрачны поэтому ИК-анализ пленок позволил отнести мягкие материалы к полиолефинам, а жесткие к полиэфирам фталевой кислоты. Для идентификации полимеров по плотности гидростатическим взвешиванием определяли объем и массу импортных образцов полимерных формовочных пластин. Степень кристалличности и температуру стеклования полимеров определили методом ДСК (таблица 1).

Таблица 1.
Состав и надмолекулярная структура полимерных материалов для ортодонтологии
Table 1.

Марка (состав) полимера Polymer grade (composition)	Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³	ПТР (г/10 мин) PTR (g/10 min)	Степень кристалличности, % Degree of crystallinity, %
DURAN (полипропилен) DURAN (polypropylene)	1,270	2	40
Erkolen (полиэтилен) Erkolen (polyethylene)	0,920	1,83	40
ПЭНП 15813–020 PE 15813-020	0,919	2	55
PE LD20220 FE PE LD20220 FE	0,921	2	35
IQ (DURAN pro+) IQ (DURAN pro+)	1,270	2	0
ПЭТФ PET	1,30	3,9	36
ПЭТФ (модифицированный) PET (modified)	1,250	3,9	33

Механические характеристики полимеров. Испытания на растяжение полимерных пленок и листов проводилось на тест-машине "Inston 5969", со скоростью 10 мм/мин. Сила измерялась с помощью датчика нагрузки 500 Н при комнатной температуре (около 20 °С).

Результаты механических испытаний на растяжение пленочных и листовых полимерных

материалов компании Erkodent, используемых в стоматологии и протезировании при изготовлении элайнеров и мягких матриц и полимерных пленочных и листовых полимерных материалов отечественного производства соответствующих импортным материалам по толщине и предлагаемых на замену представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Механические характеристики полимерных пленок

Table 2.

Mechanical properties of polymer films

Марка (состав) полимера Polymer grade (composition)	Толщина, мкм Thickness, μm	Предел прочности, МПа Tensile strength, Mpa	Модуль упругости, МПа Modulus of elasticity, Mpa	Относительное удлинение при разрыве, % Relative elongation at break, %
DURAN (полипропилен) DURAN (polypropylene)	800	53	2,2	240
Erkolen (полиэтилен) Erkolen (polyethylene)	650	52	817,1	336
ПЭНП 15813-020 PE 15813-020	700	15	190	600
PE LD20220 FE PE LD20220 FE	700	11,1	260	640
IQ (DURAN pro+) (полиэтилентерефталат) IQ (DURAN pro+) (polyethylene terephthalate)	750	162	3374,2	205
ПЭТФ (НПО «Тасма», г. Казань) PET (NPO Tasma, Kazan)	350	119	3193,4	240
ПЭТФ (модифицированный) PET (modified)	370	132	3180,3	-
ПЭТФ (модифицированный) при $T = 180^\circ\text{C}$ PET (modified) at $T = 180^\circ\text{C}$	370	-	-	280

Пневмоформованием импортных полимерных пленок и листов на 3Д моделях челюсти с использованием термоформовочного агрегата Ministar-S получены опытные образцы элайнеров и мягких матриц различных конфигураций и размеров. На выборке из 10 опытных образцов элайнеров с помощью электродинамического толщиномера "Константа К6Ц" измерена локальная толщина полимерных элайнеров на характерных точках. Разнотолщинность пленок в готовом изделии после пневмоформования весьма существенна, толщина элайнера в различных точках отличается в несколько раз и в среднем составляет 195–604 мкм. Этот факт свидетельствует о значительной неоднородности эластичной и пластичной деформации полимерных пленок при пневмоформовании и неоднородности внутренних напряжений в готовом изделии.

Для количественного описания стереометрии эластической и/или пластичной деформации заготовки и расчета степени её локальной вытяжки по экспериментальным значениям локальной толщины используем условную схему стереометрии растяжения элементарного объема полимерного материала постоянной плотности в форме куба со стороной равной 1 до степени удлинения λ .

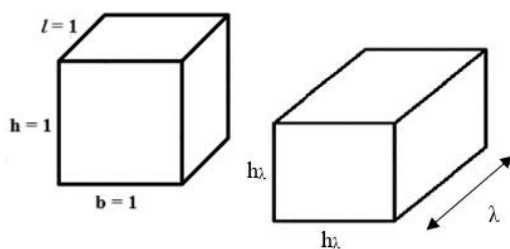


Рисунок 2. Стереометрия одноосной деформации растяжения полимера

Figure 2. Simulation of one-axis deformation of the tensile polymer

При одноосной деформации растяжения объем полимерного материала 1 м^3 в форме куба с равными сторонами $\lambda^x h^x h$ может быть записана как $1 = h^2 \cdot \lambda$, а толщина (и / или ширина) полимерного образца при растяжении связана со степенью удлинения выражением:

$$h = \sqrt{1/\lambda} \quad (3)$$

или

$$h = \lambda^{-0,5} \quad (4)$$

при анизотропной деформации растяжения толщина h может быть кратно соответствовать ширине ($h=n \cdot b$) при любой степени удлинения, например, с коэффициентом 0,5 или 1,5.

Величина кубического элементарного объема полимерного материала 1 м^3 со сторонами $\lambda^x h^x h^x n$ может быть записана как $1 = h^2 \lambda^x n$, а толщина образца анизотропной полимерной пленки при растяжении связана со степенью удлинения выражениями:

$$h = \sqrt{1/\lambda \times n} \quad (5)$$

или например

$$h = (1,5 \times \lambda)^{-0,5} \quad (6)$$

и

$$h = (0,5 \times \lambda)^{-0,5} \quad (7)$$

На рисунке 3 показаны кривые, соответствующие теоретическим зависимостям нормированной толщины от удлинения пленок с коэффициентами анизотропии 0,5, 1,0 и 1,5, а точками обозначены экспериментальные значения толщины пленки, полученные прямым измерением призматического образца полиэтилена с точностью $\pm 5\%$

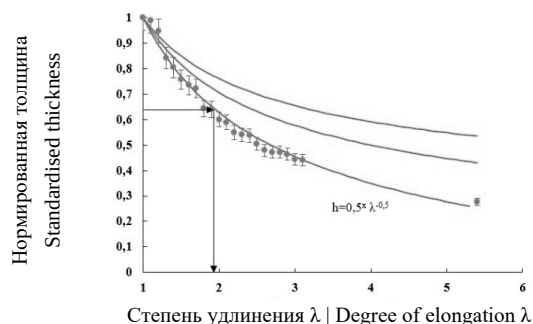


Рисунок 3. Семейство кривых, соответствующих теоретическим зависимостям нормированной толщины пленок с различной анизотропией деформации от удлинения 1 – $h = 1,5 \times \lambda^{-0,5}$, 2 – $h = \lambda^{-0,5}$, 3 – $h = 0,5 \times \lambda^{-0,5}$

Figure 3. Family of curves corresponding to the theoretical dependence of the normalized thickness of films with different anisotropy of elongation deformation 1 – $h = 1,5 \times \lambda^{-0,5}$, 2 – $h = \lambda^{-0,5}$, 3 – $h = 0,5 \times \lambda^{-0,5}$

По экспериментально определенным значениям локальной толщины в различных частях полимерных элайнеров и наиболее адекватной зависимости удлинения от толщины вычислена локальная степень вытяжки полимера при термоформовании и обозначена на фоне периметра сечения элайнера в характерных точках (рисунок 4)

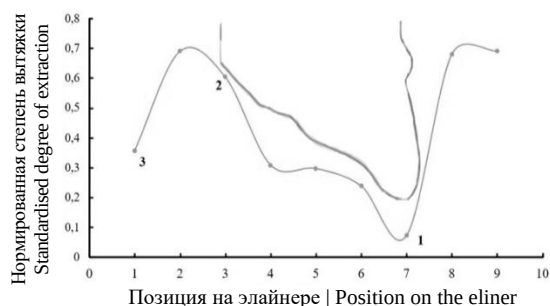


Рисунок 4. Степень вытяжки полимерных листов при производстве элайнеров рассчитанная по толщине изделия в характерных точках. 1 – режущий край зуба, 2 – лингвальная сторона зуба, 3 – основание элайнера

Figure 4. The degree of drawing of polymer sheets in the production of elixirs calculated by the thickness of the product in characteristic points. 1 – the cutting edge of the tooth 2 – the tongue side of the tooth, 3 – Aligner base

Идентификация импортным материалами и подбор отечественных полимеров, соответствующих им по химическому составу, структуре и способности к вытяжке при термоформовании осуществляли качественным анализом по ИК спектрам и методом дифференциально-сканирующей калориметрии. Установлено, что основу мягких пленок для матриц составляет полиэтилен низкой плотности со степенью кристалличности $35 \pm 5\%$, а основу жестких пленок для изготовления элайнеров – аморфный сополимер этилентерепфалата с температурой стеклования $76-81^\circ\text{C}$. Деформационные свойства импортного

пленочного материала аналогичны свойствам отечественных полимеров различных марок (рисунок 5).

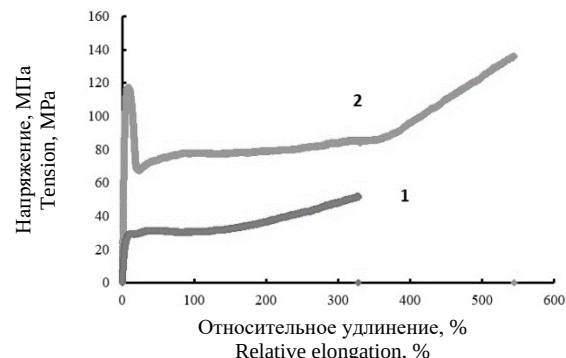


Рисунок 5. Диаграммы растяжения полимерных пленок. 1 – термопласт фирмы Erkolen (полиэтилен), 2 – полиэтилен отечественного производства HD10500 FE Сибур

Figure 5. Diagrams of the tension of polymer films. 1 – Erkolen thermoplastic (polyethylene), 2 – Domestic HD10500 FE Sibour

Проверка пригодности полиэтиленов разных марок для изготовления мягких матриц включает оценку их прозрачности для светового потока, которым в ортодонтологии производят отверждение стоматологических фотополимерных композитов. Прозрачность оценивали по коэффициенту прозрачности и оптической плотности пластин. Оптические свойства всех исследованных полимерных материалов в диапазоне длин волн $400-750\text{ нм}$ идентичны.

Надмолекулярная структура и механические свойства ПЭТФ, производимого в РФ, существенно отличаются от импортных материалов, применяемых в ортодонтологии марки высокой кристалличностью и большей хрупкостью.

Кроме этого, в отечественном полиэтилен-терефталате содержится низкомолекулярная фракция, удаление которой при нагревании соответствует экзо пику на диаграмме ДСК (рисунок 6). Отсутствие такой фракции и кристаллических формирований в пленке IQ (DURAN pro), используемой при изготовлении элайнеров подтверждается результатами ДСК анализа (рисунок 7).

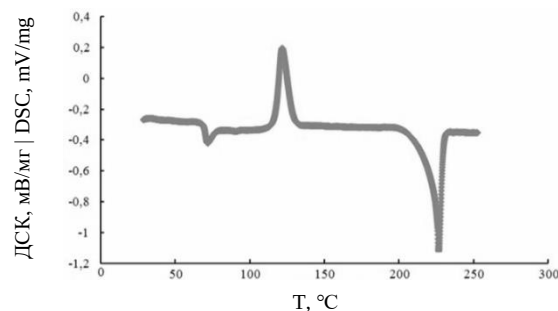


Рисунок 6. ДСК термограмма отечественной термоформовочной пленки ПЭТФ – марки ПЭТФ-Г-80

Figure 6. DSK domestic thermoforming film thermogram PET – brand PET-G-80

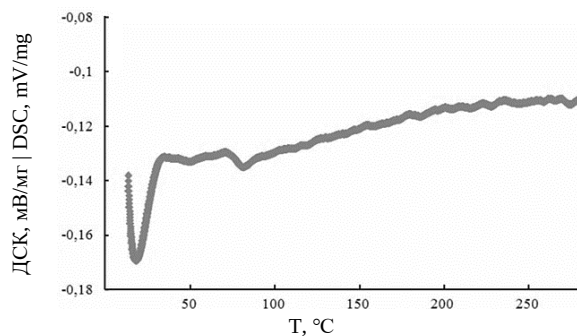


Рисунок 7. ДСК термограмма термоформовочной пластины IQ, (DURAN pro)

Figure 7. DSK thermoforforming plate thermogram IQ, (DURAN pro)

Для приведения к соответствию состава и кристалличности ПМ фирмы и пленок отечественного производства производили модифицирующую термообработку пленок в муфельной печи. Путем подбора температуры и времени ТО пленки ПЭТФ получен материал меньшей кристалличности и без содержания «летучих» компонентов (рисунок 8).

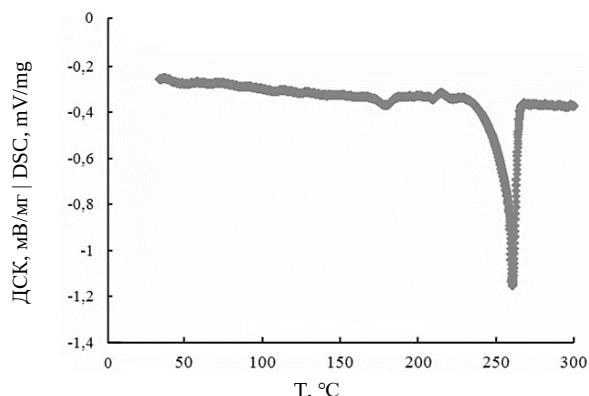


Рисунок 8. ДСК термограмма модифицированной пластины ПЭТФ-Г-80

Figure 8. DSK of the modified film thermogram PET-G-80

Проверка пригодности модифицированной пластины ПЭТФ для изготовления элайнеров заключалась в измерении её жесткости. Жесткость оценивали по величине модуля Юнга (Е) пропорционального тангенсу угла наклона касательной к началу деформационной кривой, полученной путем растяжения пленок со скоростью 10 мм/мин (рисунок 9).

Значения модуля Юнга всех термопластичных полимеров приблизительно равны, относительное удлинение при разрыве и предел прочности отечественных марок превышает показатели импортных материалов, что позволяет рекомендовать применение пленок меньшей толщины в качестве заготовок для производства как элайнеров, так и мягких матриц.

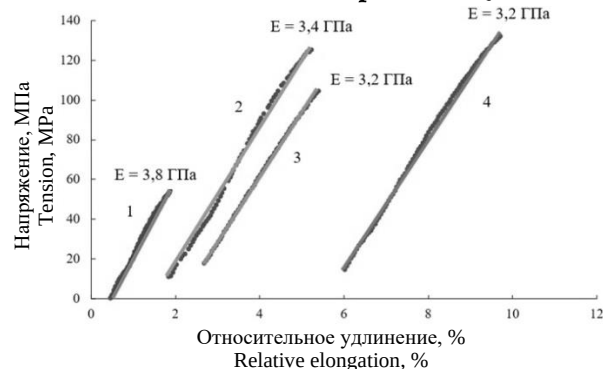


Рисунок 9. Фрагменты деформационных кривых растяжения термопластичных полимеров. 1 – Полиэтилен марки HD10500 FE Сибур, 2 – ПЭТФ марки IQ, 3 – ПЭТФ марки ПЭТФ-Г-80, 4 – модифицированный ПЭТФ-Г-80

Figure 9. Strain curve fragments of thermoplastic polymers. 1 – Polyethylene HD10500 FE Sibur, 2 – PEFF IQ, 3 – PET – brand PET-G-80, 4 – Modified PET-G-80

Заключение

Методами ДСК и ИК установлено физическое состояние и химический состав фирменных материалов, применяемых для элайнеров и т.н. мягких матриц в ортодонтологии. Материалы для мягких форм являются полиолефинами и находятся в высокоэластичном состоянии, а материалы для элайнеров являются сложными полиэфирами в стеклообразном состоянии с температурой стеклования 76–81 °С

Прецизионным измерением локальной толщины пленки на сформованных (готовых к применению) элайнерах и мягких формах с точностью $\pm 5\%$ установлены величины и преимущественное направление вытяжки полимерных заготовок в вязко текучем и высокоэластичном состоянии при пневмоформовании.

Моделированием механического продольно-поперечного массопереноса при пластичной деформации полимеров в процессе одноосной вытяжки определено соотношение между степенью вытяжки полимера и изменением толщины заготовки призматической формы в виде h (толщина) $= 0,5 \times \lambda^{-0,5}$

Используя теоретическую связь степени вытяжки заготовки из пластичного или эластичного полимера с её нормированной толщиной в изделиях построен профиль локальных деформаций в различных частях элайнеров. Установлено, что максимальная вытяжка заготовок не превышает 170% и локализована на лингвальной стороне зуба.

Экспериментально установлена возможность деформации без разрушения отечественных пленок ПЭТФ, например, пленок производства НПО «Тасма», до степени удлинения до 280% при 180 °С. т. е. достаточной для формования элайнеров деформируемостью в разогретом состоянии.

Литература

- 1 Мусаев Э.А., Шерышев М.А. Определение граничных условий температурного поля листовой заготовки // Успехи в химии и химической технологии. 2016. Т. 30. №. 10 (179). С. 59-60.
- 2 Крыжановский В.К., Физические и технологические аспекты использования термомеханических кривых полимеров // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2015. № 31 (57). С. 59-63.
- 3 Кондратов А.П., Черкасов Е.П., Утеhin А.Н. Макроструктура анизотропных полимерных пленок с «памятью формы» // Известия Тулгу. Технические науки. 2020. №. 5. С. 513-523.
- 4 Hussein A.M., Mohammed-Salih H.S., Al-Sheakli I.I. Effects of various cleaning agents on polypropylene and copolyester thermoplastic orthodontic retainer materials // Journal of Taibah University Medical Sciences. 2022. V. 17. №. 5. P. 861-868.
- 5 Кондратов А.П., Зачиняев Г.М. Физическое моделирование процесса фиксации термо-усадочных этикеток на цилиндрической таре в автоматах-аппликаторах // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2013. № 3. С. 031-039.
- 6 Зачиняев Г.М., Кондратов А.П. Термоциклические испытания термоусадочных полимерных изделий с памятью формы // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. Т. 81. № 10. С. 57-61
- 7 Rusinek R., Weremczuk A., Szymanski M., Warminski J. Middle ear vibration with stiff and flexible shape memory prosthesis // International Journal of Mechanical Sciences. 2019. V. 150. P. 20-28. doi: 10.1016/j.ijmecsci.2018.09.040
- 8 Sadeghian F., Zakerzadeh M.R., Karimpour M., Baghani M. et al. Numerical study of patient-specific ankle-foot orthoses for drop foot patients using shape memory alloy // Medical Engineering & Physics. 2019. V. 69. P. 123-133. doi: 10.1016/j.medengphy.2019.04.004
- 9 Le B.V., McVary K.T., McKenna K., Colombo A. Use of magnetic induction to activate a “touchless” shape memory alloy implantable penile prosthesis // The Journal of Sexual Medicine. 2019. V. 16. №. 4. P. 596-601. doi: 10.1016/j.jsxm.2019.01.318
- 10 Le B., McVary K., McKenna K., Colombo A. A novel thermal-activated shape memory penile prosthesis: comparative mechanical testing // Urology. 2017. V. 99. P. 136-141. doi: 10.1016/j.urology.2016.09.007
- 11 Song J.J., Chang H.H., Naguib H.E. Design and characterization of biocompatible shape memory polymer (SMP) blend foams with a dynamic porous structure // Polymer. 2015. V. 56. P. 82-92. doi: 10.1016/j.polymer.2014.09.062
- 12 Korde J.M., Kandasubramanian B. Naturally biomimicked smart shape memory hydrogels for biomedical functions // Chemical Engineering Journal. 2020. V. 379. P. 122430. doi: 10.1016/j.cej.2019.122430
- 13 Antony G.J.M., Jarali C.S., Aruna S.T., Raja S. Tailored poly (ethylene) glycol dimethacrylate based shape memory polymer for orthopedic applications // Journal of the mechanical behavior of biomedical materials. 2017. V. 65. P. 857-865. doi: 10.1016/J.JMBM.2016.10.011
- 14 Kumar B., Hu J., Pan N., Narayana H. A smart orthopedic compression device based on a polymeric stress memory actuator // Materials & Design. 2016. V. 97. P. 222-229. doi: 10.1016/j.matdes.2016.02.092
- 15 Zheng Y.F., Zhang B.B., Wang B.L., Wang Y.B. et al. Introduction of antibacterial function into biomedical TiNi shape memory alloy by the addition of element Ag // Acta biomaterialia. 2011. V. 7. №. 6. P. 2758-2767. doi: 10.1016/j.actbio.2011.02.010
- 16 Kondratov A.P., Lozitskaya A.V., Samokhin V.N., Volinsky A.A. Mullins effect in polymer large deformation strain gauges // Journal of Polymer Research. 2023. V. 30. №. 1. P. 36.
- 17 Bratu D.C., Vinatu V.F., Pop S.I., Petrescu P.H. et al. Wear resistance under high load forces of four different polyethylene terephthalate glycol vacuum-formed orthodontic retainers // Mater. Plast. 2019. V. 56. №. 3. P. 505-509.
- 18 Skaik A., Wei X.L., Abusamak I., Iddi I. Effects of time and clear aligner removal frequency on the force delivered by different polyethylene terephthalate glycol-modified materials determined with thin-film pressure sensors // American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2019. V. 155. №. 1. P. 98-107.
- 19 Xiang B., Wang X., Wu G., Xu Y. et al. The force effects of two types of polyethylene terephthalate glycol-modified clear aligners immersed in artificial saliva // Scientific Reports. 2021. V. 11. №. 1. P. 10052.
- 20 Nicita F., D'Amico C., Filardi V., Spadaro D. et al. Chemical-physical characterization of PET-G-based material for orthodontic use: preliminary evaluation of micro-Raman analysis // European Journal of Dentistry. 2023. V. 17.

References

- 1 Musaev E.A., Sheryshev M.A. Determination of boundary conditions of the temperature field of a sheet blank. Advances in Chemistry and Chemical Technology. 2016. vol. 30. no. 10 (179). pp. 59-60. (in Russian).
- 2 Kryzhanovsky V.K., Physical and technological aspects of using thermomechanical curves of polymers. Bulletin of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University). 2015. no. 31 (57). pp. 59-63. (in Russian).
- 3 Kondratov A.P., Cherkasov E.P., Utehin A.N. Macrostructure of anisotropic polymer films with "shape memory". Bulletin of Tulgu. Technical sciences. 2020. no. 5. pp. 513-523. (in Russian).
- 4 Hussein A.M., Mohammed-Salih H.S., Al-Sheakli I.I. Effects of various cleaning agents on polypropylene and copolyester thermoplastic orthodontic retainer materials. Journal of Taibah University Medical Sciences. 2022. vol. 17. no. 5. pp. 861-868.
- 5 Kondratov A.P., Zachinyaev G.M. Physical modeling of the process of fixing heat-shrinkable labels on cylindrical containers in automatic applicators. News of higher educational institutions. Problems of printing and publishing. 2013. no. 3. pp. 031-039. (in Russian).
- 6 Zachinyaev G.M., Kondratov A.P. Thermal cycling tests of heat-shrinkable polymer products with shape memory. Factory laboratory. Diagnostics of materials. 2015. vol. 81. no. 10. pp. 57-61. (in Russian).

- 7 Rusinek R., Weremczuk A., Szymanski M., Warminski J. Middle ear vibration with stiff and flexible shape memory prosthesis. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2019. vol. 150. pp. 20-28. doi: 10.1016/j.ijmecsci.2018.09.040
- 8 Sadeghian F., Zakerzadeh M.R., Karimpour M., Baghani M. et al. Numerical study of patient-specific ankle-foot orthoses for drop foot patients using shape memory alloy. *Medical Engineering & Physics*. 2019. vol. 69. pp. 123-133. doi: 10.1016/j.medengphy.2019.04.004
- 9 Le B.V., McVary K.T., McKenna K., Colombo A. Use of magnetic induction to activate a “touchless” shape memory alloy implantable penile prosthesis. *The Journal of Sexual Medicine*. 2019. vol. 16. no. 4. pp. 596-601. doi: 10.1016/j.jsxm.2019.01.318
- 10 Le B., McVary K., McKenna K., Colombo A. A novel thermal-activated shape memory penile prosthesis: comparative mechanical testing. *Urology*. 2017. vol. 99. pp. 136-141. doi: 10.1016/j.urology.2016.09.007
- 11 Song J.J., Chang H.H., Naguib H.E. Design and characterization of biocompatible shape memory polymer (SMP) blend foams with a dynamic porous structure. *Polymer*. 2015. vol. 56. pp. 82-92. doi: 10.1016/j.polymer.2014.09.062
- 12 Korde J.M., Kandasubramanian B. Naturally biomimicked smart shape memory hydrogels for biomedical functions. *Chemical Engineering Journal*. 2020. vol. 379. pp. 122430. doi: 10.1016/j.cej.2019.122430
- 13 Antony G.J.M., Jarali C.S., Aruna S.T., Raja S. Tailored poly (ethylene) glycol dimethacrylate based shape memory polymer for orthopedic applications. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. 2017. vol. 65. pp. 857-865. doi: 10.1016/J.JMBBM.2016.10.011
- 14 Kumar B., Hu J., Pan N., Narayana H. A smart orthopedic compression device based on a polymeric stress memory actuator. *Materials & Design*. 2016. vol. 97. pp. 222-229. doi: 10.1016/j.matdes.2016.02.092
- 15 Zheng Y.F., Zhang B.B., Wang B.L., Wang Y.B. et al. Introduction of antibacterial function into biomedical TiNi shape memory alloy by the addition of element Ag. *Acta biomaterialia*. 2011. vol. 7. no. 6. pp. 2758-2767. doi: 10.1016/j.actbio.2011.02.010
- 16 Kondratov A.P., Lozitskaya A.V., Samokhin V.N., Volinsky A.A. Mullins effect in polymer large deformation strain gauges. *Journal of Polymer Research*. 2023. vol. 30. no. 1. pp. 36.
- 17 Bratu D.C., Vinatu V.F., Pop S.I., Petrescu P.H. et al. Wear resistance under high load forces of four different polyethylene terephthalate glycol vacuum-formed orthodontic retainers. *Mater. Plast*. 2019. vol. 56. no. 3. pp. 505-509.
- 18 Skaik A., Wei X.L., Abusamak I., Iddi I. Effects of time and clear aligner removal frequency on the force delivered by different polyethylene terephthalate glycol-modified materials determined with thin-film pressure sensors. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2019. vol. 155. no. 1. pp. 98-107.
- 19 Xiang B., Wang X., Wu G., Xu Y. et al. The force effects of two types of polyethylene terephthalate glycol-modified clear aligners immersed in artificial saliva. *Scientific Reports*. 2021. vol. 11. no. 1. pp. 10052.
- 20 Nicita F., D'Amico C., Filardi V., Spadaro D. et al. Chemical–physical characterization of PET-G-based material for orthodontic use: preliminary evaluation of micro-Raman analysis. *European Journal of Dentistry*. 2023. vol. 17.

Сведения об авторах

Виктор А. Род студент, полиграфический институт, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская 38, г Москва 107023, vikdor.andreevich@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0008-8333-4749>

Александр Н. Утехин д.х.н., профессор, полиграфический институт, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская 38, г Москва 107023, alutekhin@yandex.ru

 <https://orcid.org/0009-0003-1681-8579>

Александр П. Кондратов д.т.н., профессор, полиграфический институт, Московский политехнический университет, Большая Семеновская 38, г Москва 107023, apkrezerv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6118-0808>

Вклад авторов

Виктор А. Род обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент, выполнил расчёты

Александр Н. Утехин провёл эксперимент, выполнил расчёты

Александр П. Кондратов написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Viktor A. Rod student, polygraphic institute, Moscow Polytechnic University, 38 Bolshaya Semynovskaya str., Moscow 107023, vikdor.andreevich@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0008-8333-4749>

Aleksandr N. Utekhin Dr. Sci. (Chem.), professor, polygraphic institute, Moscow Polytechnic University, 38 Bolshaya Semynovskaya str., Moscow 107023, alutekhin@yandex.ru

 <https://orcid.org/0009-0003-1681-8579>

Aleksandr P. Kondratov Dr. Sci. (Engin.), professor, polygraphic institute, Moscow Polytechnic University, 38 Bolshaya Semynovskaya str. Moscow 107023, apkrezerv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6118-0808>

Contribution

Viktor A. Rod review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Aleksandr N. Utekhin conducted an experiment, performed computations

Aleksandr P. Kondratov 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 24/06/2024	После редакции 06/08/2024	Принята в печать 28/08/2024
Received 24/06/2024	Accepted in revised 06/08/2024	Accepted 28/08/2024

Модификация поливинилового спирта боратами

Любовь Н. Студеникина	¹	lovov-churkina@ya.ru	 0000-0001-6613-4974
Вероника Е. Углова	¹	veronika200312@gmail.com	
Игорь В. Коленко	¹	kolenko.igor.55@gmail.com	
Александр А. Мельников	²	melnikov.shura@inbox.ru	

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

Аннотация. Модификация поливинилового спирта (ПВС) боратами позволяет регулировать основные эксплуатационные показатели водорастворимых пленок - температуру и время растворимости, прочность. Потребность в повышении водостойкости пленок на основе ПВС связана с конкретными областями их применения, например при создании защитных оболочек в растениеводстве или экобезопасной разовой посуды и проч. Цель работы - сравнительная оценка основных эксплуатационных показателей пленок ПВС с различной молекулярной массой, модифицированного боратами различной природы. Объекты исследования: пленочные образцы низкого гидролизованного ПВС трех различных марок (05-88, 17-88, 24-88), имеющих одинаковую степень гидролиза (88%), но отличающихся молекулярной массой (ММ) и как следствие - вязкостью раствора (для ПВС 05-88, 17-88, 24-88 составляющей 4,5÷6,5, 20,0÷26,0, 44,0÷56,0 мПа*с соответственно), модифицированные боратами в различном соотношении (тетраборатом натрия в количестве 0,125 ÷ 2,0 масс.% и борной кислотой в количестве 2,5 ÷ 10,0 масс.%). Методы исследования: водорастворимость образцов оценивали визуально при погружении в воду с температурой 20°C, сорбцию водяного пара оценивали стандартным статическим (эксикаторным) методом определения изотерм сорбции паров воды полимерными материалами, прочностные показатели пленок в сухом и паронасыщенном состоянии определяли по ГОСТ 11262-17 с помощью разрывной машины РМ-50 с программным обеспечением «Stretch Test». Установлено, что влияние природы сшивателя на свойства модифицированных пленок существенно отличается для ПВС с различной ММ. Тетраборат натрия приводит к быстрому гелеобразованию р-ра ПВС, что проявляется интенсивнее с увеличением ММ полимера, поэтому его введение ограничено 2,0, 1,0 и 0,5 масс.% соответственно для ПВС 05-88, 17-88 и 24-88; при сшивке борной кислотой эффект гелеобразования отсутствует. Тетраборат натрия неэффективен для повышения водостойкости ПВС с низкой ММ, хотя улучшает его прочностные показатели; борная кислота эффективно сшивает ПВС (особенно с высокой ММ), что проявляется в значительном увеличении времени растворения пленок. Максимальный эффект сшивки, сопровождающийся значительным повышением водостойкости, наблюдался в случае модификации средне- и высокомолекулярного ПВС борной кислотой в количестве не менее 5,0 масс.% от массы полимера.

Ключевые слова: поливиниловый спирт, борная кислота, тетраборат натрия, модификация, водостойкость, прочность.

Modification of polyvinyl alcohol with borates

Lyubov N. Studenikina	¹	lovov-churkina@ya.ru	 0000-0001-6613-4974
Veronika E. Uglova	¹	veronika200312@gmail.com	
Igor V. Kolenko	¹	kolenko.igor.55@gmail.com	
Alexandr A. Melnikov	²	melnikov.shura@inbox.ru	

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

Abstract. Modification of polyvinyl alcohol (PVA) with borates allows to regulate the main performance indicators of water-soluble films - temperature and time of solubility, strength. The need to increase the water resistance of PVA-based films is associated with specific areas of their application, for example, when creating protective shells in plant growing or eco-friendly disposable tableware, etc. The aim of the work is a comparative assessment of the main performance indicators of PVA films with different molecular weights modified with borates of different nature. Objects of study: film samples of low-hydrolyzed PVA of three different grades (05-88, 17-88, 24-88) having the same degree of hydrolysis (88%), but differing in molecular weight (MW) and, as a consequence, solution viscosity (for PVA 05-88, 17-88, 24-88 comprising 4.5÷6.5, 20.0÷26.0, 44.0÷56.0 mPa*s, respectively), modified with borates in different ratios (sodium tetraborate in an amount of 0.125÷2.0 wt.% and boric acid in an amount of 2.5÷10.0 wt.%). Research methods: water solubility of samples was assessed visually by immersion in water with a temperature of 20°C, water vapor sorption was assessed using the standard static (desiccator) method for determining water vapor sorption isotherms by polymeric materials, strength properties of films in a dry and vapor-saturated state were determined according to GOST 11262-17 using an RM-50 tensile testing machine with Stretch Test software. It was found that the influence of the crosslinker nature on the properties of modified films differs significantly for PVA with different MW. Sodium tetraborate leads to rapid gelation of the PVA solution, which is more intense with an increase in the MW of the polymer, therefore its introduction is limited to 2.0, 1.0 and 0.5 wt.%, respectively, for PVA 05-88, 17-88 and 24-88; when crosslinking with boric acid, the gelling effect is absent. Sodium tetraborate is ineffective in increasing the water resistance of low-MW PVA, although it improves its strength properties; boric acid effectively crosslinks PVA (especially high-MW), which is manifested in a significant increase in the dissolution time of the films. The maximum crosslinking effect, accompanied by a significant increase in water resistance, was observed in the case of modification of medium- and high-molecular PVA with boric acid in an amount of at least 5.0 wt.% of the polymer weight.

Keywords: polyvinyl alcohol, boric acid, sodium tetraborate, modification, water resistance, strength.

Для цитирования
Студеникина Л.Н., Углова В.Е., Коленко И.В., Мельников А.А. Модификация поливинилового спирта боратами // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 231–236. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-231-236

For citation
Studenikina L.N., Uglova V.E., Kolenko I.V., Melnikov A.A. Modification of polyvinyl alcohol with borates. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 231–236. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-231-236

Введение

Пленки на основе поливинилового спирта (ПВС) в настоящее время привлекают все большее внимание благодаря сочетанию эксплуатационных свойств и экологичности [1]. ПВС – единственный виниловый полимер, который может быть использован бактериями в качестве источника углерода и энергии [2].

Водорастворимая упаковка – тренд современной упаковочной индустрии, основное сырье для ее производства – ПВС с низкой степенью гидролиза, пленки из которого растворяется в холодной воде ($t < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Наибольшее распространение эти материалы нашли в упаковке пестицидов и гербицидов – там, где не допускается контакт с кожей человека. Кроме того на основе водорастворимых плёночных материалов изготавливают разовую упаковку для шампуней, красителей, стиральных порошков, моющих и отбеливающих средств, в медицинских учреждениях – для упаковки предметов (одежды, постельного белья, инструментов) подлежащих стирке, дезинфекции или стерилизации. Самоклеющиеся плёнки на водорастворимой основе используются для бюджетной аэрографии автомобилей и нанесения рисунков на металлические и пластиковые покрытия сложной конфигурации. На основе аналогичных материалов изготавливают различные водорастворимые этикетки и стикеры, на которых указывают дату изготовления, условия и срок хранения продуктов, например, рыбы замороженной в ледяной глазури [3]. Также материалы на основе ПВС имеют значительный потенциал для применения в различных областях растениеводства [4].

Однако, физические характеристики и стабильность таких пленок не всегда достаточно высокие [5], для улучшения характеристик и достижения цели практического применения необходимо дополнительно модифицировать ПВС [6, 7]. Модификация полимера технологическими добавками и компаундированием зачастую быстрее приводят к цели – получению материала с заданными свойствами, чем синтез новых высокомолекулярных соединений [8].

К основным методам модификации ПВС для повышения его водостойкости относят: введение наноразмерных наполнителей, компаундирование с другими полимерами и химическую сшивку. Наночастицы могут быть равномерно распределены в матрице ПВС, изменяя силу взаимодействия молекулярных цепей, образуя прочные водородные связи и изменяя кристаллическую структуру. Модификация ПВС наночастицами не только улучшает механическую прочность и водостойкость пленки, но и еще больше расширяет функциональные возможности материала, например, делая его электропроводным.

Повышение водостойкости ПВС компаундированием проводится путем смешения с полимерами, которые могут образовывать водородные связи с гидроксильными группами в ПВС, снижая сродство композита к воде. Химическая сшивка – это образование химических связей между молекулами ПВС с образованием полимерной сетки, что существенно улучшает механические свойства и водостойкость пленок [9].

Авторами [3] показана возможность регулирования растворимости плёночных материалов на основе ПВС воздействием температуры, СВЧ излучения и введением сшивающих веществ (формальдегида, калия двуххромовокислого и натрия тетраборнокислого). Известно, что ПВС образует комплексы с неорганическими соединениями некоторых элементов, обычно их синтез осуществляют в водных растворах с использованием растворимых веществ [10].

При этом поливиниловый спирт весьма чувствителен к следам соединений бора, особенно борной кислоты, буры и перборатов. Гелеобразование имеет место в растворах, содержащих не менее 2 % полимера и не менее 1 % борной кислоты или буры. Эти комплексы, по-видимому, не представляют собой определенного продукта и образуются путем соединения линейных цепей ПВС поперечными связями вследствие комплексообразования. Они представляют собой вязкие неэластичные аморфные системы, однако, при кратковременном приложении нагрузки они ведут себя как упругие тела. Плавление происходит при невысоких температурах порядка 30 – 40 $^{\circ}\text{C}$. Механические свойства, и в частности модуль упругости, возрастает при увеличении молекулярной массы и уменьшении содержания остаточных ацетатных групп, увеличении концентрации полимера и буры [11].

Гидрогели на основе ПВС-бората обладают частотно-зависимым механическим поведением и конечным временем релаксации и, следовательно, с реологической точки зрения они считаются не настоящими гелями, а вязкоупругими дисперсиями с динамической сеткой. Гидрогели на основе ПВС-бората проявляют вязкость в длительном масштабе времени (низкая частота), при которой у сетки достаточно времени для перестройки (или распутывания), и эластичность в коротком масштабе времени (высокая частота), при которой поперечные связи не могут диссоциировать. Увеличение концентрации ионов бората способствует прочности дисперсии в меньшей степени, чем молекулярная масса и концентрация полимера, которые, следовательно, являются доминирующими факторами, влияющими на эластичность и стабильность дисперсий [12, 13].

Процессы сшивки ПВС боратами изучались в работах [14–20]. В дополнение к общей сшивающей функции боратных добавок

в работе [14] был обнаружен необычный пластифицирующий эффект и установлено, что регулируя pH от 4 до 11 во время получения сшитого боратом ПВС, можно изменить эффекты пластификации и сшивания. В исследовании [19] отмечено, что консистенцию высокоэластичных вязких систем на основе ПВС (гидрогелей) можно моделировать путем изменения молекулярной массы и концентрации полимера и количества сшивающей добавки – буры (бората) в дополнение к варьированию уровнем pH и температурой процесса. В работе [20] установлено, что сшивка ПВС борной кислотой сопровождается повышением прочностных показателей пропорционально количеству введенного в полимерную матрицу борат-иона, но при этом водостойкость модифицированных пленок ПВС повышается до определенного предела содержания бората [20].

Цель работы – сравнительная оценка основных эксплуатационных показателей пленок ПВС с различной молекулярной массой, модифицированного боратами различной природы.

Материалы и методы

Объекты исследования: пленочные образцы низкогидролизированных ПВС трех различных марок (05–88, 17–88, 24–88), имеющих одинаковую степень гидролиза (88 %), но отличающихся молекулярной массой (ММ) и как следствие – вязкостью раствора (для ПВС 05–88, 17–88, 24–88 составляющей $4,5 \div 6,5$, $20,0 \div 26,0$, $44,0 \div 56,0$ мПа • с соответственно), модифицированные боратами в различном соотношении (тетраборатом натрия в количестве $0,125 \div 2,0$ масс.% и борной кислотой в количестве $2,5 \div 10,0$ масс.%). Для удобства образцам были присвоены номера согласно таблице 1.

Количество сшивающего агента (бората) было предварительно подобрано для различных марок ПВС и различных сшивателей экспериментальным путем, исходя из технологических свойств получаемых растворов (основной критерий – вязкость) и качества получаемых пленок. Главным критерием для определения максимально возможного содержания бората была возможность отливки пленки и отсутствие дефектов у получаемых экспериментальных пленочных образцов.

Пленки модифицированного ПВС получали следующим образом: 100 мл р-ра ПВС (5 %) смешивали с 5 г глицерина (пластификатор) и нагревали до 80 °С в стеклянном реакторе. Затем к раствору по каплям добавляли расчетное количество сшивающего агента (см. табл. 1). Смесь перемешивали магнитной мешалкой в течение 30 мин при поддержании температуры 80 °С. Полученный раствор отливали на подложки и высушивали на воздухе при комнатной температуре.

Методы исследования: водорастворимость образцов оценивали визуально при погружении в воду с температурой 20 °С, сорбцию водяного

пара оценивали стандартным статическим (экдикаторным) методом определения изотерм сорбции паров воды полимерными материалами, прочностные показатели пленок в сухом и паронасыщенном состоянии определяли по ГОСТ 11262–17 с помощью разрывной машины РМ-512 с программным обеспечением «Stretch Test».

Таблица 1.
Рецептурная нумерация образцов

Table 1.

Prescription numbering of samples

Образец Sample	Марка PVC Brand PVA	Природа и содержание сшивателя Nature and content of the crosslinking agent
1	05–88	Без сшивателя
2		Тетраборат натрия – 0,5 масс. %
3		Тетраборат натрия – 1,0 масс. %
4		Тетраборат натрия – 2,0 масс. %
5		Борная кислота – 2,5 масс. %
6		Борная кислота – 5,0 масс. %
7		Борная кислота – 10,0 масс. %
8	17–88	Без сшивателя
9		Тетраборат натрия – 0,25 масс. %
10		Тетраборат натрия – 0,50 масс. %
11		Тетраборат натрия – 1,00 масс. %
12		Борная кислота – 2,5 масс. %
13		Борная кислота – 5,0 масс. %
14		Борная кислота – 10,0 масс. %
15	24–88	Без сшивателя
16		Тетраборат натрия – 0,125 масс. %
17		Тетраборат натрия – 0,250 масс. %
18		Тетраборат натрия – 0,500 масс. %
19		Борная кислота – 2,5 масс. %
20		Борная кислота – 5,0 масс. %
21		Борная кислота – 10,0 масс. %

Результаты

На рисунке 1 показаны результаты оценки растворимости экспериментальных образцов в холодной воде ($t = 20$ °С). Для всех образцов отмечено незначительное увеличение времени растворения при введении тетрабората натрия (для некоторых – снижение водостойкости), и существенное повышение водостойкости при введении борной кислоты, возрастающее с ростом содержания сшивателя.

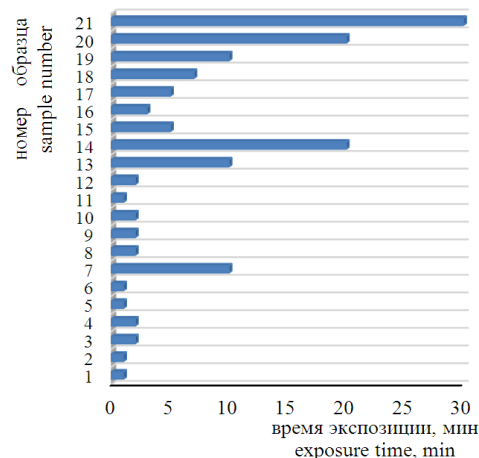


Рисунок 1. Среднее время растворения экспериментальных образцов в воде при $t = 20$ °С

Figure 1. Average dissolution time of experimental samples in water at $t = 20$ °С

На рисунке 2 представлены кинетические кривые сорбции водяного пара образцами модифицированного ПВС с максимальным содержанием сшивателя. Отмечен однотипный характер кривых, независимо от молекулярной массы ПВС и природы сшивателя: интенсивное поглощение паров воды в первые двое суток, временная стабилизация системы на третьи сутки, и последующий

плавный прирост массы с достижением сорбционного равновесия на 7–8 суток. Очевидно, что медленная диффузия воды в течение первых 48 часов приводит к раскрытию дополнительного объема для сорбции за счет сольватации и повышения подвижности макромолекул при снижении степени кристалличности системы.

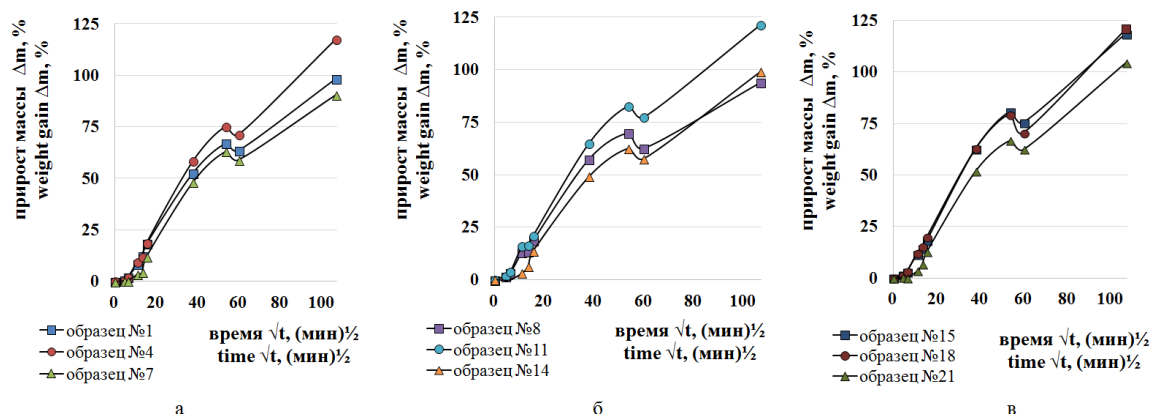


Рисунок 2. Кинетические кривые сорбции водяного пара образцами модифицированного ПВС: а) ПВС марки 05–88, б) ПВС марки 17–88, в) ПВС марки 24–88

Figure 2. Kinetic curves of water vapor sorption by the studied samples of modified PVA: (a) PVA grade 05–88; (b) PVA grade 17–88; (c) PVA grade 24–88

На рисунке 3 приведены показатели прочности исследуемых материалов в сухом состоянии, а в таблице 2 – прочностные показатели модифицированных ПВС марок 05–88 и 24–88 с максимальным содержанием сшивающего агента в сухом и паронасыщенном состоянии. Из рисунка 3 видно, что для ПВС 05–88 прочность при разрыве пропорционально повышается при введении тетрабората натрия, и незначительно снижается при введении борной кислоты (возможен пластифицирующий эффект), при этом относительное удлинение снижается для всех образцов № 2–7 примерно в 6 раз. Для ПВС 17–88 и 24–88, напротив, отмечена тенденция снижения прочности при разрыве в случае сшивкой тетраборатом натрия и повышения – при модификации борной кислотой (при этом относительное удлинение образцов снижается, что говорит о процессах межмолекулярной «сшивки»).

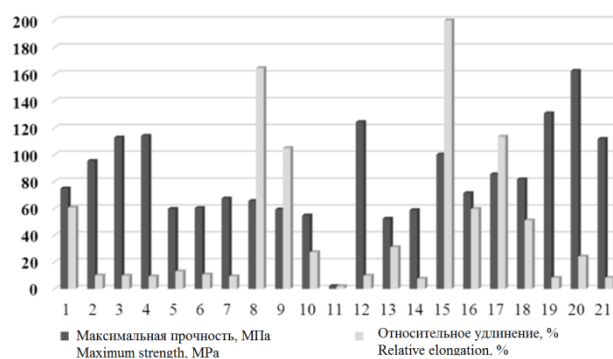


Рисунок 3. Прочностные показатели экспериментальных образцов в сухом состоянии

Figure 3. Strength properties of experimental samples in dry condition

Таблица 2.
Прочностные показатели модифицированных пленок ПВС марок 05–88 и 24–88 с максимальным содержанием сшивающего агента в сухом и паронасыщенном состоянии

Table 2.
Strength properties of modified PVA films of grades 05–88 and 24–88 with maximum content of crosslinking agent in dry and vapor-saturated state

Образец Sample	Прочностные показатели пленок в сухом состоянии Dry strength properties of films		Прочностные показатели пленок в паронасыщенном состоянии Strength properties of films in a vapor-saturated state	
	Макс прочность, МПа Max strength, MPa	Относительное удлинение, % Relative elongation, %	Макс прочность, МПа Max strength, MPa	Относительное удлинение, % Relative elongation, %
1	74,8	60,6	0,13	69,2
4	113,9	9,2	3,2	112,6
7	67,3	9,3	6,9	73,7
15	100,1	209,9	3,5	360,0
18	81,6	51,0	4,6	219,2
21	111,7	8,2	4,4	157,8

При насыщении водяным паром исследуемых пленок (таблица 2) прочность при разрыве снижается в 600 раз для немодифицированного ПВС 05–88 и в 30 раз – для ПВС 24–88 (удлинение повышается соответственно в 1,1 и 1,7 раз). При сшивке тетраборатом для паронасыщенного ПВС 05–88 прочность снижается в 40 раз, для ПВС 24–88 – в 20 раз (удлинение повышается соответственно в 12 и 4 раза), при сшивке борной кислотой прочность ПВС 05–88 снижается в 10 раз, ПВС 24–88 – в 25 раз (удлинение повышается соответственно в 8 и 20 раз).

Заключение

Влияние природы сшивателя на свойства модифицированных пленок существенно отличается для ПВС с различной ММ. Тетраборат натрия приводит к быстрому гелеобразованию р-ра ПВС,

что проявляется интенсивнее с увеличением ММ полимера, поэтому его введение ограничено 2,0, 1,0 и 0,5 масс.% соответственно для ПВС 05–88, 17–88 и 24–88; при сшивке борной кислотой эффект гелеобразования отсутствует. Тетраборат натрия неэффективен для повышения водостойкости ПВС, хотя существенно повышает прочностные показатели пленок ПВС с низкой ММ; борная кислота эффективно сшивает ПВС, особенно с высокой ММ, что проявляется в значительном увеличении времени растворения пленок. Максимальный эффект сшивки, сопровождающийся значительным повышением водостойкости, наблюдался в случае модификации средне- и высокомолекулярного ПВС борной кислотой в количестве не менее 5,0 масс.% от массы полимера.

Литература

- 1 Губанова М.И., Баженов Н.С., Кирш И.А., Банникова О.А. и др. Исследование пленочных материалов, полученных из модифицированных растворных систем на основе поливинилового спирта // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 226–236.
- 2 Yalan Liu. Biodegradation analysis of polyvinyl alcohol during the compost burial course // Journal of Basic Microbiology. 2019. V. 59. P. 368–374.
- 3 Гетмадинова В.М., Сидоров Ю.Д., Поливанов М.А. Регулирование растворимости композиционных материалов на основе поливинилового спирта // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 6. С. 96–99.
- 4 Студеникина Л.Н., Домарева С.Ю., Голенских Ю.Е., Матвеева А.В. Особенности высоконаполненных композитов на основе различных марок поливинилового спирта // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1 (87). С. 316–322.
- 5 Hu H., Yong H., Yao X., Chen D. et al. Effect of starch aldehyde-catechin conjugates on the structural, physical and antioxidant properties of quaternary ammonium chitosan/polyvinyl alcohol films // Food Hydrocolloids. 2022. V. 124.
- 6 Fan K., Zhang M., Jiang F. Ultrasound treatment to modified atmospheric packaged fresh-cut cucumber: Influence on microbial inhibition and storage quality // Ultrasonics Sonochemistry. 2019. № 54. P. 162–170.
- 7 Awada H., Daneault C. Chemical Modification of Poly(Vinyl Alcohol) in Water // Appl. Sci. 2015. V. 5. P. 840–850.
- 8 Труфакина Л.М. Свойства полимерных композитов на основе поливинилового спирта. Известия Томского политехнического университета // Химия и химические технологии. 2014. Т. 325. № 3. С. 92–97.
- 9 Liu B., Zhang J., Guo H. Research Progress of Polyvinyl Alcohol Water-Resistant Film Materials // Membranes. 2022. V. 12. P. 347.
- 10 Просанов И.Ю., Булина Н.В., Герасимов К.Б. Комплексы поливинилового спирта с нерастворимыми неорганическими соединениями // Физика твердого тела. 2013. Т. 55. № 10. С. 2016–2019.
- 11 Rhim J.W., Sohn M.Y., Joo H.J., Lee K.H. Pervaporation separation of binary organic-aqueous liquid mixtures using crosslinked PVA membranes. I. Characterization of the reaction between PVA and poly (acrylic acid) // Chem. Abs. 1993. V. 119. № 20. P. 77.
- 12 Riedo C., Caldera F., Poli T. et al. Poly(vinylalcohol) – borate hydrogels with improved features for the cleaning of cultural heritage surfaces // Herit Sci. 2015. V. 3. P. 23.
- 13 Carretti E., Matarrese C., Fratini E., Baglioni P. et al. Physicochemical characterization of partially hydrolyzed poly(vinyl acetate) – borate aqueous dispersions // Soft Matter. 2014. V. 10. № 25. P. 4443–50.
- 14 Geng S., Shah F.U., Liu P., Antzutkin O.N. et al. Plasticizing and crosslinking effects of borate additives on the structure and properties of poly(vinyl acetate) // RSC Adv. 2017. № 7. P. 7483–7491.
- 15 Sun L., Wang J., Liang J. et al. Boric Acid Cross-linked 3D Polyvinyl Alcohol Gel Beads by NaOH-Titration Method as a Suitable Biomass Immobilization Matrix // J Polym Environ. 2020. V. 28. P. 532–541.
- 16 Lum Y.H., Shaaban A., Mohamad N., Dimin F. et al. Boric acid modified starch polyvinyl alcohol matrix for slow release fertilizer // e-Polymers. 2016. V. 16. № 2. P. 151–158.
- 17 Marin L., Ailincăi D., Paslaru E. Monodisperse PDLC composites generated by use of polyvinyl alcohol boric acid as matrix // RSC Advances. 2014. V. 4. № 72. P. 38397–38404.
- 18 Al-Emam E., Soenen H., Caen J., Janssens K. et al. Characterization of polyvinyl alcohol-borax/agarose (PVA-B/AG) double network hydrogel utilized for the cleaning of works of art // Heritage Science. 2020. V. 8. P. 1–14.
- 19 Carretti E., Bonini M., Dei L., Berrie B. H. et al. New frontiers in materials science for art conservation: responsive gels and beyond // Accounts of chemical research. 2010. V. 43. № 6. P. 751–760.
- 20 Студеникина Л.Н., Домарева С.Ю., Голенских Ю.Е., Матвеева А.В., Мельников А.А. Повышение прочности и водостойкости материалов на основе поливинилового спирта с помощью борной кислоты // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2 (92). С. 249–255.

References

- 1 Gubanova M.I., Bazhenov N.S., Kirsh I.A., Bannikova O.A. et al. Study of film materials obtained from modified solution systems based on polyvinyl alcohol. Proceedings of VSUET. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 226–236. (in Russian).
- 2 Yalan Liu. Biodegradation analysis of polyvinyl alcohol during the compost burial course. Journal of Basic Microbiology. 2019. vol. 59. pp. 368–374.

- 3 Getmadinova V.M., Sidorov Yu.D., Polivanov M.A. Regulation of the solubility of composite materials based on polyvinyl alcohol. *Bulletin of the Technological University*. 2016. vol. 19. no. 6. pp. 96–99. (in Russian).
- 4 4 Studenikina L.N., Domareva S.Yu., Golenskikh Yu.E., Matveeva A.V. Features of highly filled composites based on various grades of polyvinyl alcohol. *Proceedings of VSUET*. 2021. vol. 83. no. 1 (87). pp. 316–322. (in Russian).
- 5 Hu H., Yong H., Yao X., Chen D. et al. Effect of starch aldehyde-catechin conjugates on the structural, physical and antioxidant properties of quaternary ammonium chitosan/polyvinyl alcohol films. *Food Hydrocolloids*. 2022. vol. 124.
- 6 Fan K., Zhang M., Jiang F. Ultrasound treatment to modified atmospheric packaged fresh-cut cucumber: Influence on microbial inhibition and storage quality. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2019. no. 54. pp. 162–170.
- 7 Awada H., Daneault C. Chemical Modification of Poly(Vinyl Alcohol) in Water. *Appl. Sci*. 2015. vol. 5. pp. 840–850.
- 8 Trufakina L.M. Properties of polymer composites based on polyvinyl alcohol. *Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Chemistry and Chemical Technologies*. 2014. vol. 325. no. 3. pp. 92–97. (in Russian).
- 9 Liu B., Zhang J., Guo H. Research Progress of Polyvinyl Alcohol Water-Resistant Film Materials. *Membranes*. 2022. vol. 12. pp. 347.
- 10 Prosanov I.Yu., Bulina N.V., Gerasimov K.B. Complexes of polyvinyl alcohol with insoluble inorganic compounds. *Solid State Physics*. 2013. vol. 55. no. 10. pp. 2016–2019. (in Russian).
- 11 Rhim J.W., Sohn M.Y., Joo H.J., Lee K.H. Pervaporation separation of binary organic-aqueous liquid mixtures using crosslinked PVA membranes. I. Characterization of the reaction between PVA and poly (acrylic acid). *Chem. Abs*. 1993. vol. 119. no. 20. pp. 77.
- 12 Riedo C., Caldera F., Poli T. et al. Poly(vinylalcohol) – borate hydrogels with improved features for the cleaning of cultural heritage surfaces. *Herit Sci*. 2015. vol. 3. pp. 23.
- 13 Carretti E., Matarrese C., Fratini E., Baglioni P. et al. Physicochemical characterization of partially hydrolyzed poly(vinyl acetate) – borate aqueous dispersions. *Soft Matter*. 2014. vol. 10. no. 25. pp. 4443–50.
- 14 Geng S., Shah F.U., Liu P., Antzutkin O.N. et al. Plasticizing and crosslinking effects of borate additives on the structure and properties of poly(vinyl acetate). *RSC Adv*. 2017. no. 7. pp. 7483–7491.
- 15 Sun L., Wang J., Liang J. et al. Boric Acid Cross-linked 3D Polyvinyl Alcohol Gel Beads by NaOH-Titration Method as a Suitable Biomass Immobilization Matrix. *J Polym Environ*. 2020. vol. 28. pp.532–541.
- 16 Lum Y.H., Shaaban A., Mohamad N., Dimin F. et al. Boric acid modified starch polyvinyl alcohol matrix for slow release fertilizer. *e-Polymers*. 2016. vol. 16. no. 2. pp. 151–158.
- 17 Marin L., Ailincăi D., Paslaru E. Monodisperse PDLC composites generated by use of polyvinyl alcohol boric acid as matrix. *RSC Advances*. 2014. vol. 4. no. 72. pp. 38397–38404.
- 18 Al-Emam E., Soenen H., Caen J., Janssens K. et al. Characterization of polyvinyl alcohol-borax/agarose (PVA-B/AG) double network hydrogel utilized for the cleaning of works of art. *Heritage Science*. 2020. vol. 8. pp. 1–14.
- 19 Carretti E., Bonini M., Dei L., Berrie B. H. et al. New frontiers in materials science for art conservation: responsive gels and beyond. *Accounts of chemical research*. 2010. vol. 43. no. 6. pp. 751–760.
- 20 Studenikina L.N., Domareva S.Yu., Golenskikh Yu.E., Matveeva A.V., Melnikov A.A. Increasing the strength and water resistance of materials based on polyvinyl alcohol using boric acid. *Proceedings of VSUET*. 2022. vol. 84. no. 2 (92). pp. 249–255. (in Russian).

Сведения об авторах

Любовь Н. Студеникина к.т.н., доцент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lubov-churkina@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6613-4974>

Вероника Е. Углова студент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, veronika200312@gmail.com

Игорь В. Коленько студент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kolenko.igor.55@gmail.com

Александр А. Мельников студент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, melnikov.shura@inbox.ru

Information about authors

Lyubov N. Studenikina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, industrial ecology and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lubov-churkina@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6613-4974>

Veronika E. Uglova student, industrial ecology and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, veronika200312@gmail.com

Igor V. Kolenko student, Voronezh State University of Engineering Technologies, industrial ecology and technosphere safety department, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kolenko.igor.55@gmail.com

Alexandr A. Melnikov student, industrial ecology and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, melnikov.shura@inbox.ru

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 28/06/2024	После редакции 25/07/2024	Принята в печать 12/08/2024
Received 28/06/2024	Accepted in revised 25/07/2024	Accepted 12/08/2024

Влияние продолжительности гомогенизации каучукового латекса с коагулирующим агентом на снижение агрегативной устойчивости

Елена А. Моргачева	¹	lena_morgacheva@mail.ru	 0009-0001-0954-9978
Инна Н. Пугачева	¹	eco-inna@ya.ru	 0000-0001-5850-2861
Наталья Ю. Санникова	¹	cnu@inbox.ru	 0000-0002-5583-2563
Сергей С. Никулин	¹	nikulin.nikuli@ya.ru	 0000-0002-8141-8008

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

Аннотация. В статье рассматривается влияние продолжительности гомогенизации каучукового латекса с коагулирующими агентами на процесс выделения каучука. Производство синтетического каучука включает в себя ряд сложных химических и физических процессов, которые могут оказывать значительное влияние на эффективность и энергозатраты. Один из ключевых факторов, который следует учитывать, - это тепловой эффект, связанный с изменениями внутренней энергии системы. В работе исследуются два подхода к производству каучука: использование соли в качестве коагулянта и применение катионного электролита. Исследования показали, что при использовании хлорида натрия коагуляция протекает по концентрационному механизму, а при использовании N,N-диметил-N,N-диаллиламмонийхлорида - по нейтрализационному. При этом продолжительность совмещения каучукового латекса с раствором хлорида натрия оказывает влияние на расход коагулянта необходимого для полного выделения каучука из латекса. Однако, при использовании в качестве коагулянта N,N-диметил-N,N-диаллиламмонийхлорида данного влияния обнаружено не было. Эти различия подчеркивают различные механизмы коагуляции в зависимости от применяемого реагента. Расход катионного электролита на выделение одной тонны каучука из латекса сохранялся постоянным. Полученные данные имеют как научное, так и практическое значение для оптимизации технологических схем и снижения энергозатрат.

Ключевые слова: латекс, коагулянт, смешение, выдержка, крошка каучука.

Effect of the duration of homogenization of rubber latex with a coagulating agent on the decrease in aggregative stability

Elena A. Morgacheva	¹	lena_morgacheva@mail.ru	 0009-0001-0954-9978
Inna N. Pugacheva	¹	eco-inna@ya.ru	 0000-0001-5850-2861
Natal'ya Yu. Sannikova	¹	cnu@inbox.ru	 0000-0002-5583-2563
Sergej S. Nikulin	¹	nikulin.nikuli@ya.ru	 0000-0002-8141-8008

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

Abstract. The article examines the effect of the duration of homogenization of rubber latex with coagulating agents on the process of rubber separation. The production of synthetic rubber involves a number of complex chemical and physical processes that can have a significant impact on efficiency and energy consumption. One of the key factors to consider is the thermal effect associated with changes in the internal energy of the system. The paper examines two approaches to the production of rubber: the use of salt as a coagulant and the use of a cationic electrolyte. Studies have shown that when using sodium chloride, coagulation proceeds by a concentration mechanism, and when using N,N-dimethyl-N,N-diallylammonium chloride - by a neutralization mechanism. At the same time, the duration of combining rubber latex with a solution of sodium chloride affects the consumption of the coagulant necessary for the complete separation of rubber from latex. However, when using N,N-dimethyl-N,N-diallylammonium chloride as a coagulant, this effect was not detected. These differences highlight the different coagulation mechanisms depending on the reagent used. The consumption of the cationic electrolyte for the separation of one ton of rubber from latex remained constant. The data obtained are of both scientific and practical importance for optimizing technological schemes and reducing energy consumption.

Keywords: latex, coagulant, mixing, holding time, crumb rubber.

Введение

Развитие производства синтетических каучуков во всем мире направлено на усовершенствование технологий, внедрением оригинального оборудования и использованием новых каталитических систем, что создает условия для получения высококачественной продукции и экологически чистых промышленных производств [9, 10].

Одной из важнейших стадий в технологии производства эмульсионных каучуков является стадия их выделения из латекса [11]. В настоящее время этому процессу уделяется повышенное внимание. В качестве коагулирующих агентов используются водные растворы минеральных солей, расход которых на выделение 1 тонны каучука из латекса составляет десятки и сотни

Для цитирования

Моргачева Е.А., Пугачева И.Н., Санникова Н.Ю., Никулин С.С. Влияние продолжительности гомогенизации каучукового латекса с коагулирующим агентом на снижение агрегативной устойчивости // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 237–243. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-237-243

For citation

Morgacheva E.A., Pugacheva I.N., Sannikova N.Yu., Nikulin S.S. Effect of the duration of homogenization of rubber latex with a coagulating agent on the decrease in aggregative stability. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 237–243. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-237-243

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

килограмм [1]. Сточные воды из производственных цехов, содержащие неорганические соли, сбрасываются в природные водоемы, нанося ущерб экологии. Поэтому изучение и совершенствование технологии выделения каучуков из латексов, снижение или исключение применения солевых компонентов, является важной и актуальной задачей [12].

В настоящее время опубликованы работы, в которых рассматривается применение разнообразных органических коагулянтов [2], позволяющих либо полностью исключить использование неорганических солей, либо значительно снизить их расход. Особый интерес представляют полимерные четвертичные соли аммония [3], расход которых не превышает 5 кг на выделение одной тонны каучука. При использовании этих солей технологический процесс становится малочувствительным к колебаниям pH.

Кроме того, четвертичные соли аммония являются катионными электролитами, взаимодействие которых с компонентами эмульсионной системы приводит к образованию ионно-солевых комплексов, которые захватываются образующейся крошкой каучука [13]. Это способствует снижению загрязнения сточных вод промышленности синтетических каучуков поверхностно-активными веществами (ПАВ) и другими компонентами эмульсионной системы.

Исследования, направленные на изучение особенностей протекания процесса выделения синтетических каучуков с использованием различных коагулянтов, несомненно, шагнули вперед за последние несколько лет [14-17]. Тем не менее остаются неизученными ряд вопросов, касающихся технологии их производства на снижение агрегативной устойчивости латексных дисперсий. К ним относятся влияние продолжительности гомогенизации латексной дисперсии с коагулирующим агентом. Учитывая тот факт, что процесс выделения каучука из латекса в зависимости от природы коагулирующего агента протекает по разным механизмам [4]: при использовании хлорида натрия – по концентрационному механизму, основанном на сжатии диффузных слоев [5] и нейтрализационному механизму при применении органических четвертичных солей аммония [6]. Химические процессы протекают во времени. Одни протекают быстро, другие медленно. Влияние такого важного показателя как продолжительности контакта латексной дисперсии с коагулирующим агентом на скорость

падения агрегативной устойчивости системы в литературных источниках отсутствует.

Цель работы – изучение влияния на снижение агрегативной устойчивости каучукового латекса марки СКС-30 АРК продолжительности его гомогенизации с коагулирующими агентами – хлоридом натрия и N,N-диметил-N,N-диаллиламмонийхлоридом (ДМДААХ).

Материалы и методы

Коагуляцию латекса СКС-30 АРК проводили согласно общепринятой методике [7] с использованием в качестве коагулирующих агентов водного раствора N,N-диметил-N,N-диаллиламмонийхлорида (ДМДААХ, (ТУ 6-01-00203312-125-92) с концентрацией ~ 2,0% мас., раствор хлорида натрия (ГОСТ 4233-77) с концентрацией 20% мас., раствор серной кислоты (ГОСТ 2184-2013) с концентрацией ~ 2,0% мас.

Промышленный латекс имел следующие характеристики: pH = 9,6; поверхностное натяжение 57,4 мН/м; содержание сухого остатка 21,4% мас.; содержание связанного стирола 22,6% мас.

Выделение каучука из латекса проводили при температуре 20 ± 1 °C на коагуляционной установке, представляющей собой емкость с перемешивающим устройством. Скорость вращения лопастной мешалки 80 об/мин. После введения коагулирующего агента систему перемешивали 0; 1; 3; 5; 7 и 10 минут. После чего вводили подкисляющий агент. Полноту коагуляции оценивали визуально по прозрачности серума и гравиметрически – по массе получаемой крошки каучука. Образующуюся крошку отделяли от водной фазы (серума), промывали теплой водой и после частичного обезвоживания досушивали в сушильном агрегате при температуре 82 ± 2 °C. Обезвоженную крошку каучука извлекали из сушильного агрегата и после охлаждения до комнатной температуры ($20-22$ °C) взвешивали на аналитических весах и рассчитывали выход в % мас.

Обсуждение

Проведенными исследованиями установлено, что при использовании в качестве коагулирующего агента водного раствора хлорида натрия при выделении каучука СКС-30 АРК из латекса, процесс протекает по концентрационному механизму (таблица 1) [18]. Практически полное выделение каучука (с 92–97% мас. выходом крошки каучука) достигали при расходе хлорида натрия 130–150 кг/т каучука.

Таблица 1.
Зависимость выхода крошки каучука от расхода NaCl и продолжительности перемешивания
Table 1.

Dependence of rubber crumb yield on NaCl consumption and mixing duration

В латекс вводили коагулирующий агент и без временного перемешивания вводили подкисляющий агент A coagulating agent was injected into the latex and an acidifying agent was introduced without temporary mixing							
Расход коагулянта, кг/т каучука Coagulant consumption, kg/t of rubber	10	30	50	70	100	130	150
Выход коагулюма, % Coagulum output, %	56,6	78,5	80,7	85,5	89,8	96,7	97,2
Оценка полноты коагуляции Completeness of coagulation	кнп исс				кп сс		
В латекс вводили коагулирующий агент перемешивали 1 минуту и вводили подкисляющий агент A coagulating agent was injected into the latex, stirred for 1 minute and an acidifying agent was introduced							
Расход коагулянта, кг/т каучука Coagulant consumption, kg/t of rubber	10	30	50	70	100	130	150
Выход коагулюма, % Coagulum output, %	78,5	80,8	82,3	85,6	88,5	92,9	95,7
Оценка полноты коагуляции Completeness of coagulation	кнп исс				кп сс		
В латекс вводили коагулирующий агент перемешивали 3 минуты и вводили подкисляющий агент A coagulating agent was injected into the latex, stirred for 3 minutes and an acidifying agent was introduced							
Расход коагулянта, кг/т каучука Coagulant consumption, kg/t of rubber	10	30	50	70	100	130	150
Выход коагулюма, % Coagulum output, %	67,5	83,1	87,5	93,4	95,4	96,0	97,0
Оценка полноты коагуляции Completeness of coagulation	кнп исс			кп сс			
В латекс вводили коагулирующий агент перемешивали 5 минут и вводили подкисляющий агент A coagulating agent was injected into the latex, stirred for 5 minutes and an acidifying agent was introduced							
Расход коагулянта, кг/т каучука Coagulant consumption, kg/t of rubber	10	30	50	70	100	130	150
Выход коагулюма, % Coagulum output, %	59	87,5	82,5	89,0	92,5	94,1	95,7
Оценка полноты коагуляции Completeness of coagulation	кнп исс				кп сс		
В латекс вводили коагулирующий агент перемешивали 7 минут и вводили подкисляющий агент A coagulating agent was injected into the latex, stirred for 7 minutes and an acidifying agent was introduced							
Расход коагулянта, кг/т каучука Coagulant consumption, kg/t of rubber	10	30	50	70	100	130	150
Выход коагулюма, % Coagulum output, %	70,5	82,4	83,2	87,5	88,8	96,5	97,1
Оценка полноты коагуляции Completeness of coagulation	кнп исс				кп сс		
В латекс вводили коагулирующий агент перемешивали 10 минут и вводили подкисляющий агент A coagulating agent was injected into the latex, stirred for 10 minutes and an acidifying agent was introduced							
Расход коагулянта, кг/т каучука Coagulant consumption, kg/t of rubber	10	30	50	70	100	130	150
Выход коагулюма, % Coagulum output, %	79,0	84,5	87,5	89,5	90,2	95,6	95,8
Оценка полноты коагуляции Completeness of coagulation	кнп исс				кп сс		
В латекс вводили коагулирующий агент одновременно с подкисляющим агентом A coagulating agent was injected into the latex simultaneously with an acidifying agent							
Расход коагулянта, кг/т каучука Coagulant consumption, kg/t of rubber	10	30	50	70	100	130	150
Расход серной кислоты кг/т Consumption of sulfuric acid kg/t	15	15	15	15	15	15	15
pH водной фазы pH of the aqueous phase	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Выход коагулюма, % Coagulum output, %	72,1	79,5	81,0	84,4	86,5	89,7	92,9
Оценка полноты коагуляции Completeness of coagulation	кнп исс				кп сс		
Примечание: расход серной кислоты consumption of sulfuric acid - 15 кг/т каучука 15 kg/t of rubber, pH водной фазы (серума) the aqueous phase (serum) - 2,5–2,7; кнп исс – коагуляция неполная incomplete coagulation; кп сс – коагуляция полная complete coagulation.							

Установлено, что продолжительность перемешивания флокулирующей системы после введения раствора хлорида натрия оказывает существенное влияние на протекание процесса выделения каучука, а именно на расход солевого коагулянта, необходимого для достижения полной коагуляции латекса, по концентрационному механизму [19]. Особенность в поведении латексной дисперсии заключается в том, что она приобретает наименьшую стабильность при 3–5 минутной гомогенизации системы с солевым коагулянтом. Вероятнее всего это связано с образованием максимального количества флокул из латексных глобул. Укрупненные агломераты снижают устойчивость латексной дисперсии. Это приводит к уменьшению расхода солевого компонента (хлорида натрия) необходимого для полного выделения каучука из латекса до 70–100 кг/т каучука при дальнейшем подкислении системы водным раствором серной кислоты.

Повышение продолжительности перемешивания до 7–10 минут приводит к восстановлению устойчивости латексной дисперсии, что

может быть связано с распадом образовавшихся агломератов (флокул) с образованием латексных глобул. Это в свою очередь приводит к возрастанию расхода коагулирующего агента (хлорида натрия) до 130–150 кг/т каучука.

Интересные результаты были получены при изучении влияния продолжительности перемешивания на процесс выделения каучука из латекса катионным электролитом. В случае использования в данном процессе катионного электролита – ДМДААХ снижение агрегативной устойчивости дисперсной системы протекает по нейтрализационному механизму (таблица 2). Данный процесс базируется на образовании ионно-солевого комплекса между анионными поверхностно-активными веществами (ПАВ) (защитный слой латексных глобул) с катионным электролитом по реакции:

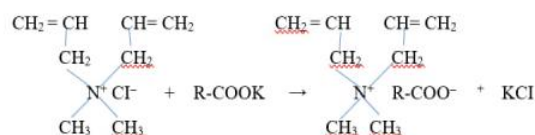


Таблица 2.

Зависимость выхода крошки каучука от расхода N,N-диметил-N,N-диаллиламмонийхлорида и продолжительности перемешивания

Table 2.

Dependence of the yield of the crumb of rubber on the flow rate N,N-dimethyl-N,N-diallylammonium chloride and the duration of mixing

В латекс вводили коагулирующий агент и без временного перемешивания вводили подкисляющий агент A coagulating agent was injected into the latex and an acidifying agent was introduced without temporary mixing							
Расход коагулянта, кг/т каучука Coagulant consumption, kg/t of rubber	1	5	10	15	20	25	30
Выход коагулюма, % Coagulum output, %	57,4	74,6	81,7	87,1	89,3	97,5	97,9
Оценка полноты коагуляции Completeness of coagulation	кнп исс				кп сс		
В латекс вводили коагулирующий агент перемешивали 1 минуту и вводили подкисляющий агент A coagulating agent was injected into the latex, stirred for 1 minute and an acidifying agent was introduced							
Расход коагулянта, кг/т каучука Coagulant consumption, kg/t of rubber	1	5	10	15	20	25	30
Выход коагулюма, % Coagulum output, %	58,0	70,9	82,0	88,6	90,3	96,9	97,1
Оценка полноты коагуляции Completeness of coagulation	кнп исс				кп сс		
В латекс вводили коагулирующий агент перемешивали 3 минуты и вводили подкисляющий агент A coagulating agent was injected into the latex, stirred for 3 minutes and an acidifying agent was introduced							
Расход коагулянта, кг/т каучука Coagulant consumption, kg/t of rubber	1	5	10	15	20	25	30
Выход коагулюма, % Coagulum output, %	56,2	72,1	78,8	84,9	89,5	97,0	97,4
Оценка полноты коагуляции Completeness of coagulation	кнп исс				кп сс		
В латекс вводили коагулирующий агент перемешивали 5 минут и вводили подкисляющий агент A coagulating agent was injected into the latex, stirred for 5 minutes and an acidifying agent was introduced							
Расход коагулянта, кг/т каучука Coagulant consumption, kg/t of rubber	1	5	10	15	20	25	30
Выход коагулюма, % Coagulum output, %	60,5	71,6	77,5	83,3	88,1	96,5	97,0
Оценка полноты коагуляции Completeness of coagulation	кнп исс				кп сс		
В латекс вводили коагулирующий агент перемешивали 10 минут и вводили подкисляющий агент A coagulating agent was injected into the latex, stirred for 10 minutes and an acidifying agent was introduced							
Расход коагулянта, кг/т каучука Coagulant consumption, kg/t of rubber	1	5	10	15	20	25	30
Выход коагулюма, % Coagulum output, %	56,9	69,6	77,1	85,0	90,5	96,2	96,7
Оценка полноты коагуляции Completeness of coagulation	кнп исс				кп сс		

Примечание: расход серной кислоты | consumption of sulfuric acid - 15 кг/т каучука | 15 kg/t of rubber, pH водной фазы (серума) | the aqueous phase (serum) - 2,5–2,7; кнп | исс – коагуляция неполная | incomplete coagulation; кп | сс – коагуляция полная | complete coagulation

Проведенными исследованиями установлено, что при использовании ДМДААХ в процессе выделения каучука СКС-30 АРК из латекса, коагуляция протекает по нейтрализационному механизму (таблица 2) и продолжительность совмещения каучукового латекса с катионным электролитом не оказывает влияния на расход коагулирующего агента. Практически полное выделение каучука (с 96–98%-ным выходом крошки каучука) достигается при расходе ДМДААХ 25 кг/т каучука. Временной фактор контакта катионного реагента с мылами высших карбоновых кислот протекает очень быстро и напоминает общеизвестную реакцию нейтрализации [8].

В дополнение к рассмотрению влияния продолжительности гомогенизации на процесс выделения каучука, в статье также анализировались такие параметры, как изменение вязкости латексной дисперсии после введения коагулирующего агента и тепловой эффект.

Вязкость является важным параметром [20]. Были установлены зависимости, отраженные на рисунках 1–2. По итогам анализа полученных зависимостей можно сделать вывод, что при введении в бутадиен-стирольный латекс хлорида натрия отмечается резкое снижение вязкости латексной дисперсии при увеличении времени перемешивания с одной до трех минут, что объясняется приобретением наименьшей стабильности латексной системы при 3–5 минутной гомогенизации.

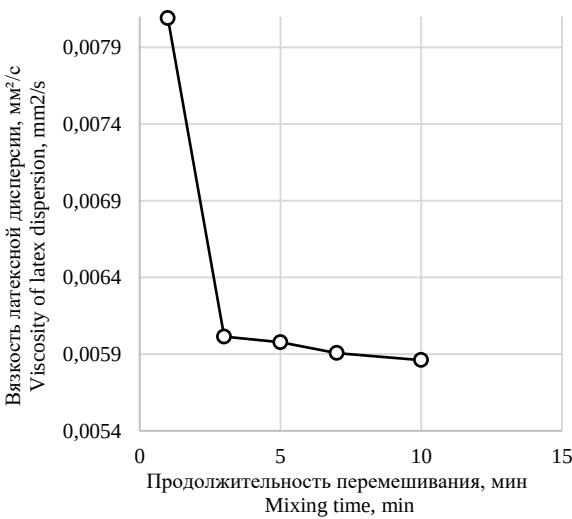


Рисунок 1. Влияние продолжительности перемешивания на изменение вязкости латексной дисперсии (коагулирующий агент – хлорид натрия)

Figure 1. The effect of mixing duration on the change in viscosity of latex dispersion (coagulating agent – sodium chloride)

При этом важно отметить, что при введении в систему ДМДААХ не наблюдается значительного изменения вязкости. Это связано с тем, что в данном случае коагуляция протекает по нейтрализационному механизму и временной фактор не оказывает влияния на процесс.

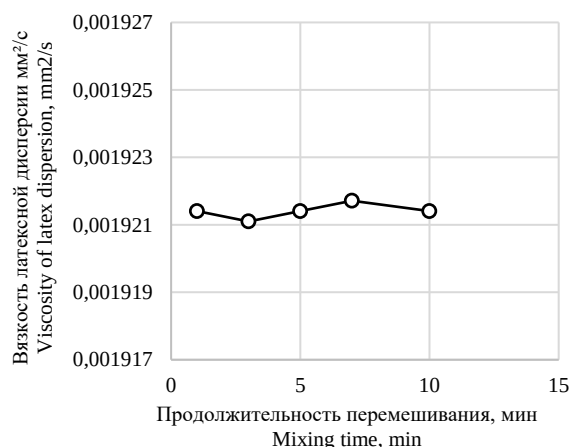


Рисунок 2. Влияние продолжительности перемешивания на изменение вязкости латексной дисперсии (коагулирующий агент – ДМДААХ)

Figure 2. Effect of mixing duration on the change in viscosity of latex dispersion (coagulating agent – DMDAAC)

Тепловой эффект, в свою очередь, связан с изменением внутренней энергии системы при протекании химической реакции или физического процесса. В контексте производства синтетических каучуков, тепловой эффект может влиять на эффективность процесса и энергозатраты.

Установлено, что при введении в латекс солевого коагулянта отмечается повышение температуры за счет выделения тепла. В данном случае протекает экзотермическая реакция сопровождающаяся сжатием диффузных слоев. Температура повышается на 0,3 °С.

При использовании в технологии выделения каучука из латекса ДМДААХ процесс протекает по нейтрализационному механизму. Установлено, что в данном случае процесс сопровождается понижением температуры на 0,2 °С, реакция является эндотермической.

Эти данные указывают на различия в механизме коагуляции в присутствии хлорида натрия и каучука ДМДААХ.

Таким образом, впервые установлено влияние продолжительности гомогенизации системы после введения флокулирующего агента на дестабилизацию латексной дисперсии. Введение солевого компонента (хлорида натрия) в латексную дисперсию приводит к сжатию диффузионных слоев. Данный процесс протекает во времени и требует гомогенизации 3–5 минут. Применение катионного электролита не требует предварительной гомогенизации латексной дисперсии с ним. Процесс нейтрализационной коагуляции протекает с высокой скоростью. Полученные данные имеют как научное, так и практическое значение при разработке технологических схем выделения каучука из латекса.

Заключение

1. Коагуляция с использованием хлорида натрия в качестве коагулянта протекает по концентрационному механизму.

2. Коагуляция с использованием N,N-диметил-N,N-диаллиламмонийхлорида в качестве коагулянта протекает по нейтрализационному механизму и не требует применения временной гомогенизации латексной дисперсии с катионным реагентом.

3. 3–5 минутная гомогенизация латексной дисперсии с солевым компонентом приводит к снижению расхода хлорида натрия после введения серной кислоты до 70–100 кг/т каучука.

4. В случае введения в латекс N,N-диметил-N,N-диаллиламмонийхлорида в качестве коагулянта продолжительность перемешивания латексной дисперсии не влияет на изменение вязкостного показателя системы.

5. Исследования теплового эффекта реакции подчеркивают различия в механизме коагуляции протекающих в присутствии хлорида натрия и N,N-диметил-N,N-диаллиламмонийхлорида: в первом случае происходит повышение температуры, во втором – понижение температуры.

Литература

- 1 Никулина Н.С. и др. Выделение бутадиен-стирольного каучука из латекса гибридным коагулянтом на основе полидиметилдиаллиламмоний хлорида и вязкозного волокна // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2021. Т. 64. №. 6. С. 62-68.
- 2 Proskurina V.E., Kashina E.S., Rakhmatullina A.P. Flocculation of disperse systems by polyfunctional polymer-inorganic hybrids // Известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология». 2022. Т. 65. №. 9. С. 39-46.
- 3 Полевая В.Г. и др. Синтез и свойства поли (1-триметилсилил-1-пропина), содержащего четвертичные аммониевые соли с метильными и этильными заместителями // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 2019. Т. 61. №. 5. С. 377-385.
- 4 Аксёнов В.И., Насыров И.Ш. Производство синтетического каучука в России: анализ итогов за 2022 г. перспективы развития // Промышленное производство и использование эластомеров. 2023. №. 1. С. 3-14.
- 5 Никулина Н.С., Булатецкая Т.М., Патрушева Н.А., Власова Л.А. и др. Перспектива использования при изготовлении маслonaполненных каучуков бисоставного коагулянта меласса-хлорид натрия // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. 2020. № 9.
- 6 Писарева И.А., Никулин С.С., Вострикова Г.Ю. Изучение влияния расхода подкисляющего агента на процесс выделения бутадиен-стирольного каучука из латекса. 2023.

- 7 Черных В.Н. и др. Изучение возможности применения в производстве эмульсионных каучуков неорганических солей аммония // Современные проблемы науки и образования. 2020. С. 75-76.
- 8 Мансураева Л.М., Юсупова И.И., Булаев С.А. Поверхностно-активные вещества: свойства и применение // Вестник магистратуры. 2022. №. 2-1 (125). С. 30-35.
- 9 Аксёнов В.И., Золотарев В.Л. Производство синтетического каучука в РФ в 2018 году и за последние десять лет. Краткие итоги // Каучук и резина. 2019. Т. 78. №. 2. С. 78-87.
- 10 Linkova T.S., Shumbutov D.E. The Innovative Development of the Production of Synthetic Rubber and Car Tire // Industry Competitiveness: Digitalization, Management, and Integration: Volume 2. Springer International Publishing, 2021. P. 9-17.
- 11 Седых В.А., Карманова О.В., Королева Е.В. Модификация бутадиен-нитрильного каучука на стадии его выделения // Вестник ВГУИТ. оронезского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. №. 3 (77). С. 323-329.
- 12 Черных В.Н. Экологический аспект технологии получения синтетических каучуков // Молодежь и научно-технический прогресс. 2021. С. 592-593.
- 13 Байголова М.А. Влияние структуры ионных жидкостей на основе четвертичных солей аммония на их физико-химические свойства // XXIX Российская молодежная научная конференция «Проблемы теоретической и экспериментальной химии». Екатеринбург, Издательство Уральского университета, 2019. С. 335-335.
- 14 Черных В.Н. Перспективные коагулянты для производства эмульсионных каучуков // Современные проблемы науки и образования. 2020. С. 121-122.
- 15 Усманова А.Д. Подбор коагулянта, как усовершенствование процесса в синтезе каучука из латекса // Экспериментальная наука: механизмы, трансформации. 2024. С. 42.
- 16 Никулин С.С. и др. Особенности поведения органических солей аммония при выделении каучука из латекса // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2020.Т. 63. №. 3. С. 75-81.
- 17 Ng J.W., Othman N., Yusof N.H. Various coagulation techniques and their impacts towards the properties of natural rubber latex from *Hevea brasiliensis*—a comprehensive review related to tyre application // Industrial Crops and Products. – 2022. V. 181. P. 114835.
- 18 Овчаренко С.Р. и др. Использование комбинированных коагулянтов в производстве эмульсионных каучуков // Ответственный за выпуск. 2022. С. 263.
- 19 Sun H. et al. The influence of particle size and concentration combined with pH on coagulation mechanisms // Journal of Environmental Sciences. 2019. V. 82. P. 39-46.
- 20 Габоян А.В. и др. Рассмотрение возможности применения карбамида в процессе выделения каучуков из латексов // Промышленное производство и использование эластомеров. 2022. №. 1. С. 29-34.

References

- 1 Nikulina N.S. et al. Isolation of styrene-butadiene rubber from latex by a hybrid coagulant based on polydimethyldiallylammonium chloride and viscose fiber. News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology. 2021. vol. 64. no. 6. pp. 62-68. (in Russian).
- 2 Proskurina V. E., Kashina E. S., Rakhmatullina A. P. Flocculation of disperse systems by polyfunctional polymer-inorganic hybrids. Izvestiya higher educational institutions. series "Chemistry and chemical technology". 2022. vol. 65. no. 9. pp. 39-46.
- 3 Poleyeva V.G. et al. Synthesis and properties of poly (1-trimethylsilyl-1-propyne) containing quaternary ammonium salts with methyl and ethyl substituents. High molecular weight compounds. Series B. 2019. vol. 61. no. 5. pp. 377-385. (in Russian).
- 4 Aksenov V. I., Nasyrov I. S. Synthetic rubber production in Russia: analysis of the results for 2022. development prospects. Industrial production and use of elastomers. 2023. no. 1. pp. 3-14. (in Russian).
- 5 Nikulina N.S., Bulatetskaya T.M., Patrusheva N.A., Vlasova L.A., Sannikova N.Yu., Nikulin S.S. The prospect of using molasses-sodium chloride bicomposite coagulant in the manufacture of oil-filled rubbers. Bulletin of the BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. no. 9. (in Russian).
- 6 Pisareva I.A., Nikulin S.S., Vostrikova G.Yu. Studying the effect of the consumption of an acidifying agent on the process of separating styrene-butadiene rubber from latex. 2023. (in Russian).
- 7 Chernykh V.N. et al. Study of the possibility of using inorganic ammonium salts in the production of emulsion rubbers. Modern problems of science and education. 2020. pp. 75-76. (in Russian).
- 8 Mansuraeva L.M., Yusupova I.I., Bulaev S.A. Surfactants: properties and applications. Bulletin of the Magistracy. 2022. no. 2-1 (125). pp. 30-35. (in Russian).
- 9 Aksenov V.I., Zolotarev V.L. Synthetic rubber production in the Russian Federation in 2018 and over the past ten years. Summary results. Rubber and rubber. 2019. vol. 78. no. 2. pp. 78-87. (in Russian).
- 10 Linkova T.S., Shumbutov D.E. The Innovative Development of the Production of Synthetic Rubber and Car Tire. Industry Competitiveness: Digitalization, Management, and Integration: Volume 2. Springer International Publishing, 2021. pp. 9-17.
- 11 Sedykh V.A., Karmanova O.V., Koroleva E.V. Modification of butadiene-nitrile rubber at the stage of its isolation. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2018. vol. 80. no. 3 (77). pp. 323-329. (in Russian).
- 12 Chernykh V.N. Ecological aspect of synthetic rubber production technology. Youth and scientific and technical progress. 2021. pp. 592-593. (in Russian).
- 13 Baigolova M.A. The influence of the structure of ionic liquids based on quaternary ammonium salts on their physico-chemical properties. XXIX Russian Youth Scientific Conference "Problems of theoretical and experimental chemistry". Yekaterinburg, Ural University Publishing House, 2019. pp. 335-335. (in Russian).
- 14 Chernykh V.N. Promising coagulants for the production of emulsion rubbers. Modern problems of science and education. 2020. pp. 121-122. (in Russian).
- 15 Usmanova A.D. Selection of a coagulant as an improvement of the process in the synthesis of rubber from latex. Experimental science: mechanisms, transformations. 2024. pp. 42. (in Russian).

16 Nikulin S.S. et al. Features of the behavior of organic ammonium salts in the separation of rubber from latex. News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology. 2020. vol. 63. no. 3. pp. 75-81. (in Russian).

17 Ng J.W., Othman N., Yusof N.H. Various coagulation techniques and their impacts towards the properties of natural rubber latex from Hevea brasiliensis a comprehensive review related to tyre application. Industrial Crops and Products. 2022. vol. 181. pp. 114835.

18 Ovcharenko S.R. et al. Usage combined coagulants in the production of emulsion rubbers. Responsible for the issue. 2022. pp. 263. (in Russian).

19 Sun H. et al. The influence of particle size and concentration combined with pH on coagulation mechanisms. Journal of Environmental Sciences. 2019. vol. 82. pp. 39-46.

20 Gaboyan A.V. et al. Consideration of the possibility of using carbamide in the process of separating rubbers from latex. Industrial production and use of elastomers. 2022. no. 1. pp. 29-34. (in Russian).

Сведения об авторах

Елена А. Моргачева ассистент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lena_morgacheva@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0001-0954-9978>

Инна Н. Пугачева д.т.н., заведующий кафедрой, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, eco-inna@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5850-2861>

Наталья Ю. Санникова к.х.н., доцент, кафедра технологии органических соединений и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, cnu@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5583-2563>

Сергей С. Никулин д.т.н., профессор, кафедра технологии органических соединений и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nikulin.nikuli@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8141-8008>

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 A. Morgacheva assistant, industrial ecology and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lena_morgacheva@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0001-0954-9978>

Inna N. Pugacheva Dr. Sci. (Engin.), head of department, industrial ecology and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, eco-inna@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5850-2861>

Natal'ya Yu. Sannikova Dr. Sci. (Chem.), associate professor, industrial ecology and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, cnu@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5583-2563>

Sergej S. Nikulin Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of organic compounds and polymer processing department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nikulin.nikuli@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8141-8008>

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 15/07/2024	После редакции 12/08/2024	Принята в печать 02/09/2024
Received 15/07/2024	Accepted in revised 12/08/2024	Accepted 02/09/2024

Перспективный коагулянт для производства эмульсионных каучуков

Елена А. Моргачева ¹	lena_morgacheva@mail.ru	 0009-0001-0954-9978
Анна В. Мякишева ¹	annamakise-va01@gmail.com	 0009-0007-0559-6615
Инна Н. Пугачева ¹	eco-inna@ya.ru	 0000-0001-5850-2861
Сергей С. Никулин ¹	nikulin.nikuli@ya.ru	 0000-0002-8141-8008

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

Аннотация. В статье приведены исследования о возможности применения гидрохлорида циануротриамида в технологии получения эмульсионных каучуков в качестве коагулирующего агента. С увеличением спроса на полимерные изделия возникает необходимость в усовершенствовании технологий их производства, что позволяет повысить эффективность процессов и снизить издержки. Однако существующая технология выделения каучука из латекса, основанная на использовании хлорида натрия, имеет значительные недостатки: высокие материалоемкость и водопотребление, а также экологические риски из-за загрязнения сточных вод. В связи с этим исследуются альтернативные коагулянты, которые могут заменить солевые агенты, при этом оставаясь эффективными и экономически целесообразными. Одним из перспективных решений является использование циануротриамида (ЦТА), который обладает хорошими коагулирующими свойствами и низкой стоимостью. Показано, что при увеличении расхода коагулянта наблюдается повышение массы образующейся крошки каучука. Установлено, что при использовании такого коагулянта процесс выделения каучука из латекса протекает без применения подкисляющего агента. Исследованные вулканизаты, полученные из каучука, выделенного с использованием ЦТА, соответствуют требованиям по физико-механическим свойствам и сопоставимы с образцами, полученными на основе хлорида натрия. Таким образом, соль ЦТА представляет собой перспективный коагулирующий агент для технологии получения эмульсионных каучуков, обеспечивая экологические преимущества и высокую эффективность процесса.

Ключевые слова: латекс, эмульсионный каучук, гидрохлорид циануротриамида, коагулянт, коагуляция.

A promising coagulant for the production of emulsion rubbers

Elena A. Morgacheva ¹	lena_morgacheva@mail.ru	 0009-0001-0954-9978
Anna V. Myakisheva ¹	annamakise-va01@gmail.com	 0009-0007-0559-6615
Inna N. Pugacheva ¹	eco-inna@ya.ru	 0000-0001-5850-2861
Sergej S. Nikulin ¹	nikulin.nikuli@ya.ru	 0000-0002-8141-8008

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

Abstract. The article presents studies on the possibility of using cyanurotriamide hydrochloride in the technology of producing emulsion rubbers as a coagulating agent. With the increasing demand for polymer products, there is a need to improve their production technologies, which makes it possible to increase the efficiency of processes and reduce costs. However, the existing technology for separating rubber from latex, based on the use of sodium chloride, has significant disadvantages: high material consumption and water consumption, as well as environmental risks due to wastewater pollution. In this regard, alternative coagulants are being investigated that can replace salt agents, while remaining effective and economically feasible. One of the promising solutions is the use of cyanurotriamide (CTA), which has good coagulating properties and low cost. It is shown that with an increase in the consumption of coagulant, an increase in the mass of the resulting rubber crumbs is observed. It has been established that when using such a coagulant, the process of separating rubber and latex proceeds without the use of an acidifying agent. The studied vulcanizates obtained from rubber isolated using CTA meet the requirements for physical and mechanical properties and are comparable with samples obtained on the basis of sodium chloride. Thus, CTA salt is a promising coagulating agent for the technology of producing emulsion rubbers, providing environmental benefits and high process efficiency.

Keywords: latex, emulsion rubber, cyanurotriamide hydrochloride, coagulant, coagulation.

Введение

В настоящее время одной из стратегических задач является наращивание мощностей различных отраслей промышленности, и усиление курса на импортозамещение. Эта задача является актуальной и для промышленности полимерных материалов, объемы потребления которых

непрерывно растет [21]. Высокий спрос на такую продукцию требует постоянного усовершенствования технологий их производства [17]. Внедрение новых технологических решений способствует повышению эффективности производственных процессов, сокращению издержек на материальные ресурсы и энергию,

Для цитирования

Моргачева Е.А., Мякишева А.В., Пугачева И.Н., Никулин С.С. Перспективный коагулянт для производства эмульсионных каучуков // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 244–249. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-244-249

For citation

Morgacheva E.A., Myakisheva A.V., Pugacheva I.N., Nikulin S.S. A promising coagulant for the production of emulsion rubbers. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 244–249. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-244-249

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

а также расширению ассортимента выпускаемой продукции. В то же время каучуки получаемый эмульсионной полимеризацией являются одними из востребованных, поскольку обладают комплексом уникальных свойств [18]. Такие каучуки широко используются для производства композиционных материалов и резинотехнических изделий [1–3]. Поэтому поиск новых решений, в области совершенствования технологии их получения продолжается до сих пор. Однако, несмотря на это технологическая схема их производства, применяемая в промышленных масштабах, далека от идеальной, и имеет ряд недостатков [19]. Таким недостатком является то, что одна из стадий процесса, а именно выделение каучука из латекса обладает высокой материалоемкостью и энергоемкостью [11], большим водопотреблением и несет в себе экологические риски.

Это связано с тем, что и до настоящего времени в промышленных масштабах используется для выделения каучука из латекса раствор хлорида натрия [13]. Его расход достигает 200 кг/т каучука. Водная фаза, образующаяся после выделения каучука из латекса, содержащая в себе остатки коагулирующего агента (хлорида натрия) и компонентов эмульсионной системы (лейканол) сбрасывается на очистные сооружения. Эти вещества не удаляются из сточных вод, и далее загрязненные сточные воды попадают в природные водоемы, нанося непоправимый экологический ущерб. Поэтому непрерывно проводятся поисковые исследования по замене солевых коагулирующих агентов на вещества, обладающие невысокой стоимостью, высокой коагулирующей эффективностью, и которые биоразлагаемы [22].

В литературных источниках был предложен ряд органических соединений, содержащих азот [4, 12]. При этом было отмечено, что наилучшей коагулирующей способностью обладают полимерные соединения включающие в свой состав четвертичные соли аммония, такие как: ВПК-402, суперфлок, нитрофлок и др [5, 20]. Расход таких коагулянтов в расчете на 1 т каучука находится на невысоком уровне (2–3 кг/т каучука). Однако эти полимерные катиониты обладают высокой стоимостью и не могут быть использованы в некоторых технологических процессах получения эмульсионных каучуков виду особенности их технологии.

В связи с этим актуальными в этом плане могут быть другие органические азотосодержащие соединения, например, циануротриамид (ЦТА), который широко используется при производстве клеев, меламиноформальдегидные смолы, используемые в деревообрабатывающей промышленности [6, 7]. ЦТА не обладает дефицитностью и широко используется в химической

промышленности (производство полимерных изделий, сантехники, посуды из искусственного фарфора, электрооборудования, пресс-композиций с различными наполнителями др.).

Цель работы – изучение возможности применения циануротриамида в технологии получения эмульсионных каучуков.

Материалы и методы

ЦТА представляет собой белые кристаллы, малорастворимые в воде (0,5% по массе при 20 °С, 4% при 90 °С). Вещество является слабым основанием, которое при взаимодействии с кислотами образует комплексные соли, разлагающиеся при нагреве [8]. Необходимо отметить, что для применения ЦТА в производстве эмульсионных каучуков необходимо применять соль на его основе ($C_3H_6N_6 \times HCl$).

Для проведения эксперимента использовали латекс бутадиен-стирольного каучука марки СКС-30 АРК, выпускаемого в промышленных масштабах. Его характеристика представлена в таблице 1.

Таблица 1.
Характеристики латекса бутадиен-стирольного каучука марки СКС-30АРК

Table 1.
Characteristics of styrene-butadiene rubber latex grade SKS-30ARK

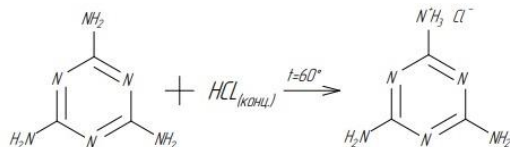
Показатель Indicator	Значение Value
Сухой остаток, % Dry residue, %	20,0–22,0
Поверхностное натяжение σ , мН/м Surface tension σ , mN/m	54,0–57,0
рН латекса Latex pH	9,5–10,0
Размер латексных частиц r , нм The size of latex particles r , nm	40–65
Содержание связанного стирола, % Content of bound styrene, %	22,0–23,5

Результаты

Процесс выделения каучука из латекса осуществляли согласно общепринятой методике [9]. В качестве коагулирующего агента использовали раствор на основе соли ЦТА, латекс СКС – 30АРК (сухой остаток 20% мас.), в качестве подкисляющего агента – водный раствор серной кислоты (2% мас.).

Учитывая тот факт, что ЦТА слаборастворим в воде были проведены исследования по изучению его растворимости при повышенных температурах с целью получения его раствора в воде (2% мас.). Выявлено, что повышение температуры до 80 °С не приводит к получению водного раствора ЦТА. Поэтому для повышения его растворимости в водную дисперсию ЦТА была добавлена концентрированная соляная кислота, которая обеспечивала поддержание кислого значения рН в дисперсии ЦТА (рН~1).

Однако при таком подкислении соляной кислотой растворимость ЦТА не была достигнута, поскольку процесс проводили при невысокой температуре (20 °С). Для достижения полной растворимости солянокислого ЦТА температура раствора была повышена до 60 °С. Только в этом случае была достигнута полная растворимость соли ЦТА. Образование соли ЦТА протекало по следующей реакции:



В связи с этим, для дальнейших исследований процесса выделения каучука из латекса в присутствии водного раствора соли ЦТА, ее применяли при температуре 60 °С.

Коагуляцию бутадиен-стирольного латекса СКС-30 АРК осуществили следующим образом [14]. В емкость для коагуляции загружали 10 г латекса и помещали в термостат для поддержания заданной температуры. После выхода на температурный режим в латекс вводили заданное количество водного раствора соли ЦТА с концентрацией 2% мас. Смесь гомогенизировали в течение 1–2 мин после чего вводили раствор подкисляющего агента (2% водный раствор серной кислоты). pH коагулируемой системы составлял 1–2. Образующуюся крошку каучука отделяли от водной фазы – серума, промывали водой и обезвоживали в сушильном агрегате при температуре 82–85 °С.

Обсуждение

Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты экспериментов по выделению каучука из латекса солью ЦТА

Table 2.

Results of experiments on the isolation of rubber from latex using CTA salt

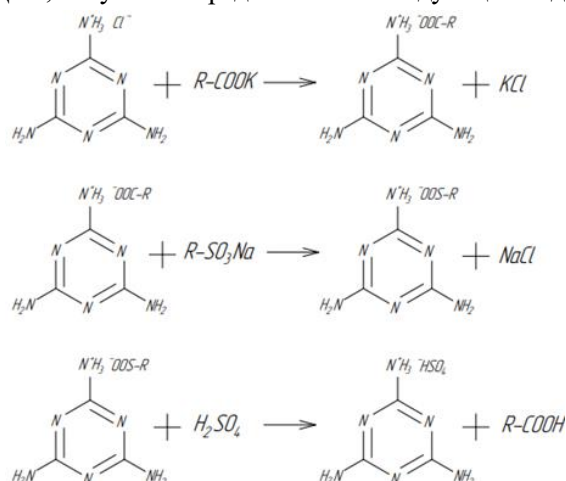
Коагулянт Coagulant	ЦТА (подкисленный HCl) CTA (acidified HCl)				ЦТА (acidified HCl)			
Температура коагуляции Coagulation temperature	20 °C							
Расход коагулянта, кг/т каучука Coagulant consumption, kg/t of rubber	1	5	10	20	25	30	35	
Расход H ₂ SO ₄ , кг/т каучука Consumption of H ₂ SO ₄ , kg/t of rubber	15	15	15	15	15	15	15	
Выход крошки каучука, % Rubber crumb yield, %	10,1	25,8	35,3	57,05	95,2	95,7	96,0	
Оценка полноты реакции Completeness of the reaction	кнп исс				кп сс			
Вид коагулянта Type of coagulant	ЦТА (подкисленный HCl) CTA (acidified HCl)				ЦТА (acidified HCl)			
Температура коагуляции Coagulation temperature	20 °C							
Расход коагулянта, кг/т каучука Coagulant consumption, kg/t of rubber	1	5	10	20	25	30	35	
Расход H ₂ SO ₄ , кг/т каучука Consumption of H ₂ SO ₄ , kg/t of rubber	-							
Выход крошки каучука, % Rubber crumb yield, %	5,8	21,7	41,7	48,2	96,7	97,0	98,4	
Оценка полноты реакции completeness of the reaction	кнп исс				кп сс			
Температура коагуляции Coagulation temperature	ЦТА (подкисленный HCl) CTA (acidified HCl)				ЦТА (acidified HCl)			
Расход коагулянта, кг/т каучука Coagulant consumption, kg/t of rubber	60 °C							
Расход H ₂ SO ₄ , кг/т каучука Consumption of H ₂ SO ₄ , kg/t of rubber	1	5	10	20	30	35	40	
Выход крошки каучука, % Rubber crumb yield, %	15	15	15	15	15	15	15	
Оценка полноты реакции Completeness of the reaction	15,3	22,9	34,2	46,5	88,8	95,3	95,8	
Вид коагулянта Type of coagulant	кнп исс				кп сс			

Примечание: кнп | исс – коагуляция неполная | incomplete coagulation; кп | сс – коагуляция полная | complete coagulation.

Анализ экспериментальных данных показал, что масса выделяемой крошки каучука возрастает с повышением расхода коагулянта, а практически полное выделение каучука из латекса достигается при расходе соли ЦТА 25 кг/т каучука и температуре 20 °С. При этом необходимо отметить, что создание высоко кислой среды в катионном коагулянте позволило исключить применение в качестве подкисляющего агента водного раствора серной кислоты. В то же время отсутствие подкисляющего агента в процессе выделения каучука из латекса, не отражается на расходе катионного коагулянта. Полнота выделения каучука из латекса достигалась при 25 кг/т каучука.

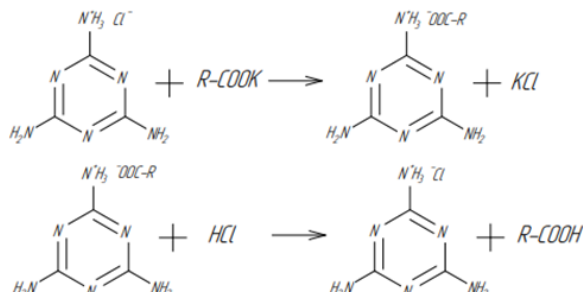
Повышение температуры коагуляционного процесса до 60 °С приводит к повышению расхода катионного коагулянта до 35 кг/т каучука.

Химические процессы, протекающие при выделении каучука из латекса в присутствии соли ЦТА, могут быть представлены в следующем виде:



В процессе выделения каучука из латекса образуются высшие карбоновые кислоты и серноокислая соль катионного электролита. В то же время соль ЦТА и лейкол может входить в состав образующейся крошки каучука.

Реакция процесса коагуляции, в отсутствии подкисляющего агента (H_2SO_4) имеет вид:



Учитывая тот факт, что среда водного раствора катионного электролита высоко кислая, то образующиеся ионно-солевые комплексы под действием соляной кислоты будут распадаться с выделением высшей карбоновой кислоты (основой анионного ПАВ) и возникновением соли – гидрохлорида катионного электролита.

Кроме данного взаимодействия в кислой среде будет протекать реакция между анионными ПАВ и соляной кислотой с выделением высших карбоновых кислот и хлорида калия или натрия [15].

После отделения водной фазы (серума) от крошки каучука она может быть направлена на приготовления раствора коагулирующего агента. Такой технологический прием позволит снизить потребление воды необходимой для приготовления растворов коагулянта и подкисляющего агента.

Применение в качестве коагулирующего агента соли катионного электролита позволяет

связать в комплекс гепатогенный реагент, используемый для повышения стабильности латексной дисперсии – лейкол, и тем самым снизить загрязнение сбрасываемых сточных вод цехами, производящими эмульсионные каучуки [16].

Далее на основе каучука, выделенного из латекса в присутствии соли ЦТА, были изготовлены приготовлены резиновые смеси и вулканизаты по стандартной методике с использованием общепринятых ингредиентов [10]. Анализ физико-механических показателей таких вулканизатов выявил, что они обладают требуемым комплексом свойств и соотносятся с вулканизатами, полученным на основе каучука, выделенного из латекса в присутствии хлорида натрия (стандартный образец).

Заключение

Соли ЦТА являются перспективными коагулирующими агентами, которые можно применять в технологии получения эмульсионных каучуков. Полная растворимость гидрохлорида ЦТА в воде достигается при 60 °С.

Установлено, что протекание процесса полной коагуляции возможно без применения подкисляющего агента (водного раствора серной кислоты), что связано с предварительным подкислением ЦТА соляной кислотой. Одним из преимуществ использования такого коагулянта является то, что в процессе выделения каучука из латекса, лейкол может войти в состав выделяемой крошки каучука, что предотвращает его попадание в сточные воды предприятия, и уменьшает негативное воздействие на окружающую среду. Вулканизаты, изготовленные на основе каучуков, полученных в присутствии такого коагулянта, по основным показателям соответствуют предъявляемым требованиям.

Литература

- Никулин С.С. и др. Обеспечение техносферной безопасности при производстве эмульсионных каучуков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. 2022. №. 8. С. 85-91.
- Аксёнов В.И., Насыров И.Ш. Производство синтетического каучука в России: анализ итогов за 2022 г. перспективы развития // Промышленное производство и использование эластомеров. 2023. №. 1. С. 3-14.
- Шашок Ж.С., Усс Е.П. Технология эластомерных материалов. Ингредиенты резиновых смесей. 2019.
- Санникова Н.Ю. и др. Изучение влияния азотсодержащих отходов пищевого производства на процесс выделения эмульсионных каучуков из латекса. 2022.
- Кузнецов В.А. Практикум по высокомолекулярным соединениям: учебное пособие. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2014. 166 с.
- Миронович Л.М. Гетероциклические соединения с тремя и более гетероатомами: учебное пособие для вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 186 с.
- Ровкина Н.М., Ляпков А.А. Химия и технология полимеров. Получение полимеров методами поликонденсации и полимер аналогичных превращений. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 241 с.
- Журавлева Л.Н. Технология клееных материалов и древесных плит. Раздел «Синтетические клеи». Красноярск: СибГТУ, 2013. 68 с.
- Булатецкая Т.М. и др. Масляно-олигомерный наполнитель в производстве синтетических каучуков // Современные материалы и технологии. 2020. С. 42-44.
- Мансураева Л.М., Юсупова И.И., Булаев С.А. Поверхностно-активные вещества: свойства и применение // Вестник магистратуры. 2022. №. 2-1 (125). С. 30-35.
- Никулина Н.С. и др. Выделение эмульсионных каучуков из латекса с применением серноокислых солей // Тенденции развития науки и образования. 2018. №. 34-4. С. 17-19.

Байголова М.А. Влияние структуры ионных жидкостей на основе четвертичных солей аммония на их физико-химические свойства // XXIX Российская молодежная научная конференция «Проблемы теоретической и экспериментальной химии». Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2019. С. 335-335.

Невинская А.А., Волкова Д.В. Закономерности выделения бутадиен-стирольного каучука из латекса полиамфолитами на основе N, N-диаллил-N, N-диметиламмоний хлорида. 2024.

Никулина Н.С. и др. Снижение агрегативной устойчивости эмульсионного бутадиен-стирольного каучука с использованием ароматических аминов // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2022. Т. 65. №. 9. С. 74-80.

Черных В.Н., Пугачева И.Н., Молоканова Л.В. Совершенствование технологии получения бутадиен-стирольных каучуков // Приоритетные направления развития науки и технологии: материалы международной научно-практической конференции. Тула. 2021. С. 157-160.

Черных В.Н. Экологический аспект технологии получения синтетических каучуков // Молодежь и научно-технический прогресс. 2021. С. 592-593.

Мякишева А.В. Перспективность применения при выделении бутадиен-стирольного каучука из латекса меламина. 2024.

Писарева И.А., Никулин С.С., Вострикова Г.Ю. Изучение влияния расхода подкисляющего агента на процесс выделения бутадиен-стирольного каучука из латекса. 2023.

Габоян А.С. и др. Перспектива применения аминокислотной кислоты в производстве эмульсионных каучуков // Промышленное производство и использование эластомеров. 2022. №. 3-4. С. 7-11.

Фам К.Д. и др. Коагуляция латекса натурального каучука поли-N,N'-диаллил-N,N'-диметиламмоний хлоридом // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2017. №. 3. С. 70-74.

Ng J.W., Othman N., Yusof N.H. Various coagulation techniques and their impacts towards the properties of natural rubber latex from *Hevea brasiliensis*—a comprehensive review related to tyre application // Industrial Crops and Products. 2022. V. 181. P. 114835.

Hou G. et al. Effect of the structural characteristics of solution styrene-butadiene rubber on the properties of rubber composites // Journal of Applied Polymer Science. 2018. V. 135. №. 24. P. 45749.

References

Nikulin S.S. et al. Ensuring technosphere safety in the production of emulsion rubber. Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2022. no. 8. pp. 85-91. (in Russian).

Aksyonov V.I., Nasyrov I.Sh. Production of synthetic rubber in Russia: analysis of the results for 2022. Development prospects. Industrial production and use of elastomers. 2023. no. 1. pp. 3-14. (in Russian).

Shashok Zh.S., Uss E.P. Technology of elastomeric materials. Ingredients of rubber compounds. 2019.

Sannikova N.Yu. et al. Study of the influence of nitrogen-containing waste from food production on the process of isolation of emulsion rubbers from latex. 2022. (in Russian).

Kuznetsov V.A. Practical training in high-molecular compounds: a tutorial. Voronezh, VSU Publishing House, 2014. 166 p. (in Russian).

Mironovich L.M. Heterocyclic compounds with three or more heteroatoms: a tutorial for universities. St. Petersburg, Lan, 2022. 186 p. (in Russian).

Rovkina N.M., Lyapkov A.A. Chemistry and technology of polymers. Obtaining polymers by polycondensation methods and polymer analogous transformations. St. Petersburg, Lan, 2022. 241 p. (in Russian).

Zhuravleva L.N. Technology of glued materials and wood boards. Section "Synthetic adhesives". Krasnoyarsk, SibSTU, 2013. 68 p. (in Russian).

Bulatetskaya T.M. et al. Oil-oligomer filler in the production of synthetic rubbers. Modern materials and technologies. 2020. pp. 42-44. (in Russian).

Mansuraeva L.M., Yusupova I.I., Bulaev S.A. Surfactants: properties and application. Bulletin of the Magistracy. 2022. no. 2-1 (125). pp. 30-35. (in Russian).

Nikulina N.S. et al. Isolation of emulsion rubbers from latex using sulfate salts. Trends in the development of science and education. 2018. no. 34-4. pp. 17-19. (in Russian).

Baygolova M.A. Effect of the structure of ionic liquids based on quaternary ammonium salts on their physicochemical properties. XXIX Russian youth scientific conference "Problems of theoretical and experimental chemistry". Ekaterinburg, Ural University Publishing House, 2019. pp. 335-335. (in Russian).

Nevinskaya A.A., Volkova D.V. Regularities of the release of styrene-butadiene rubber from latex by polyampholytes based on N, N-diallyl-N, N-dimethylammonium chloride. 2024. (in Russian).

Nikulina N.S. et al. Reduction of the aggregation stability of emulsion styrene-butadiene rubber using aromatic amines. News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology. 2022. vol. 65. no. 9. pp. 74-80. (in Russian).

Chernykh V.N., Pugacheva I.N., Molokanova L.V. Improving the technology of producing styrene-butadiene rubbers. Priority areas of science and technology development: materials of the international scientific and practical conference. Tula, 2021. pp. 157-160. (in Russian).

Chernykh V.N. Environmental aspect of the technology of producing synthetic rubbers. Youth and scientific and technical progress. 2021. pp. 592-593. (in Russian).

Myakisheva A.V. Prospects of using melamine in the isolation of styrene-butadiene rubber from latex. 2024. (in Russian).

Pisareva I.A., Nikulin S.S., Vostrikova G.Yu. Study of the influence of acidifying agent consumption on the process of separation of butadiene-styrene rubber from latex. 2023. (in Russian).

Gaboyan A.S. et al. Prospects for the use of aminoacetic acid in the production of emulsion rubbers. Industrial production and use of elastomers. 2022. no. 3-4. pp. 7-11. (in Russian).

Fam K.D. et al. Coagulation of natural rubber latex with poly-N,N'-diallyl-N,N'-dimethylammonium chloride // Bulletin of the Volgograd State Technical University. 2017. no. 3. pp. 70-74. (in Russian).

Ng J.W., Othman N., Yusof N.H. Various coagulation techniques and their impacts towards the properties of natural rubber latex from *Hevea brasiliensis*—a comprehensive review related to tyre application. *Industrial Crops and Products*. 2022. vol. 181. pp. 114835.

Hou G. et al. Effect of the structural characteristics of solution styrene–butadiene rubber on the properties of rubber composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 2018. vol. 135. no. 24. pp. 45749.

Сведения об авторах

Елена А. Моргачева ассистент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lena_morgacheva@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0001-0954-9978>

Анна В. Мякишева студент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, annamakise-va01@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0007-0559-6615>

Инна Н. Пугачева д.т.н., заведующий кафедрой, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, eco-inna@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5850-2861>

Сергей С. Никулин д.т.н., профессор, кафедра технологии органических соединений и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия индекс, страна), nikulin.nikuli@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8141-8008>

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 A. Morgacheva assistant, industrial ecology and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lena_morgacheva@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0001-0954-9978>

Anna V. Myakisheva student, industrial ecology and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, annamakise-va01@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0007-0559-6615>

Inna N. Pugacheva Dr. Sci. (Engin.), head of department, industrial ecology and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, eco-inna@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5850-2861>

Sergej S. Nikulin Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of organic compounds and polymer processing department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nikulin.nikuli@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8141-8008>

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 16/07/2024	После редакции 07/08/2024	Принята в печать 28/08/2024
Received 16/07/2024	Accepted in revised 07/08/2024	Accepted 28/08/2024

Уменьшение потерь исходного реактанта н-гексана с товарным изомеризатом

Сергей В. Попов¹ svpopov2018@ya.ru  0000-0003-0533-9049
Даниэл Г. Осипян¹ svpopov2018@ya.ru .

¹ Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5,
г. Новокуйбышевск, 446200, Россия

Аннотация. Процессы изомеризации парафиновых углеводородов обеспечивают снижение содержания ароматических и низкооктановых углеводородов в автомобильных бензинах. Октановое число товарного изомеризата, используемого при компаундировании в бензинах, зависит от чёткости разделения компонентов реакционной массы изомеризации, в частности присутствие в ней не превращённых реактантов приводит к снижению октанового числа и потере этих компонентов сырья. В товарном изомеризате типовой установки низкотемпературной изомеризации лёгкой бензиновой фракции ПГИ-ДИГ вместе с целевыми продуктами содержатся низкоразветвленные и сырьевые нормальные углеводороды, в частности присутствует н-гексан, ухудшающий качество товарного изомеризата из-за его низкого октанового числа (ОЧИ=25). Одним из потоков технологической схемы, формирующим товарный изомеризат с установки, является кубовый продукт колонны деизогексанизатора, содержание н-гексана в котором составляет до 3,5% масс., поэтому в промышленных условиях целесообразно его извлечение из кубового продукта деизогексанизатора с последующим рециркулированием в сырьевой поток. В работе предлагается изменение технологической схемы установки низкотемпературной изомеризации с целью уменьшения потерь сырьевых углеводородов с товарным изомеризатом путём включения в неё дополнительной ректификационной колонны Кдоп. Исследования выполнены с использованием моделирующей программы Unisim Design. Выполненными расчётами получены целесообразные технологические режимы работы и конструкционные параметры колонны Кдоп: количество одно-поточных клапанных тарелок равно 30, давление в колонне Рниз = 160кПа и Рверх = 110кПа, температура в ребойлере и конденсаторе 102,4 и 81,3 °С соответственно, флегмовое число R=2,5. Включение дополнительной ректификационной колонны Кдоп в типовую технологическую схему обеспечивает уменьшение потерь н-гексана с товарным изомеризатом на 1,78 % с одновременным увеличением его октанового числа на величину до 2,4 пункта.

Ключевые слова: изомеризация, ректификационная колонна, октановое число, моделирование, UniSim Design

Reduction of losses of the initial n-hexane reactant with commercial isomerizate

Sergey V. Popov¹ svpopov2018@ya.ru  0000-0003-0533-9049
Daniel G. Osipyan¹ svpopov2018@ya.ru .

¹ Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia

Abstract. The isomerization processes of paraffin hydrocarbons ensure a reduction in the content of aromatic and low-octane hydrocarbons in gasoline. The octane number of the commercial isomerizate used in compounding in gasoline depends on the clarity of separation of the components of the isomerization reaction mass, in particular, the presence of non-converted reactants in it leads to a decrease in the octane number and loss of these raw material components. The commercial isomerization unit of a typical low-temperature isomerization unit of the light gasoline fraction PGI-DIG, together with the target products, contains low-branched and raw normal hydrocarbons, in particular, n-hexane is present, which degrades the quality of the commercial isomerization due to its low octane number (OCI= 25). One of the flows of the technological scheme forming the commercial isomerizate from the installation is the cubic product of the deisohexanizer column, the content of n-hexane in which is up to 3.5% by weight. Therefore, in industrial conditions it is advisable to extract it from the cubic product of the deisohexanizer with subsequent recycling into the raw material stream. The paper proposes a change in the technological scheme of the low-temperature isomerization installation in order to reduce the loss of raw hydrocarbons with commercial isomerization by including an additional Kdop distillation column in it. The research was carried out using the Unisim Design modeling program. The calculations performed have obtained appropriate technological modes of operation and structural parameters of the Kdop column: the number of single-flow valve plates is 30, the pressure in the Rniz column = 160kPa and Rvc = 110kPa, the temperature in the reboiler and condenser is 102.4 and 81.3 °C, respectively, the phlegm number R = 2.5. The inclusion of an additional Kdop distillation column in a typical technological scheme ensures a reduction in losses of n-hexane with commercial isomerizate by 1.78% while simultaneously increasing its octane number by up to 2.4 points.

Keywords: isomerization, rectification column, octane, modeling, UniSim Design

Для цитирования

Попов С.В., Осипян Д.Г. Уменьшение потерь исходного реактанта н-гексана с товарным изомеризатом // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 250–257. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-250-257

For citation

Popov S.V., Osipyan D.G. Reduction of losses of the initial n-hexane reactant with commercial isomerizate. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 250–257. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-250-257

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

Введение

В мировой индустрии производства автомобильных бензинов сохраняется устойчивая тенденция на улучшение не только их рабочих характеристик, но и экологических параметров. Стандарты для автомобильных бензинов строго регламентируют содержание бензола и других ароматических углеводородов, олефинов и серы [1–2]. В этой связи производство и использование неароматических высокооктановых компонентов бензинов стало перспективным, в частности изомеризаты стали наиболее востребованными из-за их относительно низкой стоимости производства и доступности исходного сырья. В настоящее время технологии гидроизомеризации углеводородов приобретают лидирующие позиции в производстве автомобильных бензинов, вместе с тем оставаясь одним из главных способов получения экологически чистых бензинов [3–5].

Сырьем установок изомеризации являются легкие прягонные бензиновые фракции, выкипающие в пределах НК-62°C (70°C, 85°C), бензины-рафинаты после экстракции аренов, легкий бензин гидрокрекинга, C₅÷C₆ фракция, полученная из газового конденсата.

В процессе изомеризации происходит повышение октанового числа фракции C₅÷C₆ путем превращения парафинов нормального строения в их изомеры, имеющее более высокое октановое число. Конечный продукт установки (стабильный изомеризат) имеет октановое число по исследовательскому методу (ОЧИМ) 74÷91 пунктов (в зависимости от типа изомеризации и схемы процесса), и не содержит в своём составе бензол, ароматические углеводороды, олефины и сернистые соединения.

Важнейшее свойство изомеризатов – минимальная разница октановых чисел по исследовательскому и моторному методам, позволяющая выравнять значение октанового числа товарного автобензина, поэтому изомеризат можно считать одним из основных компонентов компаундирования бензина, подходящим для разбавления ароматических углеводородов в риформате [6–7].

К числу основных показателей эффективности работы установок изомеризации относятся выход продукта, степень изомеризации парафинов и октановое число. В научных и прикладных исследованиях рассматриваются различные технологические (химические, кинетические) и аппаратные возможности максимизации данных показателей.

В исследованиях [8–10] для улучшения качества сырья и продуктов изомеризации описывается предварительное фракционирование гидрогенизата на «лёгкую» и «тяжёлую» части.

В патенте [11] предложен способ повышения октанового числа изомеризата путем протекания реакции изомеризации на катализаторе в трех зонах внутри ректификационной колонны. Предложенный способ содержит по меньшей мере один боковой отбор, расположенный выше зоны изомеризации гексанов.

В работе [12] предложена установка изомеризации легких бензиновых фракций, включающая в себя дополнительный реактор после основного реактора изомеризации и деизогексанизатора, установленный на выходе изомеризата из стабилизационной колонны, причем выход газообразных продуктов после стабилизационной колонны связан с реактором через систему рециркуляции.

Возможная стратегия многоцелевой оптимизации промышленного процесса изомеризации нефти, основанная на комплексном учёте влияния на показатели эффективности процесса множества его управляющих параметров (состав сырья и объёмная скорость его подачи, температура в реакторе, содержание бензола, соотношение водорода и углеводородов, содержание C₇+ и другие), описана в работе [13].

Одним из возможных технологических направлений повышения эффективности установок изомеризации является улучшение чёткости фракционирования компонентов стабильного изомеризата, что даёт возможность не только повысить октановое число конечного изомеризата, но и увеличить полноту использования сырьевых компонентов реакции изомеризации. Чёткость фракционирования даёт возможность из реакционной массы отделить целевые продукты от низкоразветвлённых и не проконвертированных нормальных углеводородов, присутствие которых снижает октановое число стабильного изомеризата.

Разделение низко- и высокооктановых компонентов изомеризата затруднено из-за их достаточно близких температур кипения [14–16], при этом в промышленных условиях используются как традиционные ректификационные, так и гибридные системы дистилляции / адсорбции.

В работе [17] рассматривается традиционная дистилляционная технология разделения компонентов изомеризата и предложена реконструкция колонны деизогексанизатора (ДИГ), в которой для повышения качества изомеризата вывод его компонентов осуществляется четырьмя потоками: сверху колонны – пентаны, боковые погоны – высокооктановые и низкооктановые изогексаны (направляются на рециркуляцию), углеводороды C₇+ – кубовый остаток колонны.

Для изомеров гексана в исследовании [18] показана возможность их селективного разделения с использованием мембранных металлоорганических структур путём молекулярного просеивания на Cu-MO₄-TPA.

В ряде исследований в качестве альтернативы ректификации изомеризата предлагается использование адсорбционной технологии. В частности, моделирование адсорбции проведено в [19] с целью определения наиболее оптимальной для рассматриваемого процесса комбинации цеолитных адсорбентов (Бета и 5А). Адсорбционное разделение компонентов изомеризата рассматривается в работе [20], показано эффективное отделение высокооктановых от низкооктановых углеводородов и проводится сравнение адсорбционного и ректификационного разделений.

Интенсивно исследуемым способом разделения углеводородов является использование колонн с разделительными стенками. Несмотря на то, что на нефтеперерабатывающих установках эта технология пока масштабно широко не применяется, в работе [21] показано возможное применение для установки изомеризации.

Цель работы – изменение технологической схемы типовой установки низкотемпературной изомеризации лёгкой бензиновой фракции с целью повышения октанового числа товарного изомеризата и уменьшения потерь сырьевого н-гексана с товарным продуктом.

Методы

Включение в схему установки изомеризации легкой бензиновой фракции блока деизогексанизации (ДИГ) позволяет значительно повысить октановое число конечного стабильного изомеризата. На рисунке 1 показан фрагмент типовой действующей технологической схемы фракционирования стабильного изомеризата (поток **Сырье-ДИГ**) установки низкотемпературной изомеризации лёгкой бензиновой фракции.

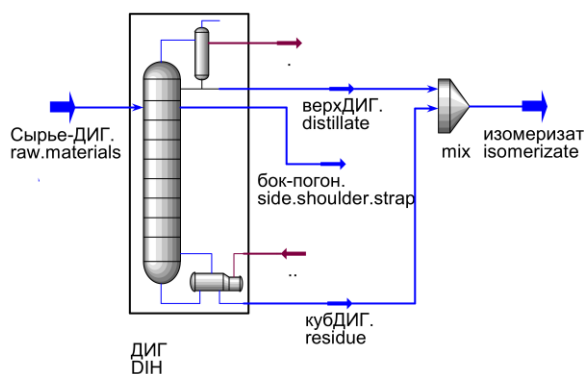


Рисунок 1. Фрагмент типовой технологической схемы фракционирования стабильного изомеризата установки низкотемпературной изомеризации лёгкой бензиновой фракции

Figure 1. A fragment of a typical technological scheme for fractionation of a stable isomerization unit for low-temperature isomerization of a light gasoline fraction

В деизогексановой колонне ДИГ верхним продуктом (поток **верх-ДИГ**) совместно с легкокипящими высокооктановыми изогексанами (диметилбутаны-2,2-ДМБ, 2,3-ДМБ) также отгоняются пентаны ($n\text{-C}_5$, изо-C_5). Данный погон в смесителе **mix** объединяется с нижним продуктом (тяжелым изомеризатом) колонны (поток **куб-ДИГ**), включающим метилциклопентан, циклогексан и парафины C_7 , формируя итоговый изомеризат (поток **изомеризат**). Из средней части колонны отводится боковой погон (поток **бок-погон**), содержащий значительное количество низкооктановых компонентов, таких как метилпентаны (2-МП, 3-МП) и непрореагировавший гексан ($n\text{-C}_6$), который возвращается обратно в реакторы изомеризации.

Компонентный состав сырья установки изомеризации является не постоянным и зависит от многих факторов, соответственно, сырьё, поступающее на блок ДИГ, также варьируется в определенных интервалах концентраций его компонентов. В таблице 1 представлен усредненный компонентный состав входных и выходных потоков колонны ДИГ и октановое число по исследовательскому методу (ИМ) индивидуальных углеводородов и потоков колонны.

В стабильном изомеризате (поток **изомеризат**), выходящим с установки, содержится до 0,56 %масс. н-гексана, ухудшающего качество товарного изомеризата из-за его низкого октанового числа (25 пунктов) и вместе с тем являющегося сырьём секции изомеризации. Н-гексан поступает в стабильный изомеризат с кубового продукта колонны ДИГ – тяжелого изомеризата (содержание н-гексана составляет порядка 3,5 %масс). Следовательно, целесообразно его максимальное извлечение из кубового остатка колонны деизогексанизатора с последующим рециркулированием.

Исследования выполнены в моделирующей среде UniSim Design.

Результаты и обсуждение

Для оценки возможности максимального извлечения н-гексана из кубового остатка колонны ДИГ рассматривали различные варианты его ректификационного выделения в тарельчатой и насадочной колонне в качестве оптимального аппаратного оформления процесса.

На рисунке 2 представлен вариант технологической схемы с включением в ее состав дополнительных ректификационных колонн $K_{\text{доп}}$. Колонна $K_{\text{доп}}$ расположена после ДИГ, а в качестве её питания поступает балансовое количество кубового остатка колонны ДИГ (поток **куб-ДИГ**). В колонне $K_{\text{доп}}$ происходит дополнительное разделение тяжелого изомеризата

с целью выделения максимального количества н-гексана, который выводится кубовым продуктом колонны $K_{доп}$ (поток **кубКдоп**) и направляется на смешение с боковым погоном ДИГ (поток **Бок-погон**). Дистиллят колонны $K_{доп}$ (поток **верхКдоп**) направляется на смешение с легким изомеризатом ДИГ (поток **верхДИГ**), формируя итоговый изомеризат.

При моделировании использовались следующие конструкционные и режимные параметры колонны $K_{доп}$: число тарелок $N_T = 30$; тарелка питания $N_{пит} = 16$; эффективность контактного устройства 0,8; температура в конденсаторе $T_{конд} = 81,0$ °С, температура в ребойлере $T_{реб} = 102,7$ °С, давление $P_{верх} = 110$ кПа, $P_{низ} = 160$ кПа. Расход питания – 4795 кг/ч.

Таблица 1.

Компонентный состав в массовых долях входных и выходных потоков колонны ДИГ

Table 1.

The component composition in the mass fractions of the input and output flows of the DIH column

Углеводороды Hydrocarbons	Сырье ДИГ raw materials	верхДИГ distillate	бок-погон side shoulder strap	кубДИГ residue	изомеризат isomerizate	Октановое число ИМ RON
Изобутан i-Butane	0,005599	0,012813	0,000000	0,000000	0,010797	101
Бутан n-Butane	0,003499	0,008008	0,000000	0,000000	0,006748	94
Изопентан i-Pentane	0,148670	0,340226	0,000000	0,000000	0,286690	92
Пентан n-Pentane	0,061488	0,140771	0,000000	0,000000	0,118570	62
Циклопентан Cyclopentane	0,012897	0,029490	0,000023	0,000000	0,024849	101
2,2 – диметилбутан 22-Mbutane	0,125975	0,279490	0,007938	0,000000	0,235556	92
2,3 – диметилбутан 23-Mbutane	0,069586	0,068528	0,082338	0,000017	0,057748	102
2-метилпентан 2-Mpentane	0,215757	0,110224	0,348085	0,000184	0,092909	73
3-метилпентан 3-Mpentane	0,127874	0,010275	0,256019	0,001601	0,008910	75
Гексан n-Hexane	0,094281	0,000106	0,189774	0,035205	0,005629	25
Метилциклопентан Mscyclopentan	0,041592	0,000076	0,067398	0,111660	0,017634	91
Бензол Benzene	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	113
Циклогексан Cyclohexane	0,046391	0,000001	0,030907	0,386166	0,060766	83
Изомеры Гептана C ₇ *	0,034093	0,000000	0,012856	0,341960	0,053809	44*
Метилциклогексан Mscyclohexane	0,012298	0,000000	0,004661	0,123207	0,019387	75
Итого Total	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	
Расчетное октановое число RON	76,1	86,2	68,1	67,5	83,6	

* указано среднее значение октанового числа н-гептана и трех распространенных изомеров C₇ строения

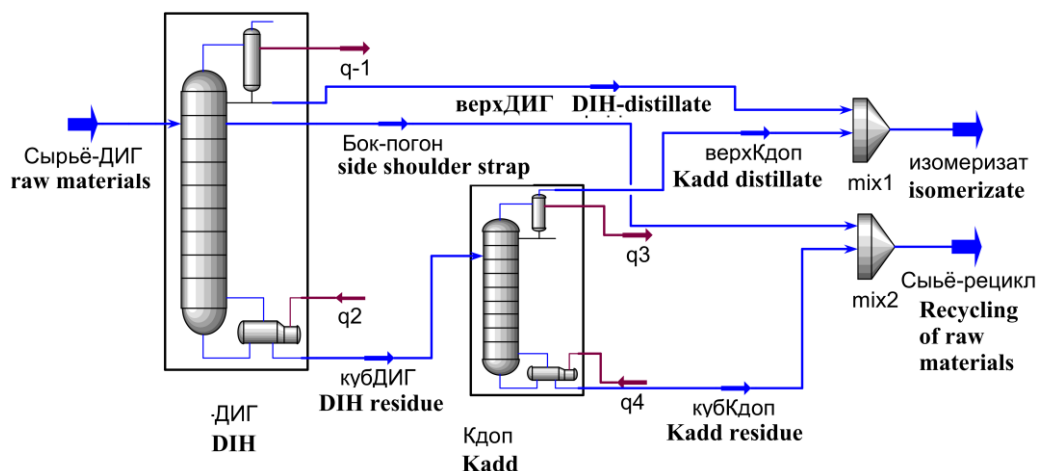


Рисунок 2. Фрагмент измененной технологической схемы с включением дополнительной ректификационной колонны $K_{доп}$

Figure 2. A fragment of the modified technological scheme with the inclusion of an additional $K_{доп}$ distillation column

Значения рассчитанных технологических параметров и компонентный состав потоков колонны $K_{доп}$ приведены в таблице 2. График изменения температурного профиля по высоте колонны $K_{доп}$ показан на рисунке 3. Конструкционные параметры колонны $K_{доп}$ сведены в таблицу 3. Компонентный состав потоков измененной технологической схемы с включением дополнительной колонны $K_{доп}$ представлен в таблице 4.

Из таблицы 1 и таблицы 4 видно, что при предлагаемых параметрах работы колонны $K_{доп}$ содержание н-гексана в стабильном изомеризате, направляемым в товарный изомеризат, снизится до 0,26 %масс, что составляет величину снижения на 53,77 %. Таким образом, появляется возможность 59,20 % н-гексана из кубового остатка ДИГ (это значение составляет 1,78 % общего количества н-гексана в реакционной массе изомеризации)

направить на блок подготовки сырья, а далее объединённым сырьём в реакторный блок секции изомеризации. Следует также отметить, что заметным положительным эффектом включения в существующую технологическую схему дополнительной колонны **Кдоп** является увеличение ОЧИ товарного изомеризата на величину до 2,4 пункта.

Для полной оценки предлагаемого технологического решения была рассчитана его экономическая эффективность с учетом затрат на реализацию.

Экономический эффект от включения в технологическую схему колонны **Кдоп** основывается на увеличении октанового числа стабильного изомеризата на 2,4 пункта и заключается в изменении сырьевой и товарной корзины предприятия при компаундировании автобензинов.

Воспроизведение дельты повышения октанового числа установки изомеризации выполнено на сырьевой и продуктовой модели

предприятия с помощью программного обеспечения Aspen PIMS. Изменение материального баланса рассматриваемого предприятия за месяц представлено в таблице 5.

Из таблицы 5 видно, что повышение октанового числа стабильного изомеризата типовой установки низкотемпературной изомеризации ПГИ-ДИГ на 2,4 пункта (по ИМ) позволит сократить потребление дорогостоящей присадки МТБЭ на 2 017 тонн в месяц при компаундировании товарных автобензинов, что в итоге приведет к получению дополнительного экономического эффекта для предприятия свыше 95 млн. руб. в месяц.

Для реализации проекта по монтажу дополнительной колонны **Кдоп** необходимы финансовые вложения на проектно-изыскательские работы (ПИР), материально-техническое обеспечение (МТО) и строительно-монтажные работы (СМР).

Таблица 2.

Значения технологических параметров (а) и компонентный состав (б) потоков колонны Кдоп

Table 2.

Values of technological parameters (a) and component composition (b) of Kadd column flows

Название потока Stream Name	кубДИГ DIH residue	верхКдоп Kadd distillate	кубКдоп Kadd residue
Температура [° C] Temperature [° C]	117.5	81,0	102.7
Давление [кПа] Pressure [kPa]	245.2	110.0	160.0
Массовый поток [кг/ч] Mass Flow [kg/h]	4795	652	4143

(a)

Название углеводорода The Name of the hydrocarbon	КубДИГ масс. доля DIH residue mass fractions	верхКдоп масс. доля Kadd distillate mass fraction	кубКдоп масс. доля Kadd residue mass fraction	Октановое число ИМ RON
2,3 – диметилбутан 23-Mbutane	0,000016	0,000068	0,000008	102
2-метилпентан 2-Mpentane	0,000171	0,000609	0,000089	73
3-метилпентан 3-Mpentane	0,001583	0,005617	0,000949	75
Гексан n-Hexane	0,034755	0,104369	0,023813	25
Метилциклопентан Mscyclopentan	0,111187	0,267113	0,086674	91
Бензол Benzene	0,000000	0,000000	0,000000	113
Циклогексан Cyclohexane	0,386751	0,591086	0,354613	83
Изомеры Гептана C ₇ *	0,342255	0,024962	0,392145	44*
Метилциклогексан Mscyclohexane	0,123283	0,006094	0,141710	75
Итого Total	1,0000000	1,0000000	1,0000000	
Расчетное октановое число RON	67,5	78,0	65,9	

(b)

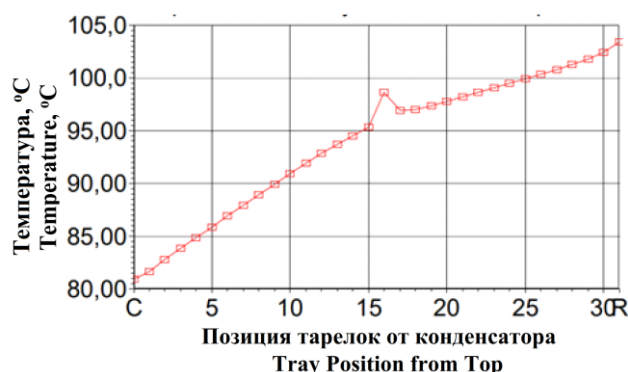


Рисунок 3. График изменения температуры по высоте колонны Кдоп

Figure 3. Graph of temperature changes in the height of the Kadd column

Таблица 3.

Параметры колонны Кдоп тарельчатой (а) и с насадкой (b)

Table 3.

Parameters of the Kadd column with a plate (a) and a packing column (b)

Параметры Parameters	Значение Value
Высота [м] Height [m]	11,1
Диаметр [м] Diameter [m]	0,76
Число тарелок Number of plates	30
Тип тарелки Internals	Клапанные Valve
Тарелка питания The feed plate	16
Расстояние между тарелками [мм] Tray Spacing [mm]	370
Поточность Number of Flow Paths	1
(b)	
Параметры Parameters	Значение Value
Высота [м] Height [m]	10,5
Диаметр [м] Diameter [m]	0,60
Тип насадки packing type	Нерегулярная Irregular
Количество элементов Number of elements	151877
ВЭТТ [м] HETP [m]	0,4371

Таблица 4.

Компонентный состав потоков измененной технологической схемы (рисунок 2)
с включением дополнительной колонны Кдоп

Table 4.

The component composition of the flows of the modified technological scheme (figure 2)
with the inclusion of an additional Kadd column

Углеводороды Hydrocarbons	Сырье ДИГ raw materials	изомеризат isomerizate	Сырье-рецикл Recycling of raw materials	Октановое число ИМ RON
Изобутан i-Butane	0,005599	0,012502	0,000000	101
Бутан n-Butane	0,003499	0,007814	0,000000	94
Изопентан i-Pentane	0,148670	0,331690	0,000227	92
Пентан n-Pentane	0,061488	0,136870	0,000347	62
Циклопентан Cyclopentane	0,012897	0,028066	0,000595	101
2,2 – диметилбутан 22-Mbutane	0,125975	0,248693	0,026440	92
2,3 – диметилбутан 23-Mbutane	0,069586	0,070109	0,069162	102
2-метилпентан 2-Mpentane	0,215757	0,130180	0,285167	73
3-метилпентан 3-Mpentane	0,127874	0,009442	0,223932	75
Гексан n-Hexane	0,094281	0,002602	0,168640	25
Метилциклопентан Mcyclopentane	0,041592	0,006627	0,069951	91
Бензол Benzene	0,000000	0,000000	0,000000	113
Циклогексан Cyclohexane	0,046391	0,014637	0,072146	83
Изомеры Гептана C ₇ *	0,034093	0,000618	0,061244	44*
Метилциклогексан Mcyclohexane	0,012298	0,000618	0,022440	75
Итого Total	1,000000	1,000000	1,000000	
Расчетное октановое число RON	76,1	86,0	68,5	

Таблица 5.

Изменение материального баланса предприятия за месяц

Table 5.

Change in the material balance of the enterprise in a month

Наименование продукта Product Name	Количество ДО реконструкции, тн Quantity BEFORE reconstruction, tons	Количество ПОСЛЕ реконструкции, тн Quantity AFTER reconstruction, tons	Отклонение, тн Deviation, tn	Цена, руб./тн Price, RUB/ton	Эффект, тыс. руб. Effect, thousand rubles
Взято в производство: Taken into production:					
МТБЭ methyltretbutyl ether	5 358,0	3 341,0	-2 017,0	86 364,0	174 196,2
Природный газ natural gas	0	296,0	296,0	7 065, 0	- 2 091, 2
Получено в производстве: Received in production:					
АИ-95-К5 gasoline	84 888,0	83 167,0	- 1 721,0	43 010,0	-74 020,2
Итого Total					98 085,0

Опираясь на опыт внедрения подобных проектов на действующих производствах, стоимость работ принимаем в размере на выполнение аналогичных работ.

ПИР – комплекс мероприятий, нацеленный на разработку документации для реализации проекта с учетом существующих объектов, затраты – 50 млн руб.

МТО – все материалы, необходимые для внедрения предлагаемого технологического решения. Для его реализации, которая обеспечит уменьшение потерь исходного реактанта н-гексана с товарным изомеризатом, согласно рисунку 2 необходим монтаж дополнительного оборудования, а именно колонны Кдоп с геометрическими размерами и внутренними контактными

устройствами, которые указаны в таблице 3, ребойлер для подогрева куба колонны, холодильник конденсатор для охлаждения газового потока, рефлюксная емкость, насос орошения, а также система трубопроводов с ЗРА и приборами КИПиА для регулирования процесса, кабельные трассы для подключения нового оборудования к существующей автоматизированной системе управления технологическим процессом. Ориентировочные затраты по МТО – 150 млн руб.

СМР – это работы, выполняемые для сдачи готового объекта в эксплуатацию. (возведение новых объектов, реконструкция старых, капитальный ремонт и т. д.). Для монтажа нового оборудования и его подключения к существующему объекту ориентировочные затраты составят 100 млн руб.

Общие ориентировочные затраты на реализацию проекта с учетом ПИР, МТО и СМР составят 300 млн рублей.

Для полной оценки эффективности проекта необходимо произвести расчет основных экономических показателей – NPV (чистый доход проекта за 10 лет с учетом ставки дисконтирования), PI (индекс рентабельности проекта), DPP (срок окупаемости проекта с учетом ставки дисконтирования). Ставку дисконтирования принимаем максимальную для снижения рисков не окупаемости проекта – 20 %.

С учетом ставки дисконтирования, экономического эффекта от реализации проекта, затрат на реализацию, плана выполнения работ получаем

следующие экономические показатели: NPV – 2,9 млрд руб.; PI – 47,5 ед.; DPP – менее 1 года.

Заключение

Анализ работы промышленной установки низкотемпературной изомеризации показал, что в кубовом продукте колонны ДИГ – тяжелом изомеризате, присутствует н-гексан, ухудшающий качество товарного изомеризата из-за его низкого октанового числа, следовательно, целесообразно его максимальное извлечение из кубового остатка колонны деизогексанизатора и направление в рециркулирующий поток.

С целью повышения октанового числа конечного стабильного изомеризата предложено изменение технологической схемы включением в неё дополнительной колонны **Кдоп** на линии тяжелого изомеризата колонны ДИГ. На основании выполненных расчетов степень извлечения н-гексана из кубового продукта колонны ДИГ составляет 52,58 %масс., что повышает октановое число товарного изомеризата на величину до 2,4 пункта. Такое увеличение октанового числа товарного продукта установки позволит предприятию получить экономическую выгоду свыше 95 млн. руб. в месяц.

Предложенное технологическое решение имеет высокий уровень экономических показателей, что является основанием для внедрения данного проекта в существующие действующие производства.

Литература

- 1 Velázquez H.D. et al. Recent progress on catalyst technologies for high quality gasoline production // *Catalysis Reviews*. 2023. V. 65. №. 4. P. 1079–1299. doi: 10.1080/ 01614940.2021.2003084
- 2 Tang R. et al. Isomerization performance of n-hexane in hydrogen atmosphere over the multistage porous composite NixPy-MCM-41/MOR catalyst // *Journal of the Energy Institute*. 2024. P. 101652. doi: 10.1016/j.joei.2024.101652
- 3 Хаимова Т.Г., Мхитарова Д.А. Изомеризация как эффективный путь производства высокооктановых компонентов бензина // Информационно-аналитический обзор. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2005. 80 с.
- 4 Fahim M.A., Alsahhaf T.A., Elkilani A., Fahim M.A. et al. Catalytic Reforming and Isomerization // *Fundam. Pet. Refin.* 2010. P. 95–122.
- 5 Naqvi S.R. et al. New trends in improving gasoline quality and octane through naphtha isomerization: a short review // *Applied Petrochemical Research*. 2018. V. 8. P. 131–139.
- 6 Yu W., Morales A. Gasoline blending system modelling via static and dynamic neural networks // *International Journal of modelling and simulation*. 2004. V. 24. №. 3. P. 151–160.
- 7 Awan Z.H. et al. Process system engineering (PSE) analysis on process and optimization of the isomerization process // *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. 2021. V. 40. №. 1. P. 289–302.
- 8 Пат. № 2307820, RU, C07C 5/22. Способ получения высокооктановых изокомпонентов бензина / Боруцкий П.Н. № 2006111318/04; Заявл. 06.04.2006; Опубл. 10.10.2007, Бюл. № 28.
- 9 Пат. № 2753532, RU, C07C 5/13, 13/18, 5/27. Способы и устройство для изомеризации углеводородов / Сингх П.К. № 2020130132; Заявл. 28.02.2019; Опубл. 17.08.2021, Бюл. № 23.
- 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 Пат. № 201390968, EA, C10G 45/00, C10G 65/00, C07C 5/00. Изомеризация бензина в трех зонах каталитических реакций внутри ректификационной колонны / Гиязов О.В., Парпуц О.И. № 201390968; Заявл. 18.01.2012; Опубл. 30.12.2013, Бюл. № 01.
- 12 Пат. № 182214U1, RU, C07C 5/27, 7/12, C10G 25/00, C07C 9/16. Установка для изомеризации легких бензиновых фракций / Гурко Н.С. № 217145033; Заявл. 2017; Опубл. 07.08.2018, Бюл. № 29.
- 13 Fahy D.A.N., Soliman M.A. A multi-Response Optimization for Isomerization of light Naphtha // *Chemical Engineering*. 2019. V. 79. URL: https://buescholar.bue.edu.eg/chem_eng/79
- 14 Osman W.S. et al. Optimum Design of Naphtha Recycle Isomerization Unit with Modification by Adding De-Isopentanizer // *Processes* 2023. V. 11. P. 3406. doi: 10.3390/pr11123406
- 15 Anugraha R.P. et al. Techno-economical study on the production of high octane gasoline in light naphtha plant // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2024. V. 59. №. 1. P. 81–86.
- 16 Shehata W.M., Mohamed M.F., Gad F.K. Monitoring and modelling of variables affecting isomerate octane number produced from an industrial isomerization process // *Egyptian journal of petroleum*. 2018. V. 27. №. 4. P. 945–953.

- 17 Лебедев Ю.Н., Ратовский Ю.Ю. Реконструкция установок изомеризации // Химия и технология топлив и масел. 2010. № 4. С. 29–30.
- 18 Chen R. et al. Aperture Fine-Tuning in Cage-Like Metal–Organic Frameworks via Molecular Valve Strategy for Efficient Hexane Isomer Separation // Small Structures. 2024. V. 5. №. 1. P. 2300302. doi: 10.1002/ssr.202300302
- 19 Anugraha R.P. et al. Cost And Product Optimization of Upgrading Light Naphtha Using Pressure Swing Adsorption Method by Aspen Adsorption Simulation // Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences. 2022. V. 100. №. 2. P. 198–210. doi: 10.37934/arfmts.100.2.198210
- 20 Muhammed T., Tokay B., Conradie A. Raising the Research Octane Number using an optimized Simulated Moving Bed technology towards greater sustainability and economic return // Fuel. 2023. V. 337. P. 126864. doi: 10.1016/j.fuel.2022.126864
- 21 Kalita R., Kanda A., Gentry J.C. Network of dividing wall columns in complex process units // Chemical engineering. 2018. V. 69. P. 204–211.

References

- 1 Velázquez H.D. et al. Recent progress on catalyst technologies for high quality gasoline production. Catalysis Reviews. 2023. vol. 65. no. 4. pp. 1079–1299. doi: 10.1080/ 01614940.2021.2003084
- 2 Tang R. et al. Isomerization performance of n-hexane in hydrogen atmosphere over the multistage porous composite NixPy-MCM-41/MOR catalyst. Journal of the Energy Institute. 2024. pp. 101652. doi: 10.1016/j.joei.2024.101652
- 3 Khaimova T.G., Mkhitarova D.A. Isomerization as an effective way of producing high-octane gasoline components // Information and analytical review. Moscow, Tsniiteneftkhim, 2005. 80 p. (in Russian).
- 4 Fahim M.A., Alsahhaf T.A., Elkilani A., Fahim M.A. et al. Catalytic Reforming and Isomerization. Fundam. Pet. Refin. 2010. pp. 95-122.
- 5 Naqvi S.R. et al. New trends in improving gasoline quality and octane through naphtha isomerization: a short review. Applied Petrochemical Research. 2018. vol. 8. pp. 131–139.
- 6 Yu W., Morales A. Gasoline blending system modelling via static and dynamic neural networks. International Journal of modelling and simulation. 2004. vol. 24. no. 3. pp. 151-160.
- 7 Awan Z.H. et al. Process system engineering (PSE) analysis on process and optimization of the isomerization process. Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering. 2021. vol. 40. no. 1. pp. 289–302.
- 8 Borutsky P.N. A method for producing high-octane gasoline components. Patent RF, no. 2307820, 2007.
- 9 Singh P.K. Methods and apparatus for the isomerization of hydrocarbons. Patent RF, no. 2753532, 2021.
- 10 Mnushkin I.A. Method of separation of gasoline fractions in the isomerization process. Patent RF, no. 2680377, 2019.
- 11 Giyazov O.V., Parputs O.I. Gasoline isomerization in three zones of catalytic reactions inside the distillation column. Patent EA, no. 201390968, 2013.
- 12 Gurko N.S. Installation for isomerization of light gasoline fractions. Patent RF, no. 182214U1, 2018.
- 13 Fathy D.A.N., Soliman M.A. A multi-Response Optimization for Isomerization of light Naphtha. Chemical Engineering. 2019. vol. 79. Available at: https://buescholar.bue.edu.eg/chem_eng/79
- 14 Osman W.S. et al. Optimum Design of Naphtha Recycle Isomerization Unit with Modification by Adding De-Isopentanizer. Processes. 2023. vol. 11. pp. 3406. doi: 10.3390/pr11123406
- 15 Anugraha R.P. et al. Techno-economical study on the production of high octane gasoline in light naphtha plant. Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2024. vol. 59. no. 1. pp. 81–86.
- 16 Shehata W.M., Mohamed M.F., Gad F.K. Monitoring and modelling of variables affecting isomerate octane number produced from an industrial isomerization process. Egyptian journal of petroleum. 2018. vol. 27. no. 4. pp. 945–953.
- 17 Lebedev Yu.N., Ratovsky Yu.Y. Reconstruction of isomerization plants. Chemistry and technology of fuels and oils. 2010. no. 4. pp. 29–30. (in Russian).
- 18 Chen R. et al. Aperture Fine-Tuning in Cage-Like Metal–Organic Frameworks via Molecular Valve Strategy for Efficient Hexane Isomer Separation. Small Structures. 2024. vol. 5. no. 1. pp. 2300302. doi: 10.1002/ssr.202300302
- 19 Anugraha R.P. et al. Cost And Product Optimization of Upgrading Light Naphtha Using Pressure Swing Adsorption Method by Aspen Adsorption Simulation. Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences. 2022. vol. 100. no. 2. pp. 198–210. doi: 10.37934/arfmts.100.2.198210
- 20 Muhammed T., Tokay B., Conradie A. Raising the Research Octane Number using an optimized Simulated Moving Bed technology towards greater sustainability and economic return. Fuel. 2023. vol. 337. pp. 126864. doi: 10.1016/j.fuel.2022.126864
- 21 Kalita R., Kanda A., Gentry J.C. Network of dividing wall columns in complex process units. Chemical engineering. 2018. vol. 69. pp. 204–211.

Сведения об авторах

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>
Даниэл Г. Осипян магистрант, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, svpopov2018@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

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>
Daniel G. Osipyany master student, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.ru

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 24/07/2024	После редакции 12/08/2024	Принята в печать 02/09/2024
Received 24/07/2024	Accepted in revised 12/08/2024	Accepted 02/09/2024

Повышение вариативности выпускаемой товарной продукции установки каталитического риформинга

Павел И. Трифонов¹ svporov2018@ya.ru
Сергей В. Попов¹ svporov2018@ya.ru  0000-0003-0533-9049

¹ Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Мironова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия

Аннотация. Стабильный риформат установок каталитического риформинга, в частности установки CCR, содержит в себе большое количество (до 77% масс.) ароматических углеводородов, из них треть – ксилолы. На промышленных установках при выпуске товарных бензинов возникает ситуация, когда показатель октанового числа превышает необходимое значение. В связи с этим существует возможность выделения из стабильного риформата потока суммарных ксилолов, что позволит повысить вариативность выпускаемой товарной продукции и привести показатель октанового числа к нормативному значению. В работе выполнено исследование возможных вариантов схемы выделения ксилолов из стабильного риформата для увеличения вариативности выпускаемой товарной продукции. Для оценки достигаемых показателей возможных технологических схем выделения из стабильного риформата ксилольной фракции были рассмотрены следующие варианты: сложная колонны с боковым отбором ксилольной фракции, сложная колонна со стриппинг секцией и схема из двух последовательно соединённых ректификационных колонн. Исследование выполнено с использованием моделирующей системы UniSim Design. Предложена двух колонная технологическая схема блока вторичной ректификации стабильного риформата, обеспечивающая достижение содержания ксилольной фракции в товарном продукте более 97% масс. при 84%-ом отборе ксилолов от их содержания в потоке питания предлагаемой технологической схемы. Число клапанных тарелок составляет 50 для первой колонны и 70 для второй, С учётом стоимости проектно-изыскательных работ, поставки материально-технических ресурсов, а также затрат на строительно-монтажные работы, срок окупаемости предлагаемого проекта составит 3,5 года.

Ключевые слова: каталитический риформинг, ксилолы, ректификация, моделирование, UniSim Design

Increasing the variability of the manufactured commercial products of the catalytic reforming plant

Pavel I. Trifonov¹ svporov2018@ya.ru
Sergey V. Popov¹ svporov2018@ya.ru  0000-0003-0533-9049

¹ Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia

Abstract. The stable reformat of catalytic reforming plants, in particular CCR plants, contains a large amount (up to 77% by weight). aromatic hydrocarbons, of which one third are xylenes. In industrial installations, when producing commercial gasoline, a situation arises when the octane index exceeds the required value. In this regard, it is possible to isolate the flow of total xylenes from a stable reformat, which will increase the variability of manufactured commercial products and bring the octane index to a normative value. The study of possible variants of the scheme for the separation of xylenes from a stable reformat to increase the variability of manufactured marketable products is carried out. To assess the achieved indicators of possible technological schemes for the separation of xylene fraction from a stable reformat, the following options were considered: a complex column with lateral selection of xylene fraction, a complex column with a stripping section and a scheme of two sequentially connected distillation columns. The study was performed using the UniSim Design modeling system. A two-column technological scheme of the secondary rectification unit of a stable reformat is proposed, which ensures that the content of the xylene fraction in the commercial product exceeds 97% by weight. with 84% selection of xylenes from their content in the feed stream of the proposed technological scheme. The number of valve plates is 50 for the first column and 70 for the second, Taking into account the cost of design and survey work, the supply of material and technical resources, as well as the cost of construction and installation work, the payback period of the proposed project will be 3.5 years.

Keywords: catalytic reforming, xylenes, rectification, modeling, UniSim Design

Для цитирования

Трифонов П.И., Попов С.В. Повышение вариативности выпускаемой товарной продукции установки каталитического риформинга // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 258–266. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-258-266

For citation

Trifonov P.I., Popov S.V. Increasing the variability of the manufactured commercial products of the catalytic reforming plant. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 258–266. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-258-266

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

Введение

Нефтехимическая отрасль и производство нефтехимических продуктов является основой развития промышленности. Одним из основных видов сырья в нефтехимии являются ароматические углеводороды, а именно ксилолы.

Ксилолы (диметилбензолы) получают из нефти путём каталитического риформинга прямогонной бензиновой фракции или при коксовании угля. Ключевой сферой применения параксилола является производство терефталевой кислоты (ТФК), ортоксилола – производство фталевого ангидрида. В качестве товарного продукта ксилолы применяются главным образом в качестве растворителей.

В большом количестве работ рассматриваются технологии по выделению ксилолов методом экстракции [1–4]. Данный метод эффективен, но не применим к нефтеперерабатывающему предприятию в связи со своими высокими капиталозатратами.

Из-за схожих химических структур и физических свойств углеводородную смесь бензола, толуола и ксилолов сложно разделить классической ректификацией. Для их более чёткого фракционирования может применяться мембранное разделение, где в качестве мембран могут использоваться материалы на основе полиамидов [6], модифицированной целлюлозы [7], а в работе [8] в качестве мембраны использовались уникальные материалы: сшитый полидиметилсилоксан и триацетата целлюлозы. Методы, описанные в данных работах, показали высокую селективность и надёжность.

В работах [9–10] рассматривается технология по выделению ксилолов методом ректификации. Установка состоит из 3 ректификационных колонн, в качестве сырья используется облегчённая фракцию с температурой кипения 105–127 °С.

Особое место в разделении многокомпонентных систем, в том числе ароматических соединений, занимают схемы с применением колонн FTCD, более известной как «колонна Петлюка». В работах [11–12] описывают функционирование таких колонн в качестве замены каскада, состоящего из 3-х последовательных ректификационных колонн, использующегося для фракционирования ароматических углеводородов, входящих в состав риформата.

Характерными особенностями таких схем является то, что все секции сложной колонны связаны между собой противоположно направленными потоками пара и жидкости (термической или тепловой связью), промежуточные по летучести продукты выделяются во внутренних точках схемы (точках, связанных с двумя различными секциями), ключевыми не обязательно являются крайние по летучести компоненты.

Термодинамические преимущества такого способа разделения обусловлены отсутствием термодинамических потерь при смешении потоков в зонах питания и отбора продуктовых фракций, а также термодинамических потерь при подводе и отводе тепла во всех точках вывода промежуточных по летучести продуктов. Вместе с тем такие системы обладают рядом недостатков, затрудняющих их промышленное использование: необходимость поддерживать одно и то же давление во всех колоннах комплекса, увеличение числа ступеней разделения по сравнению с традиционными схемами из простых двухсекционных колонн, а также усложняются схемы регулирования.

Проектирование процесса фракционирования риформата с использованием колонны с разделительной стенкой описано в [13, 14]. Показано, что при моделировании системы разделения получено хорошее согласование расчётных и экспериментальных данных, и сделан вывод о возможности снижения энергопотребления на 50%, что сможет сделать экономически выгодным инвестиции и эксплуатацию комплекса с разделительной стенкой.

Большое количество работ [15–18] уделено рассмотрению вопроса усовершенствованию работы реактора каталитического риформинга и использованию программ на основе кинетических моделей для прогнозирования выхода ароматических углеводородов и увеличения эффективности процесса.

Стабильный риформат установок каталитического риформинга, в частности установки CCR, содержит в себе большое количество (до 77% масс.) ароматических углеводородов, из них треть – ксилолы (рисунок 1).

На промышленных установках при выпуске товарных бензинов возникает ситуация, когда показатель октанового числа (ОЧ) превышает необходимое значение. В связи с этим существует возможность выделения из стабильного риформата потока суммарных ксилолов, что позволит повысить вариативность выпускаемой товарной продукции и привести показатель ОЧ к нормативному значению.

Цель работы – исследование возможных вариантов схемы выделения ксилолов из стабильного риформата установки CCR для увеличения вариативности выпускаемой товарной продукции.

Методы

Продуктом установки CCR является высокооктановый компонент – риформат. На рисунке 2 представлен фрагмент технологической схемы блока стабилизации установки, с которого выходит готовый продукт.

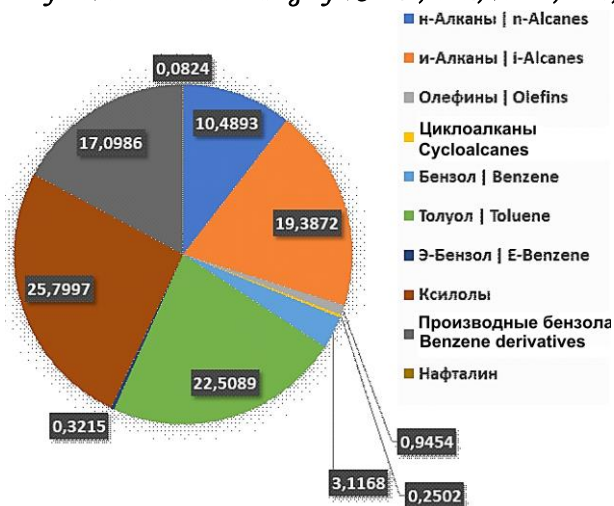


Рисунок 1. Диаграмма состава стабильного риформата, % масс.

Figure 1. Diagram of the composition of a stable reformat, % by weight

В соответствии с технологической схемой нестабильный риформат проходит теплообменник Т-1 поступает на питание 21 тарелки колонны-дебутанизатора К-1. Верхний охлаждённый

продукт поступает в сепаратор С-1, где происходит разделение газовой и жидкой фазы. С низа колонны отводится стабильный риформат, часть которого при помощи насоса Н-1 подаётся на подогрев колонны К-1, а балансовое количество проходит через теплообменники Т-1; Т-4; Т-5 и поступает в товарный парк.

В таблице 1 показан усреднённый состав стабильного риформата установки CCR.

Из таблицы 1 видно, что в составе риформата содержится большое количество ксилолов ~28,2%масс. ОЧ которого составляет 116 пунктов по исследовательскому методу (ИМ). Для промышленных предприятий с целью изменения октанового числа автомобильного бензина существует принципиальная возможность выделения ксилольной фракции для варьирования данного показателя.

Исследования проводили с использованием моделирующей программной среды Unisim Design. В качестве математического пакета для расчёта термодинамических свойств компонентов технологических потоков использовали метод Peng-Robinson.

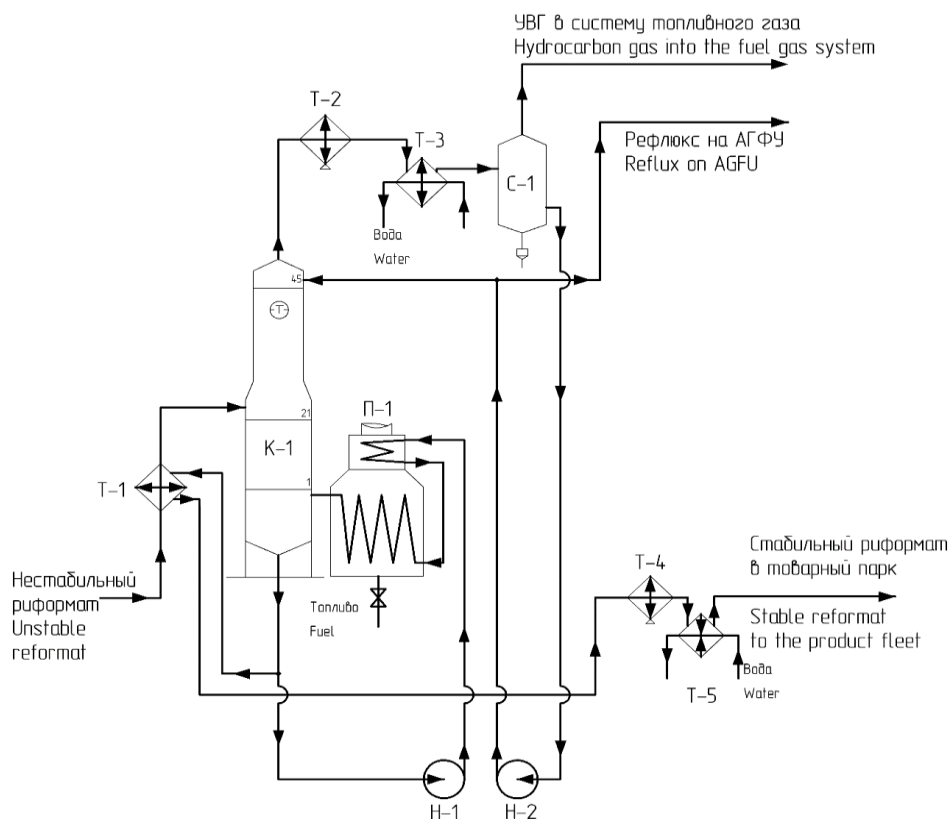


Рисунок 2. Фрагмент схемы блока стабилизации типовой установки каталитического риформинга

Figure 2. A fragment of the scheme of the stabilization unit of a typical catalytic reforming unit

Результаты и обсуждение

Для оценки достигаемых показателей возможных технологических схем выделения из стабильного риформата ксилольной фракции были рассмотрены следующие варианты: сложная колонна с боковым отбором ксилольной фракции, сложная колонна со стриппинг секцией и схема из двух последовательно соединённых ректификационных колонн. Во всех вариантах используются клапанные тарелки с $\kappa_{\text{пд}} = 0,8$.

Схема сложной колонны с боковым отбором ксилольной фракции показана на рисунке 3. В качестве критерия оптимизации работы колонны выбрано количество отбираемых суммарных ксилолов и качественный состав получаемой фракции. Расчёты показали, что даже при числе тарелок в аппарате $N = 170$ в отбираемом боковом погоне содержание суммарных ксилолов составляет величину не более 82,2% масс. при 80%-ом отборе ксилолов от их потенциального содержания в питании колонны. Согласно нормативной документации по качеству суммарных ксилолов их содержание во фракции должно быть более

97% масс., следовательно, использование рассматриваемого варианта нецелесообразно.

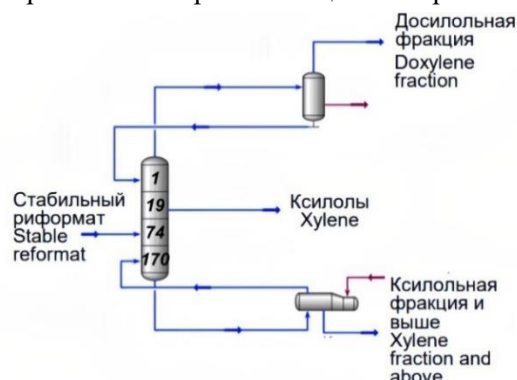


Рисунок 3. Схема сложной колонны с боковым погонном ксилольной фракции

Figure 3. Diagram of a complex column with a side slope of the xylene fraction

На рисунке 4 приведено аппаратное оформление блока вторичный ректификации риформата, представляющий собой схему сложной колонны со стриппинг-секцией для отбора ксилольной фракции.

Таблица 1.

Состав потока стабильного риформата (а, б), поступающего в товарный парк

Table 1.

Composition of the stable reformat stream (a, b) coming to the commodity depot

Компоненты Components	Содержание, % масс. Content, % by weight
Пропан Propane	0,6285
i-Бутан i-Butane	1,4410
1-Бутен 1-Butene	0,0326
n-Бутан n-Butane	1,5969
2М-1-Бутен 2М-1-butene	0,2910
3М-1-Бутен 3М-1-butene	0,0047
i-Пентан i-Pentane	3,0961
n-Пентан n-Pentane	1,5015
1-Пентен 1-Pentene	0,3259
22-Мбутан 22-Mbutane	0,2165
23-Мбутан 23-Mbutane	0,1723
2-Мпентан 2-Mpentane	0,9032
3-Мпентан 3-Mpentane	0,6867
2М1С5 = 2-Methyl-1-pentene	0,0175
n-Гексан n-Hexane	0,7519
тр 2-Гексен tr2-Hexene	0,0128
22-Мпентан 22-Mpentane	0,5284
24-Мпентан 24-Mpentane	0,5133
Мциклопентан Mcyclopentan	0,1280
223-Мбутан 223-Mbutane	0,0791
Бензол Benzene	2,5048
33-Мпентан 33-Mpentane	0,4935

(а)

Компоненты Components	Содержание, % масс. Content, % by weight
Циклогексан Cyclohexane	0,0500
2-Мгексан 2-Mhexane	3,0577
23-Мпентан 23-Mpentane	1,1860
11-Мциклопентан 11-Мсупептан	0,0338
3-Мгексан 3-Mhexane	3,7839
3-Этилпентан 3-Epentane	0,4097
1-Гептен 1-Heptene	0,0128
n-Гептан n-Heptane	2,8621
22-Мгексан 22-Mhexane	0,1641
Толуол Toluene	21,3384
23-Мгексан 23-Mhexane	0,1723
2-Мгептан 2-Mheptane	0,6099
n-Октан n-Octane	0,7414
Этилбензол E-Benzene	0,3512
м-Ксилол m-Xylene	13,2958
п-Ксилол p-Xylene	5,6400
о-Ксилол o-Xylene	9,2452
n-Нонан n-Nonane	0,2060
тр- C3 = Бензол tr-C3 = Benzene	20,7902
Нафталин Naphthalene	0,1234
Итого Total	100,0000

(б)

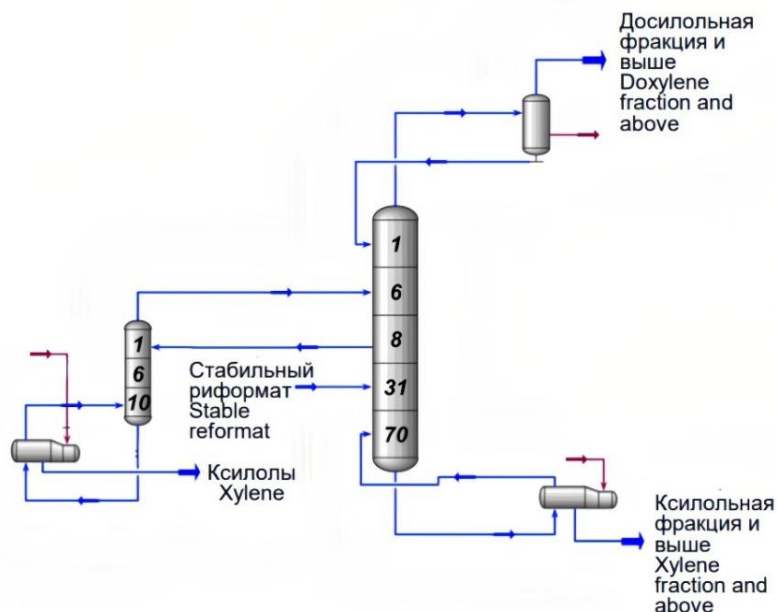


Рисунок 4. Схема сложной колонны со stripping-секцией для отбора ксилольной фракции

Figure 4. Diagram of a complex column with a stripping section for the selection of the xylene fraction

Стабильный риформат после блока стабилизации поступает на 31 тарелку колонны, в которой кубовым продуктом происходит отделение тяжёлой фракции, состоящей из ароматических углеводородов C₉+, с верха колонны выходит досилольная фракция, подогрев осуществляется за счёт рибойлера. Давление куба колонны составляет 750 кПа, а верхней части 700 кПа. Часть ксилольной фракции отбирается при помощи stripping-секции, поток направляется с 8 тарелки основной колонны. Для подогрева stripping-секции используется рибойлер, обеспечивающий наиболее чёткую ректификацию и высокую чистоту ксилольной фракции. С куба stripping-секции происходит отбор ксилольной фракции, которая может направляться на отгрузку в товарный парк.

В рассматриваемом варианте в отбираемом со stripping-секции потоке содержание

суммарных ксилолов составляет величину не менее 97,8% масс. при 84%-ом отборе ксилолов от их содержания в питании колонны. Приведенные результаты показывают возможность использования данного варианта технологической схемы для выделения ксилоловой фракции.

На рисунке 5 показан возможный вариант технологической схемы блока вторичной ректификации стабильного риформата с двумя последовательными ректификационными колоннами. Колонна Т-402 будет расположена после блока стабилизации, что позволит варьировать количество отводимого риформата на блок вторичной ректификации с помощью клапана, привязанного к расходомеру, который будет установлен на вновь монтируемую линию, а также позволит осуществлять ремонт данного блока без полной остановки секции риформинга.

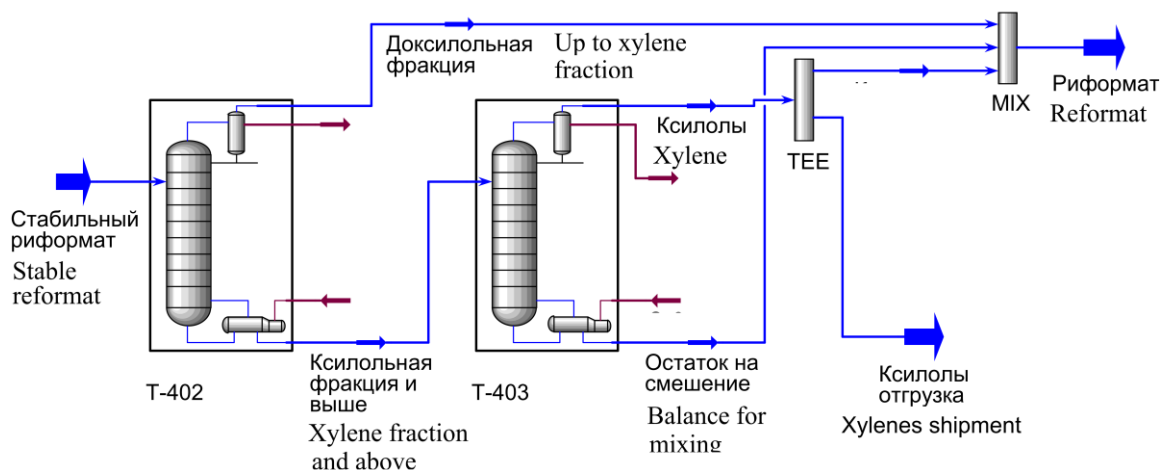


Рисунок 5. Схема блока вторичной ректификации риформата

Figure 5. Diagram of the reformat secondary rectification unit

Поток стабильного риформата поступает на 22 тарелку колонны Т-402, значения его технологических параметров представлены в таблице 2 (синий цвет – задаваемые значения, чёрный – расчётные данные).

Целью колонны является отведение доксилольной фракции. Кубовый продукт колонны, содержащий в своём составе ксилольную фракцию и выше, направляется в колонну Т-403.

Выполненными расчётами установлено, что для наиболее полного отделения доксилольной фракции из стабильного риформата колонна Т-402 должна содержать 50 клапанных трёх-поточных тарелок с КПД = 0,8. При уменьшении числа тарелок колонны Т-402 содержание близко кипящих компонентов, таких как этилбензол и толуол в кубовом продукте, возрастает, что ухудшает качество получаемых суммарных ксилолов.

Кубовый продукт колонны Т-402 поступает на 12 тарелку колонны Т-403, целью которой

является извлечение ксилольной фракции, которая будет отводиться с верха колонны. В качестве контактных устройств были выбраны клапанные трёх-поточные тарелки с КПД = 0,8. Количество тарелок (n) составляет 70 штук. Основные параметры колонн Т-402 и Т-403 приведены в таблице 3.

При уменьшении числа тарелок $n < 70$ чистота ксилольной фракции падает.

В рассматриваемом варианте двух колонной ректификационной системы в отбираемом потоке (поток Ксилолы отгрузки, рисунок 5) содержание суммарных ксилолов составляет величину не менее 97,8% масс. при 84%-ом отборе ксилолов от их содержания в питании колонны (таблица 4), то есть получены показатели, аналогичные варианту схемы колонны со стриппинг-секцией. Следовательно, использование данного варианта технологической схемы также возможно для выделения ксилоловой фракции.

Таблица 2.

Параметры потока, входящего в колонну Т-402

Table 2.

Parameters of the flow entering the T-402 column

Название потока Stream Name	Стабильный риформат Stable reformat
Доля паровой фазы Vapour / Phase Fraction	0,0000
Температура [° C] Temperature [° C]	38,50
Давление [кПа] Pressure [kPa]	882,6
Молярный поток [кмоль/ч] Molar Flow [kmole/h]	929,8
Массовый поток [кг/ч] Mass Flow [kg/h]	9,037 e + 004
Объёмный расход [м³/ч] Std Ideal Lig Vol Flow [m³h]	112,0
Молярная энтальпия [кДж/кгмоль] Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-4,689 e + 004
Молярная энтропия [кДж/кгмоль° C] Molar Entropy [kJ/kgmole° C]	32,31
Тепловой поток [кДж/ч] Heat Flow [kJ/h]	-4,360 e + 007

Таблица 3.

Параметры колонн Т-402 и Т-403

Table 3.

Parameters of columns T-402 and T-403

Параметры Parameters	Значение The value	параметра of the parameter
	Колонна Т-402 Column T-402	Колонна Т-403 Column T-403
Число тарелок Number of plates	50	70
Давление верха, кПа Top pressure, kPa	900	400
Давление куба, кПа Cube pressure, kPa	1000	600
Температура верха, ° C Top temperature, ° C	190	200
Температура куба, ° C Cube temperature, ° C	267	259
Высота колонны, м Column height, m	25,0	35,0
Диаметр колонны, м Column diameter, m	3,4	3,4

Таблица 4.

Компонентный состав суммарных ксилолов

Table 4.

The component composition of total xylenes

Компоненты Components	Содержание, % масс. Content, % by weight
Толуол Toluene	0,03
23-Мгексан 23-Mhexane	следы traces
2-Мгептан 2-Mheptane	следы traces
н-Октан n-Octane	следы traces
Этилбензол E-Benzene	0,77
м-Ксилол m-Xylene	43,38
п-Ксилол p-Xylene	16,24
о-Ксилол o-Xylene	38,25
н-Нонан n-Nonane	0,95
тр- С3 = Бензол tr-C3 = Benzene	0,38
Нафталин Naphthalene	следы traces
Итого Total	100,00

Для промышленной реализации предложенного технологического узла необходимо смонтировать узел вторичной ректификации, состоящий из двух колонн, где в качестве подогревателей куба колонн будут использоваться ребойлеры. Расход суммарных ксилолов будет контролироваться при помощи регулирующего клапана, зависящего от показателя расхода, а для более точного анализа необходима установка поточного анализатора содержания ароматических углеводородов, в том числе ксилолов.

Среди рассмотренных выше возможных схем вторичной ректификации риформата наибольшую эффективность показали схемы с применением каскада колонн (рисунок 5) и сложная колонна со стриппинг-секцией (рисунок 4). В обоих вариантах чистота товарного продукта (ксилольная фракция) составляла более 97%. Однако аппаратное оформление сложной колонны со стриппинг-секцией является менее предпочтительной, так как в процессе эксплуатации для обеспечения чёткости ректификации потребуется поддержание одинаковых давлений, а также усложняются схемы регулирования.

Для оценки возможности использования схемы, предложенной на рисунке 5, был проведён расчёт октанового числа стабильного риформата после выделения 35% ксилольной фракции от общего количества ксилолов. Установлено, что октановое число снизится в среднем на 0,4–0,5 пунктов, что незначительно повлияет на итоговый показатель автомобильного бензина

при компаундировании, при этом получается дополнительное количество товарного продукта (ксилолов).

По данным рынка базовых продуктов нефтехимии [19, 20] спрос и стоимость ксилольной фракции имеет тенденцию непрерывного роста. Выполненные экономические расчёты с помощью программного обеспечения Aspen PIMS показали, что, учитывая стоимость проектно-изыскательных работ, поставку материально-технических ресурсов, а также затраты на строительно-монтажные работы, срок окупаемости предлагаемого проекта составит 3,5 года.

Заключение

Анализ состава стабильного риформата установки CCR, а также выпускаемых автомобильных бензинов показал, что на ряде промышленных предприятий частичное извлечение суммарных ксилолов из риформата позволит получать как автомобильные бензины различных марок, так и важные продукты нефтехимии – ксилолы, которые можно применять как товарный продукт в качестве растворителей или направлять их на нефтехимические производства для получения других компонентов.

Предложена технологическая схема блока вторичной ректификации стабильного риформата, подобраны оптимальные режимы колонн, которые показали свою адекватность. Также были подобраны оптимальные направления потоков и предложены решения по управлению технологическим процессом.

Литература

- 1 Капизова Н.Б., Каратун О.Н. Выделение ароматических углеводородов из риформата смешанным экстрагентом // Технологии нефти и газа. 2012. № 5. С. 12–13.
- 2 Zhengxi Y.U. et al. Research progress and development trend in para-xylene production technology // Chemical Industry and Engineering Progress. 2020. V. 39. №. 12. P. 4984.
- 3 Каратун О.Н., Капизова Н.Б. Выделение ароматических углеводородов из катализата риформинга // Актуальные инженерные проблемы химических и нефтехимических производств: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Нижнекамск: ФГБОУ ВПО «КНИГУ», 2013. С. 36–38.
- 4 Козин В.Г., Мухамадиев А.А. Термодинамическое и физико-химическое исследование смешанных растворителей // Нефтехимия. 2002. Т. 42. №. 4. С. 311–316.
- 5 Коронатов Н.Н., Кузичкин Н.В., Федоров В.И. Выбор режимных параметров колонн блока ректификации установок суммарных ксилолов с целью получения целевой фракции оптимального состава // Химические науки. Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2014 С. 122–128.
- 6 Schleiffelder M., Staudt-Bickel C. Crosslinkable copolyimides for the membrane-based separation of p-/o-xylene mixtures // Reactive and Functional Polymers. 2001. V. 49. №. 3. P. 205–213.
- 7 Masakazu H.Zh. Molecularly imprinted cellulose membranes for pervaporation separation of xylene isomers // Yoshikawa Journal of Membrane Science. 2015. № 478. P. 148–154.
- 8 Durdáková T.-M. et al. Comparison of pervaporation and perstraction for the separation of p-xylene/m-xylene mixtures using PDMS and CTA membranes // Separation and Purification Technology, 2021. V. 274. P.118986.
- 9 Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: учебное пособие для вузов. Уфа: Гилем, 2002. 672 с.
- 10 Коронатов Н.Н., Кузичкин Н.В., Федоров В.И. Влияние фракционного состава сырья ксилольного риформинга на степень ароматизации углеводородов C8 // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2013. № 19. С. 75–77.
- 11 Lee J.Y., Kim Y.H., Hwang K.S. Application of a fully thermally coupled distillation column for fractionation process in naphtha reforming plant // Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. 2004. V. 43. №. 4. P. 495–501

- 12 Kim Y.H., Choi D.W., Hwang K.S. Industrial application of an extended fully thermally coupled distillation column to BTX separation in a naphtha reforming plant // Korean Journal of Chemical Engineering. 2003. V. 20. P. 755–761.
- 13 Polovina S., Herceg S., Šarac A.N.A.G. Designing a divided wall column // Petroleum Technology Quarterly. 2016. V. 21. №. 1. P. 89–99.
- 14 Kalita R., Kockler D., Ignat R-M. Use of Dividing Wall Columns for Process Intensification // Chemical Engineering. 2018. V. 69.
- 15 Pishnamazi M., Taghvaie Nakhjir, A., Rezakazemi M., Marjani A. et al. Mechanistic modeling and numerical simulation of axial flow catalytic reactor for naphtha reforming unit // Plos one. 2020. V. 15. №. 11. P. e0242343.
- 16 Baroutaji A, Wilberforce T, Ramadan M, Olabi AG. Comprehensive investigation on hydrogen and fuel cell technology in the aviation and aerospace sectors // Renew Sustain Energy Rev. 2019. V. 106. P. 31–40. doi: 10.1016/j.rser.2019.02.022
- 17 Oh Y.S., Nam J.H. A numerical study on the active reaction thickness of nickel catalyst layers used in a low-pressure steam methane reforming process // Int. J. Hydrogen Energy. 2021. V. 46. P. 7712–7721. doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.11.280
- 18 Wang Q., Xue M., Lin B Le, Lei Z., Zhang Z. Well-to-wheel analysis of energy consumption, greenhouse gas and air pollutants emissions of hydrogen fuel cell vehicle in China // J. Clean. Prod. 2020. V. 275. P. 123061. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123061
- 19 Волкова А.В. Рынок базовых продуктов нефтехимии: олефины и ароматические углеводороды // Высшая школа экономики. 2019. 70 с.
- 20 Shi Q. et al. A review of advances in production and separation of xylene isomers // Chemical Engineering and Processing-Process Intensification. 2021. V. 169. P. 108603.

References

- 1 Kapizova N.B., Karatun O.N. Separation of aromatic hydrocarbons from reformat with a mixed extractant. Oil and Gas Technologies. 2012. no. 5. pp. 12–13. (in Russian).
- 2 Zhengxi Y.U. et al. Research progress and development trend in para-xylene production technology. Chemical Industry and Engineering Progress. 2020. vol. 39. no. 12. pp. 4984.
- 3 Karatun O.N., Kapizova N.B. Separation of aromatic hydrocarbons from reforming catalyzate. Actual engineering problems of chemical and petrochemical industries: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference. Nizhnekamsk, FGBOU VPO "KNIGU", 2013. pp. 36-38. (in Russian).
- 4 Kozin V.G., Mukhamadiev A.A. Thermodynamic and physicochemical study of mixed solvents. Petrochemistry. 2002. vol. 42. no. 4. pp. 311-316. (in Russian).
- 5 Koronotov N.N., Kuzichkin N.V., Fedorov V.I. Selection of regime parameters of columns of the rectification block of the total xylenes unit in order to obtain the target fraction of optimal composition. Chemical sciences. Priority scientific directions: from theory to practice. 2014 pp. 122–128. (in Russian).
- 6 Schleiffelder M., Staudt-Bickel C. Crosslinkable copolyimides for the membrane-based separation of p/o-xylene mixtures. Reactive and Functional Polymers. 2001. vol. 49. no. 3. pp. 205-213.
- 7 Masakazu H.Zh. Molecularly imprinted cellulose membranes for pervaporation separation of xylene isomers. Yoshikawa Journal of Membrane Science. 2015. no. 478. pp. 148–154.
- 8 Durdáková T.-M. et al. Comparison of pervaporation and perstraction for the separation of p xylene/m xylene mixtures using PDMS and CTA membranes. Separation and Purification Technology, 2021. vol. 274. pp.118986.
- 9 Akhmetov S.A. Technology of deep oil and gas processing: a textbook for universities. Ufa, Gilem, 2002. 672 p. (in Russian).
- 10 Koronotov N.N., Kuzichkin N.V., Fedorov V.I. Influence of fractional composition of xylene reforming feedstock on the degree of aromatization of C8 hydrocarbons. Bulletin of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University). 2013. no. 19. p. 75–77. (in Russian).
- 11 Lee J.Y., Kim Y.H., Hwang K.S. Application of a fully thermally coupled distillation column for fractionation process in naphtha reforming plant. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. 2004. vol. 43. no. 4. pp. 495–501
- 12 Kim Y.H., Choi D.W., Hwang K.S. Industrial application of an extended fully thermally coupled distillation column to BTX separation in a naphtha reforming plant. Korean Journal of Chemical Engineering. 2003. vol. 20. pp. 755–761.
- 13 Polovina S., Herceg S., Šarac A.N.A.G. Designing a divided wall column. Petroleum Technology Quarterly. 2016. vol. 21. no. 1. pp. 89–99.
- 14 Kalita R., Kockler D., Ignat R-M. Use of Dividing Wall Columns for Process Intensification. Chemical Engineering. 2018. vol. 69.
- 15 Pishnamazi M., Taghvaie Nakhjir, A., Rezakazemi M., Marjani A. et al. Mechanistic modeling and numerical simulation of axial flow catalytic reactor for naphtha reforming unit. Plos one. 2020. vol. 15. no. 11. pp. e0242343.
- 16 Baroutaji A, Wilberforce T, Ramadan M, Olabi AG. Comprehensive investigation on hydrogen and fuel cell technology in the aviation and aerospace sectors. Renew Sustain Energy Rev. 2019. vol. 106. pp. 31–40. doi: 10.1016/j.rser.2019.02.022
- 17 Oh Y.S., Nam J.H. A numerical study on the active reaction thickness of nickel catalyst layers used in a low-pressure steam methane reforming process. Int. J. Hydrogen Energy. 2021. vol. 46. pp. 7712–7721. doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.11.280
- 18 Wang Q., Xue M., Lin B Le, Lei Z., Zhang Z. Well-to-wheel analysis of energy consumption, greenhouse gas and air pollutants emissions of hydrogen fuel cell vehicle in China. J. Clean. Prod. 2020. vol. 275. pp. 123061. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123061
- 19 Volkova A.V. Market of basic petrochemical products: olefins and aromatic hydrocarbons. Higher School of Economics. 2019. 70 p. (in Russian).
- 20 Shi Q. et al. A review of advances in production and separation of xylene isomers. Chemical Engineering and Processing-Process Intensification. 2021. vol. 169. pp. 108603.

Сведения об авторах

Павел И. Трифонов магистрант, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, svropov2018@ya.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, svropov2018@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

Information about authors

Pavel I. Trifonov master student, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.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>

Вклад авторов

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

Contribution

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 22/07/2024	После редакции 14/08/2024	Принята в печать 02/09/2024
Received 22/07/2024	Accepted in revised 14/08/2024	Accepted 02/09/2024

Особенности моделирования плазменного синтеза УНС в жидкой среде

Александр Н. Гаврилов¹gativrn@mail.ru 0000-0002-0132-4563Михаил В. Алексеев¹mwa1976@mail.ru 0000-0001-7768-8550Константин Д. Ильинов¹konstantin.iljinov@ya.ru¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Разработка углеродных наноструктурированных (УНС) материалов для промышленного применения является актуальной задачей, учитывая их широкое использование в различных отраслях. Основной целью исследования было рассмотреть особенности метода плазменного синтеза УНС в жидкой среде и подход определения рациональных параметров технологического процесса. Рассмотрены материалы, получаемые электродуговым методом в жидкой среде, и сама установка синтеза. Показаны существенные отличия синтеза УНС в жидкой среде от использования традиционной газовой буферной среды. Обозначены методы математического моделирования, позволяющие описывать плазменные процессы применительно к рассматриваемому синтезу. Показана целесообразность использования кинетического подхода для моделирования плазменных процессов синтеза УНС в жидкой среде. Использование системы уравнений Больцмана для каждого вида компонента плазмы межэлектродного пространства, дополненных условием парных упругих и неупругих столкновений, позволяет рассматривать процессы движения и взаимодействия частиц. Это дает возможность прогнозировать образование в плазме кластерных групп со связями C–C, C=C формирующих пентагоны и гексагоны, которые образуют архитектуру УНС и определяют количественный выход продукта синтеза. Дополнение модели системой уравнений Максвелла, позволяет описать параметры электромагнитного поля, а использование уравнения теплопроводности Фурье с учетом подвижных границ системы выполнить расчет температурного поля объекта и найти начальные скорости и энергии частиц. Предложенный подход математического моделирования плазменного синтеза, позволяет найти рациональные технологические условия синтеза УНС в жидкой среде, определяющие получение конечного продукта с заданными свойствами и максимальным выходом.

Ключевые слова: углеродные наноструктуры, плазма, синтез, жидкая среда, моделирование.

Features of modeling the plasma synthesis of ONC in a liquid medium

Alexander N. Gavrilov¹gativrn@mail.ru 0000-0002-0132-4563Mikhail V. Alekseev¹mwa1976@mail.ru 0000-0001-7768-8550Konstantin D. Ilyinov¹konstantin.iljinov@ya.ru¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The development of carbon nanostructured (CNS) materials for industrial applications is an urgent task, given their widespread use in various industries. The main purpose of the study was to consider the features of the method of plasma synthesis of CNS in a liquid medium and the approach to determining the rational parameters of the technological process. The materials obtained by the electric arc method in a liquid medium and the synthesis unit itself are considered. Significant differences between the synthesis of CNS in a liquid medium and the use of a traditional gas buffer medium are shown. The methods of mathematical modeling are indicated, which make it possible to describe plasma processes in relation to the synthesis under consideration. The expediency of using a kinetic approach for modeling plasma processes of synthesis of CNS in a liquid medium is shown. The use of a system of Boltzmann equations for each type of plasma component of the interelectrode space, supplemented by the condition of paired elastic and inelastic collisions, allows us to consider the processes of motion and interaction of particles. This makes it possible to predict the formation in plasma of cluster groups with C–C, C=C bonds forming pentagons and hexagons, which form the architecture of the CNS and determine the quantitative yield of the synthesis product. Supplementing the model with a system of Maxwell's equations allows us to describe the parameters of the electromagnetic field, and using the Fourier thermal conductivity equation, taking into account the moving boundaries of the system, to calculate the temperature field of the object and find the initial velocities and energies of particles. The proposed approach of mathematical modeling of plasma synthesis makes it possible to find rational technological conditions for the synthesis of CNS in a liquid medium, which determine the production of the final product with specified properties and maximum yield.

Keywords: carbon nanostructures, plasma, synthesis, liquid medium, modeling.

Введение

Разработка углеродных наноструктурированных (УНС) материалов является одной из актуальных задач современной науки и промышленности. УНС обладают уникальными физико-химическими свойствами, которые делают их востребованными в различных областях, включая электронику, медицину, энергетику и

космическую инженерию. Они служат отличными наполнителями и армирующими материалами для полимерных смол, что позволяет создавать легкие композитные материалы с новыми или улучшенными характеристиками (механическая прочность, электропроводность,

Для цитирования

Гаврилов А.Н., Алексеев М.В., Ильинов К.Д. Особенности моделирования плазменного синтеза УНС в жидкой среде // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 267–273. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-267-273

For citation

Gavrilov A.N., Alekseev M.V., Ilyinov K.D. Features of modeling the plasma synthesis of ONC in a liquid medium. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 267–273. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-267-273

термоустойчивость и др.). Кроме того, фуллерены используются в смазочных материалах для создания защитных пленок, снижающих трение, что позволяет значительно увеличивать срок службы оборудования. Нанотрубки применяются для хранения энергии, фильтрации воды, тонкопленочной электроники, покрытий стойких к температурным перепадам и механическим повреждениям, а также в производстве чувствительных сенсоров и дисплеев с высокой четкостью изображения [1].

Одним из вопросов промышленного синтеза УНС, является нахождение технологических условий получения, обеспечивающих высокий выход определенных однородных структур. Среди простых методов получения качественных УНС значимую роль играют плазменные методы, основанные на сублимации углерода низкотемпературной плазмой с последующей реакрагацией в холодной области [2].

Одним из перспективных методов получения качественного продукта является электродуговой синтез в жидкой среде с использованием катализатора [3]. Данный метод синтеза позволяет получать несколько различных типов УНС: фуллерены; одностенные и многостенные нанотрубки; нановолокна; нанорога; квантовые наноструктуры; окисленный графен и аморфный углерод (рисунок 1).

Получаемые УНС отличаются молекулярной структурой и соответственно свойствами, представляющие интерес для промышленности.

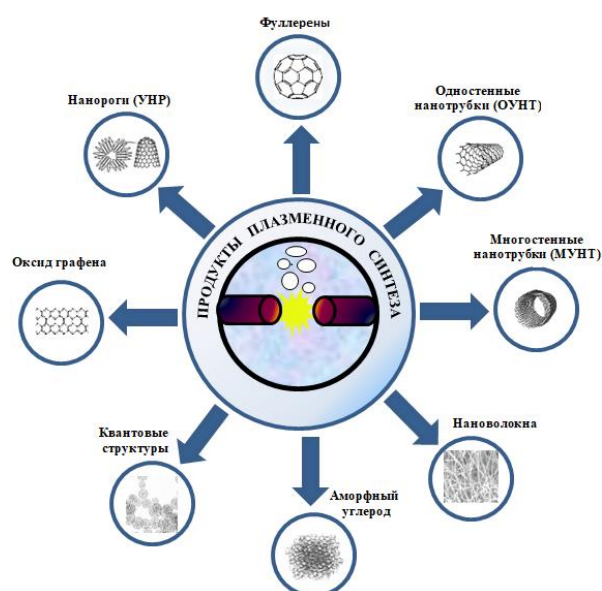


Рисунок 1. Материалы, получаемые электродуговым методом в жидкой среде

Figure 1. Materials produced by electric arc method in liquid medium

Фуллерены олицетворяют собой молекулы, состоящие из атомов углерода, соединенных

в пентагоны и гексагоны ковалентными связями С–С и С = С, число которых четко и может изменяться от 24 и более 600. Наиболее стабильными и соответственно перспективными для использования в промышленности являются фуллерены C_{60} и C_{70} . Фуллерен C_{70} , отличается от C_{60} вставкой полосы из 10 атомов углерода в экваториальную область C_{60} , из-за чего молекула C_{70} оказывается более вытянутой. Фуллерены, содержащие более 70 атомов углерода, имеют более сложный изомерный состав [4].

Одностенные (ОУНТ) и многостенные (МУНТ) углеродные нанотрубки представляют собой вытянутые структуры

Короткая, неправильной формы закрытая углеродная нанотрубка, вершиной которой является наноконус, представляет собой нанорог.

Квантовые наноструктуры – это наночастицы размером от 2 до 10 нм, имеющее высокий квантовый выход фотолюминесценции в обратном направлении излучению.

Цель работы – рассмотреть рациональный метод синтеза УНС и возможность оценки влияния технологических условий на него, позволяющих найти условия, обеспечивающие высокий выход и однородность конечного продукта в промышленных масштабах, повысить эффективность процесса.

Результаты

Предлагаемая установка плазменного синтеза УНС представляет собой камеру, внутри которого создается электродуговой разряд. Для создания дуговой разрядки используются два электрода, на которые подается электрический ток. Катод изготавливается из материала, устойчивого к высоким температурам и коррозии. Анод представляет собой графитовый электрод с высокой степени очистки от различных примесей, содержащий катализатор.

На выход и качество получаемого продукта, влияет множество факторов: катализатор, вид и параметры тока, температура, давление, размеры реакционной камеры, межэлектродное расстояние, скорость движения анода, расположение, соотношение геометрических размеров электродов и др.

Поэтому установка синтеза должна быть оснащена автоматизированной системой контроля и регулирования необходимых технологических параметров: температура жидкой среды в камере, плотность тока межэлектродного разряда, напряжение на электродах, межэлектродное расстояние, что позволяет обеспечивать стабильные условия протекания реакции [5].

Рассматриваемый процесс синтеза УНС начинается с подготовки катализаторной смеси, непосредственно влияющей на выход, форму

и размером наночастиц. Катализатор вводится непосредственно в анодный электрод, размещенный в камере синтеза. На электроды подают напряжение и поддерживают постоянный ток. Плотность поддерживаемого тока зависит от межэлектродного промежутка, параметров электродов и непосредственно влияет на синтезируемые УНС. В межэлектродном пространстве образуется низкотемпературная плазма. При использовании жидкой среды вокруг плазмы дугового разряда создается газообразная среда в виде пузыря. Давление, состав и объем пузыря также влияют на размер формируемых частиц. При этом катод окруженный жидкостью, испытывает интенсивное охлаждение, что существенно влияет на конечный продукт. В условиях высокой температуры, скоростей, давления атомы и ионы реагентов конденсируясь, образуют наночастицы, которые при разных условиях синтеза могут осаждаться на катоде (депозитный осадок) или стенках реакционной камеры давая разный выход и качество.

Схема получения УНС данным способом представлена на рисунке 2.

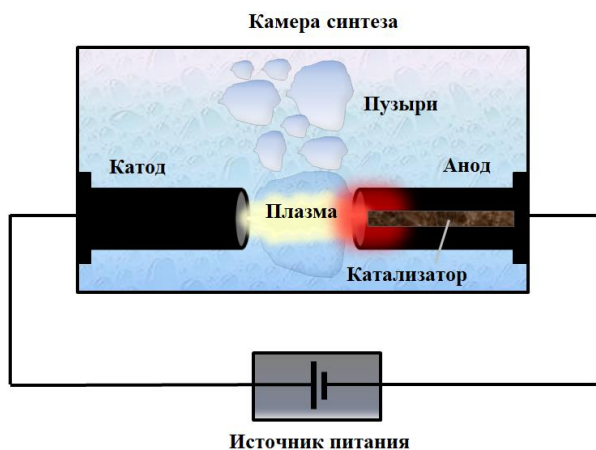


Рисунок 2. Схема получения УНС методом плазменной возгонки графитового сырья в жидкой среде

Figure 2. Scheme for production of CNTs by plasma sublimation of graphite feedstock in liquid medium

Синтезу УНС в жидкой среде присутствуют существенные отличия от использования газовой буферной среды (гелий, аргон и др.):

- межэлектродное расстояние, зона плазмы, а также необходимый ток между электродами в жидкой среде значительно меньше, чем в газовой буферной среде;

- вокруг электрической дуги создается газообразная среда в виде пузыря (при использовании дистиллированной воды пузырьки в основном состоят из паров углерода, водяного пара, водорода и окиси углерода), состав и объем которого влияют на размер синтезируемых

наночастиц, граница раздела газа и жидкости в пузырьке действует как стенка контейнера;

- катод окруженный жидкостью испытывает более интенсивное охлаждение, чем в газовой буферной среде, что увеличивает скорость осаждения образованных в плазме кластерных групп углерода формирующих УНС; быстрое изменение температуры непосредственно влияет на рекомбинацию ионов, присутствующих в канале разряда, а граница раздела газа и жидкости в пузырьке, действует как стенка контейнера.

Технологически синтез УНС на основе возгонки графита плазмой дугового разряда в жидкой среде схож с процессом подводной электродуговой сварки. Однако условия синтеза, использование жидкой среды с низкой удельной электропроводностью (например, дистиллированная вода), протекание процессов в плазме с присутствием среды газообразного пузыря и катализатора, испарение графитового сырья и конденсация углеродных кластеров, существенно отличают данный метод от процессов сварки [6].

Нахождение условий проведения такого процесса экспериментальными исследованиями малоэффективно и затруднительно. Поэтому для определения рациональных технологических параметров синтеза необходимо использовать методы имитационного моделирования процессов.

Применение фундаментальных законов физики и химии для моделирования процессов, осложнено тем, что в плазме происходит одновременно множество взаимодействующих фазовых и структурных переходов с определенными особенностями, разделить которые зачастую невозможно. Поэтому для описания использовать существующие модели не представляется возможным.

Математическое моделирование таких процессов является сложной ресурсоемкой задачей. Для этого, возможно использовать подходы разных уровней иерархической детализации компонентов, дающих разную точностью описания объекта. Методы, позволяющие описать плазменные процессы, представлены на рисунке 3.

Обозначенные методы математического моделирования процессов получения УНС условно можно разделить на классические, полуклассические и квантово-механические. Они отличаются помимо степени детализации и точности описания объекта, также возможностями учета специфики физических процессов, происходящих в плазме (движение, столкновение, взаимодействие частиц) и вычислительными затратами необходимыми для численного решения задачи [7].



Рисунок 3. Методы математического моделирования процессов синтеза УНС

Figure 3. Methods of mathematical modeling of CNS synthesis processes

Классическим моделям требуются малые вычислительные затраты, однако они обеспечивают низкую точность математического описания объекта и не позволяют детализировано рассматривать процессы взаимодействия в плазме. Полуклассические модели обеспечивают приемлемый компромисс между вычислительными затратами и точностью описания физических явлений, но не дают возможность исследовать процессы на атомном уровне, которые необходимы для понимания формирования УНС в плазме. Использование квантомеханического подхода, обеспечивает высокую точность описания нужных событий в плазме, но создает сложности в построении модели и требует очень больших вычислительными затрат при численном решении [8, 9].

Наиболее подходят для моделирования динамики низкотемпературной плазмы применительно к рассматриваемому синтезу УНС два подхода разных уровней детализации:

- магнитогидродинамическая (МГД) теория (рассматривающая плазму как проводящую жидкость, обладающая особыми свойствами);
- кинетическая теория (оперирующая с функцией распределения заряженных частиц по координатам и импульсам) [10].

Условием применимости МГД описания является редкая плазма, в которой нет влияния заряженных частиц друг на друга, не учитываются

их столкновения, то есть при расчете движения заряженных частиц рассматриваются только внешние электромагнитные поля, которые не зависят от потоков заряженных частиц.

Применительно к методу плазменного синтеза УНС в жидкой среде для описания процессов движения и взаимодействия частиц целесообразно использовать квантово-кинетические модели. Именно они позволяют описывать процессы зарождения и роста кластерных групп углерода формирующих УНС в плазме в большом диапазоне линейных размеров, а также получить более простые модели, например, по сравнению с шредингеровскими.

В рассматриваемой анизотропной плазме дугового разряда происходит одновременное движение и взаимодействие различных частиц (электронов, ионов углерода, катализатора, среды), зарождение и рост кластерных групп со связями C–C, C = C, C = C–C формирующих УНС на основе упругих и неупругих столкновений частиц,

Непосредственно на кинетику происходящих явлений в плазме влияют электромагнитные процессы, среда, катализатор. Происходит изменение конфигурации рабочей зоны, связанной с разрушением исходного графитового сырья и ростом депозита на основе процессов тепло и массообмена.

Поэтому для построения модели такой сложной задачи, можно применить кинетический подход, использующий систему уравнение Больцмана для каждого вида частиц плазмы, дополненная условием парных столкновений между частицами.

$$\frac{\partial f_{\alpha}}{\partial t} + \vec{\mathcal{G}} \frac{\partial f_{\alpha}}{\partial \vec{r}} - \frac{q_{\alpha}}{m_{\alpha}} (\vec{E} + \frac{1}{c} [\vec{\mathcal{G}}, \vec{B}]) \frac{\partial f_{\alpha}}{\partial \vec{\mathcal{G}}} = \frac{\partial f_{\alpha}}{\partial t} \Big|_{CT} \quad (1)$$

где f_{α} – функция распределения компонентов плазмы; $\alpha = e, c, h, s$ – тип частицы в плазме (e – электрон, c – углерод, h – газ пузыря, s – катализатор); $\vec{r}$ – координаты частиц; $\vec{E}$ – напряженность электрического поля; $\vec{B}$ – магнитная индукция; $\vec{\mathcal{G}}$ – поле скоростей частиц; q_{α}, m_{α} – заряд и масса частицы.

Оператор столкновений в правой части уравнения (1) представляет собой сумму интегралов парных столкновений частиц друг с другом в виде:

$$\frac{\partial f_{\alpha}}{\partial t} \Big|_{CT} = \sum_{k=e,c,h,s} \iint (f'_{\alpha} f'_k - f_{\alpha} f_k) |\vec{\mathcal{G}} - \vec{\mathcal{G}}'| d\sigma d\vec{\mathcal{G}}', \quad (2)$$

где f, f' – функции распределения частиц до столкновения и после столкновения; $\vec{\mathcal{G}}, \vec{\mathcal{G}}'$ – скорости частиц до и после столкновения; $d\sigma = 4R_1 R_2 \cos \theta d\Omega$ – дифференциальное эффективное поперечное сечение рассеяния частиц с радиусами R_1 и R_2 на телесный угол $d\Omega$; θ – угол между вектором скорости сталкивающихся частиц и линией движения, V – объем области плазмы.

Интеграл столкновений (2) учитывает все компоненты плазмы, взаимодействующие друг с другом. Он дополняется условиями упругих и неупругих парных столкновений между частицами. При неупругом столкновении частиц углерода, происходит преобразование энергии, и создаются энергетические условия образования ковалентных связей C–C, C = C формирующих кластерные группы.

Для нахождения параметров электромагнитного поля уравнения Больцмана (1) необходимо дополнить системой уравнений Максвелла, описывающей самосогласованное электрическое поле.

Процессы при электродуговом синтезе УНС относятся к высокотемпературным технологическим процессам, при которых температура плазмы, нагрев и охлаждение электродов оказывают прямое влияние на качество продукта в целом [11–20]. Поэтому в основу модели теплообмена применительно для рассматриваемого

процесса должна быть положена общая теория теплопроводности с определенными граничными условиями. Проведенный анализ процесса электродугового синтеза УНС позволил выделить основные способы передачи тепла в рассматриваемой системе в плазме – теплопроводность и конвекция, излучением можно пренебречь вследствие незначительного влияния на процесс. Использование уравнений теплопроводности Фурье с учетом подвижных границ позволяет выполнить расчет температурного поля и найти начальные скорости и энергии частиц.

Наличие огромного числа взаимодействующих и движущихся частиц в плазме, требует дополнительной разработки специальных эффективных численных методов обработки больших объемов данных с использованием параллельных вычислений, необходимых для расчетов параметров процессов такой математической модели.

Заключение

Нахождение рациональных технологических условий синтеза УНС в жидкой среде, позволяющих получать конечный продукт с заданными свойствами и максимальным выходом возможно на основе предварительного математического моделирования процесса.

Разработка математической модели с учетом значительного количества факторов, влияющих на синтез, является сложной ресурсоемкой задачей.

Рассмотренные в работе возможные методы описания процессов, происходящих в низкотемпературной плазме, позволили сделать вывод о целесообразности использования кинетического подхода для описания рассмотренного плазменного синтеза УНС в жидкой среде. Использование уравнения Больцмана для описания каждого вида компонента плазмы, с учетом парных упругих и неупругих взаимодействий между частицами, позволяет рассматривать процессы их движения и взаимодействия. Это позволяет прогнозировать образование в плазме кластерных групп со связями C–C, C = C формирующих пентагоны и гексагоны, которые образуют архитектуру УНС и определяют количественный выход синтезируемого продукта.

Для описания параметров электромагнитного поля дугевого разряда в модели необходимо использовать уравнения Максвелла, описывающих самосогласованное поле.

Использование дополнительно уравнения теплопроводности Фурье с учетом подвижных границ системы катод-плазма-анод позволит выполнить расчет температурного поля рассматриваемого объекта и найти начальные скорости и энергии частиц.

Литература

- 1 Thiruvengadathan R., Sundriyal P., Roy S.C., Bhattacharya S. Carbon Nanostructures: Fundamentals to Applications // AIP Publishing, 2021. P. 1-14. doi: 10.1063/9780735423114
- 2 Бидилдаева А.А., Мышырова Ж.К., Тасимханова А.Т., Агасиева С.В. Перспективные методы синтеза углеродных нанотрубок // Нанотехнологии: разработка, применение - XXI век. 2021. Т. 13. № 1. С. 36-47. doi: 10.18127/j22250980-202101-03
- 3 Бураков В.С., Невар Е.А., Неделько М.И., Тарасенко Н.В. Синтез и модификация наночастиц молекулярных соединений в плазме электрических разрядов в жидкости // Российский химический журнал. 2013. Т. 57. № 3-4. С. 17-30.
- 4 Холодова О.М., Пруцакова Н.В., Жданова Т.П., Лаврентьев А.А. и др. Изучение из первых принципов атомной и электронной структуры в гибридных системах графен-фуллерен // Письма о материалах. 2020. Т. 10. № 4 (40). С. 365-370. doi: 10.22226/2410-3535-2020-4-365-370
- 5 Chao-Mujica F.J., Hernández L.G., Camacho-López S., Camacho M. Carbon quantum dots by submerged arc discharge in water: Synthesis, characterization, and mechanism of formation // Journal of Applied Physics. 2021. V. 129. № 16. P. 163301. doi:10.1063/5.0040322
- 6 Никулин В.Е., Паршин С.Г., Кархин В.А., Левченко А.М. и др. Исследование термических циклов и упрочнения зоны термического влияния при подводной мокрой сварке судостроительной стали // Сварка и диагностика. 2024. № 2. С. 18-23. doi: 10.52177/2071-5234
- 7 Abramov G.V., Gavrilov A.N. Modeling of carbon nanostructures synthesis in low-temperature plasma // Advanced Materials & Technologies. 2019. №1. С. 21-34. doi: 10.17277/amt.2019.01.pp.021-034
- 8 Гришин Ю.М., Мяо Л. Численное моделирование процесса испарения монодисперсных кварцевых частиц в потоке аргоновой плазмы индукционного плазмотрона // Теплофизика высоких температур. 2020. Т. 58. № 1. С. 3-14. doi: 10.31857/S004036442001007X
- 9 Банковский А.С., Захаров А.А., Потапов А.А. Моделирование баланса электронов и пространственного заряда в газоразрядной плазме // Математические методы в технологиях и технике. 2021. № 11. С. 67-70. doi: 10.52348/2712-8873_MMTT_2021_11_67
- 10 Гаврилов А.Н., Суханова Н.В., Рылев С.С. Кинетический подход построения модели плазменных процессов синтеза углеродных наноструктур // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 5. С. 862-868. doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-5-862-868
- 11 Шавелкина М.Б., Иванов П.П., Амиров Р.Х., Бочаров А.Н. Влияние профиля температур на состав конденсированного углерода в плазменной струе // Журнал структурной химии 2020. Т. 61. № 4. С. 623-630. doi: 10.26902/JSC_id54019
- 12 Saito G., Akiyama T. Nanomaterial synthesis using plasma generation in liquid // Journal of nanomaterials. 2015. V. 2015. № 1. P. 123696.
- 13 Aissou T. et al. Controlling carbon nanostructure synthesis in thermal plasma jet: Correlation of process parameters, plasma characteristics, and product morphology // Carbon. 2024. V. 217. P. 118605.
- 14 Pashova K. et al. Graphene synthesis by microwave plasma chemical vapor deposition: Analysis of the emission spectra and modeling // Plasma Sources Science and Technology. 2019. V. 28. № 4. P. 045001.
- 15 Saifutdinov A., Timerkaev B. Modeling and comparative analysis of atmospheric pressure anodic carbon arc discharge in argon and helium—producing carbon nanostructures // Nanomaterials. 2023. V. 13. № 13. P. 1966.
- 16 Bulychev N.A. Obtaining of gaseous hydrogen and solid carbon nanoparticles by pyrolysis of liquid-phase media in low-temperature plasma // International Journal of Hydrogen Energy. 2021. V. 46. № 76. P. 37768-37773.
- 17 Gerasimenko A.Y. et al. Hybrid carbon nanotubes–graphene nanostructures: Modeling, formation, characterization // Nanomaterials. 2022. V. 12. № 16. P. 2812.
- 18 Napalkov O.G. et al. Simulation of the Carbon Synthesis Process in Atmospheric-Pressure Microwave Discharge in an Argon–Ethanol Gas Mixture // High Energy Chemistry. 2021. V. 55. P. 525-530.
- 19 Law V.J., Dowling D.P. Application of microwave oven plasma reactors for the formation of carbon-based nanomaterials // 13th Chaotic Modeling and Simulation International Conference 13. Springer International Publishing, 2021. P. 467-486.
- 20 Arora N., Sharma N.N. Arc discharge synthesis of carbon nanotubes: Comprehensive review // Diamond and related materials. 2014. V. 50. P. 135-150.

References

- 1 Thiruvengadathan R., Sundriyal P., Roy S.C., Bhattacharya S. Carbon Nanostructures: Fundamentals to Applications. AIP Publishing. pp. 1-14. doi: 10.1063/9780735423114
- 2 Bidildaeva A.A., Myshyova Zh.K., Yessimkhanova A.T., Agasieva S.V. Promising methods for the synthesis of carbon nanotubes. Nanotechnology: development, application - XXI century. 2021. vol. 13. no. 1. pp. 36-47. doi: 10.18127/j22250980-202101-03 (in Russian).
- 3 Burakov V.S., Nevers E.A., Nedelko M.I., Tarasenko N.V. Synthesis and modification of nanoparticles of molecular compounds in plasma of electric discharges in liquid. Russian Chemical Journal. 2013. vol. 57. no. 3-4. pp. 17-30. (in Russian).
- 4 Kholodova O.M., Prutsakova N.V., Zhdanova T.P., Lavrentiev A.A. et al. The study of the first principles of atomic and electronic structure in hybrid graphene-fullerene systems. Letters on Materials. 2020. vol. 10. no. 4 (40). pp. 365-370. doi: 10.22226/2410-3535-2020-4-365-370 (in Russian).
- 5 Chao-Mujica F.J., Hernández L.G., Camacho-López S., Camacho M. Carbon quantum dots by submerged arc discharge in water: Synthesis, characterization, and mechanism of formation. Journal of Applied Physics. 2021. vol. 129. no.16. pp.163301. doi: 10.1063/5.0040322 (in Russian).
- 6 Nikulin V.E., Parshin S.G., Karkhin V.A., Levchenko A.M. et al. Investigation of thermal cycles and hardening of the zone of thermal influence during underwater wet welding of shipbuilding steel. Welding and diagnostics. 2024. no. 2. pp. 18-23. doi: 10.52177/2071-5234 (in Russian).

- 7 Abramov G.V., Gavrilo A.N. Modeling of carbon nanostructures synthesis in low-temperature plasma. *Advanced Materials & Technologies*. 2019. no. 1. pp. 21-34. doi: 10.17277/amt.2019.01.pp.021-034 (in Russian).
- 8 Grishin Yu.M., Mo L. Numerical simulation of the evaporation process of monodisperse quartz particles in the argon plasma stream of an induction plasma torch. *Thermophysics of high temperatures*. 2020. vol. 58. no. 1. pp. 3-14. doi: 10.31857/S004036442001007X (in Russian).
- 9 Bankovskiy A.S., Zakharov A.A., Potapov A.A. Modeling of the balance of electrons and spatial charge in a gas-discharge plasma. *Mathematical methods in technologies and engineering*. 2021. no. 11. pp. 67-70. doi: 10.52348/2712-8873_MMTT_2021_11_67 (in Russian).
- 10 Gavrilo A.N. Sukhanova N.V., Pylev S.S. Kinetic approach to constructing a model of plasma processes for the synthesis of carbon nanostructures. *Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, mechanics and Optics*. 2019. vol. 19. no. 5. pp. 862-868. doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-5-862-868 (in Russian).
- 11 Shavelkina M.B., Ivanov P.P., Amirov R.X., Bocharov A.N. Influence of the temperature profile on the composition of condensed carbon in a plasma jet. *Journal of Structural Chemistry* 2020. vol. 61. no. 4. pp. 623-630. doi: 10.26902/JSC_id54019 (in Russian).
- 12 Saito G., Akiyama T. Nanomaterial synthesis using plasma generation in liquid. *Journal of nanomaterials*. 2015. vol. 2015. no. 1. pp. 123696.
- 13 Aissou T. et al. Controlling carbon nanostructure synthesis in thermal plasma jet: Correlation of process parameters, plasma characteristics, and product morphology. *Carbon*. 2024. vol. 217. pp. 118605.
- 14 Pashova K. et al. Graphene synthesis by microwave plasma chemical vapor deposition: Analysis of the emission spectra and modeling. *Plasma Sources Science and Technology*. 2019. vol. 28. no. 4. pp. 045001.
- 15 Saifutdinov A., Timerkaev B. Modeling and comparative analysis of atmospheric pressure anodic carbon arc discharge in argon and helium—producing carbon nanostructures. *Nanomaterials*. 2023. vol. 13. no. 13. pp. 1966.
- 16 Bulychev N.A. Obtaining of gaseous hydrogen and solid carbon nanoparticles by pyrolysis of liquid-phase media in low-temperature plasma. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2021. vol. 46. no. 76. pp. 37768-37773.
- 17 Gerasimenko A.Y. et al. Hybrid carbon nanotubes–graphene nanostructures: Modeling, formation, characterization. *Nanomaterials*. 2022. vol. 12. no. 16. pp. 2812.
- 18 Napalkov O.G. et al. Simulation of the Carbon Synthesis Process in Atmospheric-Pressure Microwave Discharge in an Argon–Ethanol Gas Mixture. *High Energy Chemistry*. 2021. vol. 55. pp. 525-530.
- 19 Law V.J., Dowling D.P. Application of microwave oven plasma reactors for the formation of carbon-based nanomaterials. *13th Chaotic Modeling and Simulation International Conference* 13. Springer International Publishing, 2021. pp. 467-486.
- 20 Arora N., Sharma N.N. Arc discharge synthesis of carbon nanotubes: Comprehensive review. *Diamond and related materials*. 2014. vol. 50. pp. 135-150.

Сведения об авторах

Александр Н. Гаврилов д.т.н., профессор, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ganivrn@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0132-4563>

Михаил В. Алексеев к.т.н., доцент, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mwa1976@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7768-8550>

Константин Д. Ильинов студент, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, индекс, г. Воронеж, 394036, Россия, konstantin.iljinov@ya.ru

Information about authors

Alexander N. Gavrilo Dr. Sci. (Engin.), professor, automated control systems for processes and productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ganivrn@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0132-4563>

Mikhail V. Alekseev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, automated control systems for processes and productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, mwa1976@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7768-8550>

Konstantin D. Ilyinov student, engineer, automated control systems for processes and productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, konstantin.iljinov@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.

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 19/07/2024	После редакции 09/08/2024	Принята в печать 30/08/2024
Received 19/07/2024	Accepted in revised 09/08/2024	Accepted 30/08/2024

Сравнительное исследование геометрических характеристик микрокапилляров для проведения химических реакций

Михаил В. Шишанов	¹	shishanov.m.v@muctr.ru	 0000-0003-2861-5878
Христофор Герман Кук	¹	kuk.khristofor@inbox.ru	 0009-0005-7115-6760
Элиза Л. Геворкян	¹	eliza.gevorkyan15@mail.ru	 0009-0005-4510-5046
Александр Ю. Ботнев	¹	botnev2001@gmail.com	 0009-0006-2055-4205

¹ Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Миусская площадь, д.9 стр.1, г. Москва, 125047, Россия

Аннотация. В данной статье проведено комплексное сравнительное исследование различных геометрических характеристик микрокапилляров, которые используются для проведения химических реакций. Рассмотрены три основные формы микрокапилляров: серпантинная, фрактальная и лобулярная. Основное внимание уделено тому, как геометрия микрокапилляров влияет на ключевые параметры реакционного процесса, включая эффективность смешения реагентов, распределение потоков, теплопередачу и скорость реакции. Оптимизация этих параметров является крайне важной для повышения производительности химических процессов в микромасштабах. Для моделирования использовалось программное обеспечение COMSOL Multiphysics, которое дало возможность провести оценку гидродинамических характеристик, таких как число Рейнольдса, коэффициенты перемешивания и профиль распределения температуры. В исследование также включены расчеты критериев, используемых для количественной оценки эффективности смешения реагентов. Кроме численного моделирования, проведены эксперименты, результаты которых использовались для верификации полученных расчетных данных. Это позволило повысить точность и достоверность выводов. Результаты исследования показывают, что выбор геометрии микрокапилляров оказывает значительное влияние на гидродинамические параметры течения и, следовательно, на общую эффективность химических реакций. Например, серпантинная геометрия может обеспечивать лучшее перемешивание на ранних этапах реакции, тогда как кишкообразная форма может быть оптимальной для длительных процессов с высокой скоростью теплообмена. Выводы данной работы содержат практические рекомендации по выбору геометрии микрокапилляров в зависимости от специфики химической реакции. На примере самоконденсации ацетона была выявлена подходящая геометрия – лобулярная. Рекомендации направлены на повышение производительности, улучшение качества продуктов реакции и снижение энергетических затрат.

Ключевые слова: микроканалы, геометрические характеристики, число Рейнольдса, число Пекле, перепад давления, смешивание, микрофлюидные системы.

Comparative study of geometric characteristics of microcapillaries for chemical reactions

Mikhail V. Shishanov	¹	shishanov.m.v@muctr.ru	 0000-0003-2861-5878
Christopher German Cook	¹	kuk.khristofor@inbox.ru	 0009-0005-7115-6760
Eliza L. Gevorkyan	¹	eliza.gevorkyan15@mail.ru	 0009-0005-4510-5046
Alexander Yu. Botnev	¹	botnev2001@gmail.com	 0009-0006-2055-4205

¹ Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya Square, 9 str.1, Moscow, 125047, Russia

Abstract. In this paper, a comprehensive comparative study of various geometrical characteristics of microcapillaries used for chemical reactions is carried out. Three main shapes of microcapillaries are considered: serpentine, fractal and lobular. The focus is on how microcapillary geometry affects key parameters of the reaction process, including reactant mixing efficiency, flow distribution, heat transfer, and reaction rate. Optimization of these parameters is critical to improve the performance of chemical processes at the microscale. COMSOL Multiphysics software was used for the simulations, which enabled the evaluation of hydrodynamic characteristics such as Reynolds number, mixing coefficients and temperature distribution profile. The study also includes calculations of criteria used to quantify the efficiency of reagent mixing. In addition to numerical modeling, experiments were conducted, the results of which were used to verify the obtained calculated data. This improved the accuracy and reliability of the conclusions. The results of the study show that the choice of microcapillary geometry has a significant influence on the hydrodynamic parameters of the flow and, consequently, on the overall efficiency of chemical reactions. For example, serpentine geometry may provide better mixing in the early stages of the reaction, whereas a brush-like shape may be optimal for long-term processes with high heat transfer rates. The conclusions of this work provide practical recommendations for the choice of microcapillary geometry depending on the specifics of the chemical reaction. Using the example of acetone self-condensation, a suitable geometry, lobular, was identified. The recommendations are aimed at increasing productivity, improving the quality of reaction products and reducing energy costs.

Keywords: microchannels, geometrical characteristics, Reynolds number, Peclet number, pressure drop, mixing, microfluidic systems.

Для цитирования

Шишанов М.В., Кук Х.Г., Геворкян Э.Л., Ботнев А.Ю. Сравнительное исследование геометрических характеристик микрокапилляров для проведения химических реакций // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 274–281. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-274-281

For citation

Shishanov M.V., Cook K.G., Gevorkyan E.L., Botnev A.Yu. Comparative study of geometric characteristics of microcapillaries for chemical reactions. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 274–281. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-274-281

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

Введение

В последние годы значительно возрос интерес к использованию микрокапилляров в химических реакциях [1–2], что связано с их особыми характеристиками, такими как высокий коэффициент теплопередачи и возможность точного контроля процессов на микроуровне. Эти свойства делают микрокапилляры идеальными инструментами для исследований в области химии, фармацевтики и биотехнологий. Развитие микрорадиаторных технологий привело к новым возможностям повышения эффективности химических реакций за счет оптимизации смешивания реагентов на микроскопическом уровне. Одним из ключевых факторов, влияющих на производительность микрокапилляров, является их геометрия, которая определяет динамику потоков и степень смешивания жидкостей.

В данной работе проводится сравнительное исследование геометрических характеристик различных типов микрокапилляров, применяемых в химических реакциях. Основное внимание уделяется влиянию геометрии на эффективность смешивания и взаимодействия реагентов при низких значениях числа Рейнольдса. Этот аспект имеет решающее значение для разработки более эффективных микрореакторов, способных улучшить результаты во множестве областей – от синтеза лекарственных препаратов до производства высококачественных наноматериалов.

Прогресс в микро- и нанотехнологиях также сыграл важную роль в развитии микрокапилляров. Каналы диаметром менее 1 мм обеспечивают значительно более высокий коэффициент теплопередачи по сравнению с традиционными реакционными сосудами, что повышает энергоэффективность процессов и снижает затраты. Малые размеры каналов увеличивают удельную площадь поверхности, способствуя лучшей теплопередаче.

Исследования показывают [1, 3], что для оптимизации теплопередачи и минимизации гидравлического сопротивления необходимо учитывать геометрию микрокапилляров. Форма канала, его диаметр и структура внутренней поверхности оказывают непосредственное влияние на поведение жидкости и газов в микрокапилляре, что, в свою очередь, определяет общую эффективность реакций. Кроме того, вариации в этих параметрах могут привести к значительным изменениям в кинетике химических процессов, что делает их важным фактором при разработке и оптимизации микрореакторов.

Основной реакцией для выявления подходящей геометрии микрокапилляров будет являться альдольная конденсация ацетона [4] в условиях щелочной среды, в результате которой

выходит важное промышленное вещество, широко используемое в производстве красок, чернил, лаков, клеящих составов, виниловых смол и сополимеров, а также в синтезе пестицидов и в качестве промежуточного соединения для органического синтеза. Альдольная конденсация ацетона является многоступенчатой реакцией [5–6], в ходе которой из ацетона, воды и щелочного катализатора образуются промежуточные соединения (диацетоновый спирт и мезитилоксид) и побочные продукты (оксилитон и тяжёлые соединения), с получением целевого продукта – изофорона [7]. Коммерческая эффективность этого процесса зависит от контроля над специфичностью реакции и поддержания высокой селективности в рамках стехиометрических соотношений. Одним из ключевых параметров работы установки является селективное использование ацетона в процессе получения 3,5,5-триметил-2-циклогексен-1-она. На селективность оказывают влияние такие факторы, как температура, давление, концентрация реагентов и гидродинамические условия, а применение микрофлюидных технологий может способствовать повышению селективности до 10–15% [8].

Цель работы – сравнительное исследование геометрических характеристик микрокапилляров различных форм для оптимизации проведения химических реакций, а также анализ влияния этих характеристик на такие ключевые параметры, как перепад давления, смешивание и массоперенос в микрофлюидных системах с использованием программы COMSOL Multiphysics.

Материалы и методы

В данном исследовании будут рассматриваться серпантинообразной, фрактальной и лобулярной формы микрокапилляры (рисунок 1) [19–20]. Лобулярная, в дальнейшем «лобуляр», форма микроканалов увеличивает площадь поверхности, улучшает удержание жидкости, снижает гидродинамическое сопротивление и риск запыливания потока, а также повышает прочность и устойчивость к механическим нагрузкам. В серпантинообразных, в дальнейшем «серпантин», микрокапиллярах, благодаря многократным изменениям направления потока, удастся добиться более равномерного распределения реагентов по всему объему, что важно при проведении экзотермических реакций. Фрактальные, в дальнейшем «фрактал», микрокапилляры представляют собой сочетание извилистых и ветвящихся каналов, что позволяет эффективно управлять потоками на микроуровне и минимизировать потери давления.

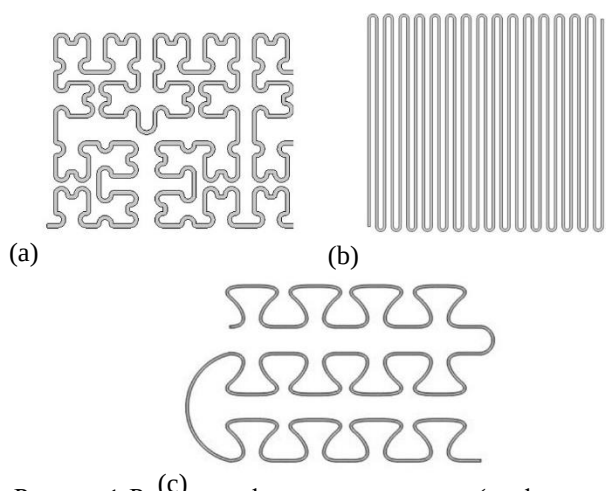


Рисунок 1. Различные формы микроканалов (а – фрактал, b – серпентин, с – лобуляр)

Figure 1. Different shapes of microchannels (a – fractal, b – serpentine, c – lobular)

Данные формы микроканалов были выбраны за их способность обеспечивать высокую эффективность реакций в условиях низких чисел Рейнольдса, а также за их способность к улучшению теплопередачи и перемешивания. Кроме того, исследование этих геометрий позволило глубже понять, как их особенности влияют на процессы гидродинамики и теплопередачи, что важно для дальнейшего улучшения и оптимизации микрореакторных систем.

Кинетические параметры получения 3,5,5-триметил-2-циклогексен-1-она были получены по справочным данным из работы [9–13], прописанные в таблице 1. В качестве критерия оптимальности потока использовалась средняя молярная концентрация 3,5,5-триметил-2-циклогексен-1-она на выходе из реакционного микрокапилляра [14–16].

Альдольная конденсация ацетона (1–5) – процесс многостадийный [17–18], включающий следующие реакции:

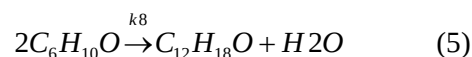
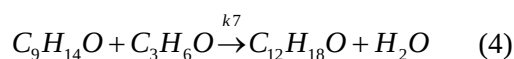
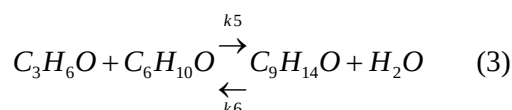
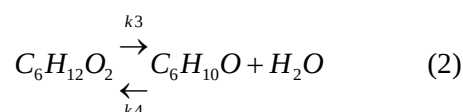
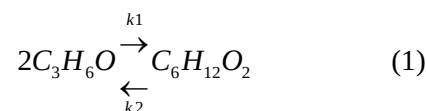


Таблица 1.

Кинетические параметры стадий получения 3,5,5-триметил-2-циклогексен-1-она

Table 1.

Kinetic parameters of the steps in the preparation of 3,5,5-trimethyl-2-cyclohexen-1-one

Реакция Reaction	Константа Constant	Предэкспоненциальный множитель Pre-exponential multiplier	Энергия активации, кДж/кмоль Activation energy, kJ/kmol
1	k1	$4,08 \times 10^2$, м ³ ч/кмоль	14650
	k2	$3,37 \times 10^9$, 1/ч	34400
2	k3	$7,19 \times 10^{15}$, 1/ч	90000
	k4	$5,98 \times 10^8$, 1/ч	53038
3	k5	$3,19 \times 10^{17}$, м ³ ч/кмоль	93259
4	k7	$5,35 \times 10^2$, м ³ ч/кмоль	34400
5	k8	$4,52 \times 10^{14}$, м ³ ч/кмоль	90000

Для сравнительной характеристики микрокапилляров различной геометрии будет применяться ряд методов исследования, с использованием программы COMSOL Multiphysics, что обеспечит комплексный анализ и моделирование различных аспектов работы микрокапилляров. Программа COMSOL позволяет интегрировать различные физические процессы и управлять ими в едином программном окружении. В рамках этого исследования использовались следующие методы и уравнения:

Анализ скорости потока и распределения скорости. В COMSOL Multiphysics применялось решение уравнений Навье–Стокса для анализа

скорости потока и распределения внутри микрокапилляров. В программе для моделирования потока используется уравнение:

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \nabla \mathbf{v} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{v} + \mathbf{f} \quad (6)$$

где ρ – плотность жидкости, $\mathbf{v}$ – вектор скорости, p – давление, μ – динамическая вязкость, $\mathbf{f}$ – внешняя сила.

Моделирование реакционно-диффузионных процессов. Уравнение для моделирования реакционно-диффузионных процессов в микроканалах с учетом конвективного переноса, диффузии и химической реакции описывается в интерфейсе

Transport of Diluted Species и выглядит следующим образом:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla(-D\nabla C + vC) = R \quad (7)$$

где C – концентрация вещества, D – коэффициент диффузии, v – вектор скорости потока, R – скорость химической реакции.

Моделирование критерия Рейнольдса. Используя встроенные физические интерфейсы для моделирования течения жидкости, можно рассчитать скорость потока, профиль давления и другие параметры, необходимые для вычисления критерия Рейнольдса по формуле:

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (8)$$

где ρ – плотность жидкости, v – средняя скорость потока, d – гидравлический диаметр микрочannels, μ – динамическая вязкость жидкости.

Моделирование критерия Пекле. Немаловажным параметром является критерий Пекле, характеризующий соотношение между конвективными и молекулярными процессами переноса теплоты. Данный критерий можно также задать в программе и рассчитать по формуле:

$$Pe = \frac{c_p \rho v L}{\chi}, \quad (9)$$

где c_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, ρ – плотность жидкости, v – скорость потока жидкости относительно поверхности теплообмена, L – характерный линейный размер поверхности теплообмена, χ – коэффициент теплопроводности жидкости

Результаты и обсуждения

0D моделирование. Для корректного моделирования в программной среде COMSOL сначала необходимо провести верификацию кинетических расчётов в 0D. Для этого был использован модуль «Reaction Engineering» COMSOL, основанный на стандартных уравнениях для расчёта кинетических параметров. Входными данными служили концентрации: 0,010324 моль/л ацетона и 0,0135 моль/л воды. На рисунке 2 (а) показано распределение концентраций ацетона и воды, полученных в результате моделирования на основе кинетических параметров реакции. Также данный модуль позволяет визуализировать кинетические кривые концентраций изофорона и основных побочных продуктов (рисунок 2 (b)).

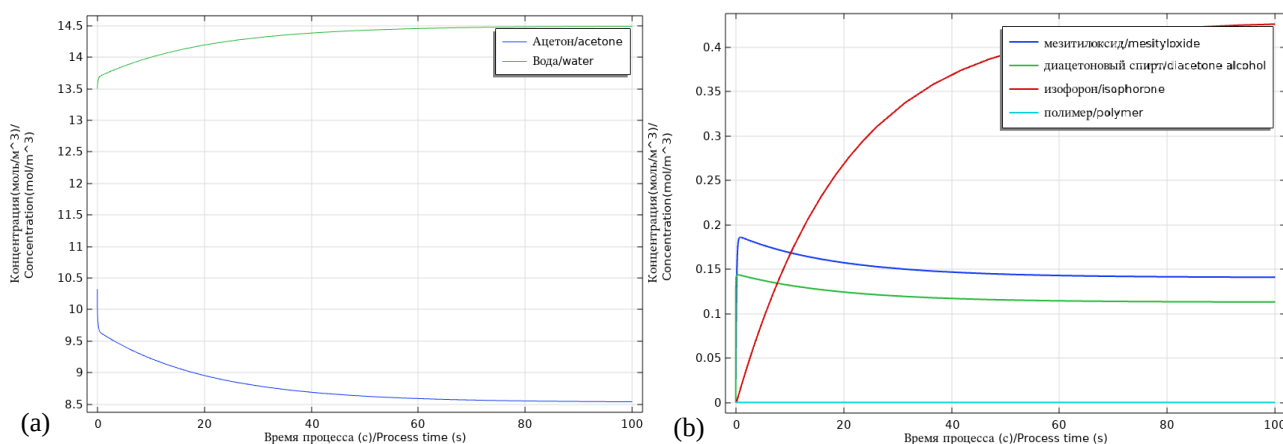


Рисунок 2. Кинетические кривые компонентов (а – исходные вещества, б – изофорон и основные побочные продукты)
Figure 2. Kinetic curves of components (a – starting substances, b – isophorone and main by-products)

2D моделирование. Для определения наиболее эффективной геометрии необходимо, чтобы площадь каналов была неизменной, и она равна $\sim 20 \text{ см}^2$. На входе также задавался и в последующем варьировался объемный расход исходных компонентов. Исходным значением является 0,25 мл/мин по ацетону и воде. Варьировался параметр от исходного значения до 2 мл/мин с шагом 0,25 мл/мин. Концентрации данных веществ совпадают с заданными при 0D моделировании.

По окончании расчетов были выведены графики зависимостей различных параметров друг от друга. Так, при изучении зависимости концентрации изофорона на выход от расхода поступающих реагентов (рисунок 3) видно, что при геометрии «фрактал» достигается максимальный выход продукта $\sim 2\%$.

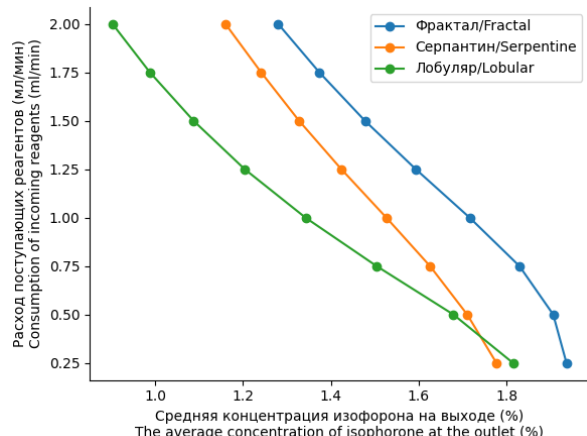


Рисунок 3. Зависимость средней концентрации изофорона на выходе от расхода поступающих реагентов

Figure 3. Dependence of average isophorone concentration at the outlet on the flow rate of incoming reagents

В системе необходимо поддерживать оптимальный перепад давления, чтобы не возникало рисков, снижения энергоэффективности и затруднения контроля над важными параметрами, что может негативно сказываться на эффективности процессов. Рассматривая рисунок 4, видно, что при геометрии «фрактал» возникает больший перепад давления, чем при системе «лобуляр».

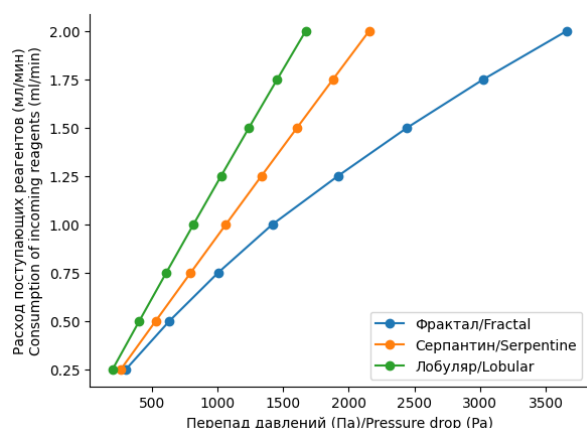


Рисунок 4. Зависимость перепада давления от расхода поступающих реагентов

Figure 4. Dependence of pressure drop on the flow rate of incoming reagents

На рисунке 5 представлена зависимость перепада давления от числа Рейнольдса для трех геометрий микроканалов. Геометрия «фрактал» демонстрирует наибольший перепад давления, достигая более 3500 Па при $Re \approx 60$, что связано с высокой сопротивляемостью потоку из-за сложной траектории. «Серпантин» показывает более умеренный рост давления (около 2500 Па при тех же условиях), обеспечивая лучшее соотношение сопротивления и контроля потока. Наименьший перепад давления наблюдается для формы «лобуляр», где при $Re = 60$ перепад давления составляет около 1500 Па. Это делает

геометрию грибы оптимальной для минимизации гидравлических потерь и энергозатрат в системе микроканалов.

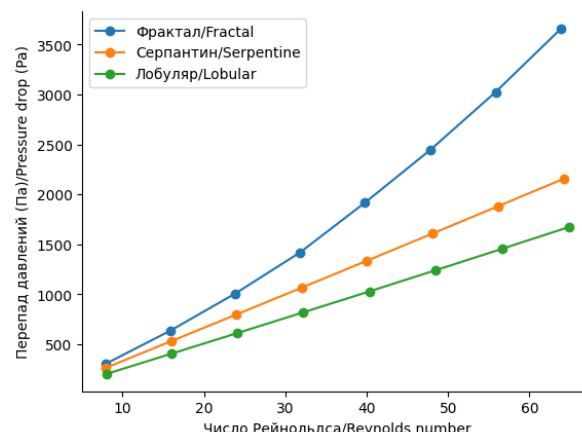


Рисунок 5. Зависимость критерия Рейнольдса от перепада давления в системе микрокапилляров

Figure 5. Dependence of the Reynolds criterion on the pressure drop in the microcapillary system

В микроканалах необходимо поддерживать доминирование конвективного переноса над молекулярной диффузией, что характеризуется числом Пекле [10]. На рисунке 6 видно, что концентрация 3,5,5-триметил-2-циклогексен-1-она на выходе уменьшается с увеличением числа Пекле для всех трех геометрий, что свидетельствует о лучшем перемешивании в системе. Геометрия «лобуляр» демонстрирует наибольший эффект уменьшения концентрации при увеличении числа Пекле, что говорит о более интенсивном перемешивании и лучшей диффузии. Наименьшее снижение концентрации наблюдается у геометрии «фрактал», что связано с более низкой эффективностью перемешивания в такой форме.

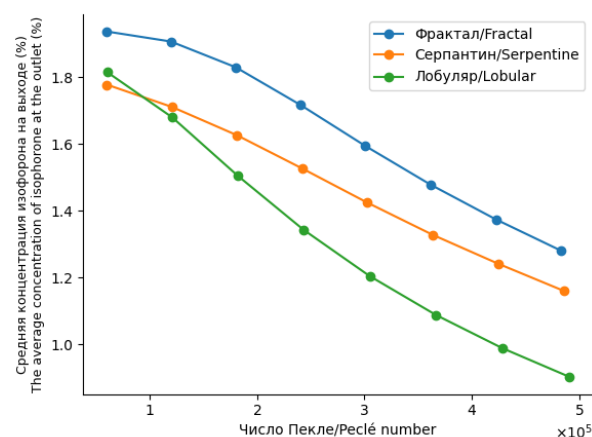


Рисунок 6. Зависимость числа Пекле от средней концентрации изофорона на выходе

Figure 6. Dependence of the Peclet number on the average isophorone concentration at the outlet

С ростом числа Рейнольдса также наблюдается снижение концентрации изофорона

для всех геометрий (рисунок 7). Однако, как и в случае с числом Пекле, наибольшее снижение демонстрирует геометрия грибы, что указывает на ее преимущество в интенсификации массообмена и перемешивания при более высоких скоростях потока.

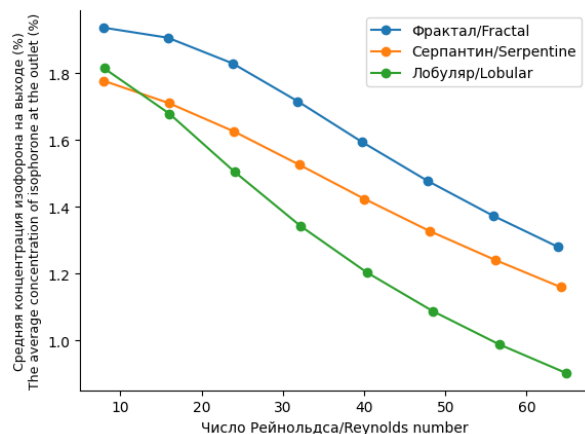


Рисунок 7. Зависимость числа Рейнольдса от средней концентрации изофорона на выходе

Figure 7. Reynolds number dependence on the average isophorone concentration at the outlet

Закключение

В результате проведенного сравнительного исследования геометрических характеристик микрокапилляров для проведения химических реакций были получены данные о влиянии формы микроканалов на основные параметры, такие как перепад давления, эффективность перемешивания и транспортные свойства.

Геометрия микроканалов значительно влияет на перепад давления и эффективность

смешивания. Микроканал типа "фрактал" показал наибольший перепад давления при всех значениях числа Рейнольдса, что связано с его сложной траекторией. С другой стороны, форма «лобуляр» показала минимальные гидравлические потери, что делает её предпочтительной для снижения энергозатрат в микросистемах. Анализ числа Пекле показал, что геометрия «лобуляр» обеспечивает наилучшее перемешивание за счет эффективного конвективного переноса, особенно при высоких значениях числа Пекле. Это подтверждает ее преимущество в задачах, где важен интенсивный массоперенос. При увеличении числа Рейнольдса, наблюдалось улучшение смешивания во всех геометриях. Однако микроканал «лобуляр» показали наиболее резкое снижение концентрации изофорона на выходе, что свидетельствует о лучшем перемешивании даже при относительно небольших затратах энергии. Перепады давления в микроканалах должны оставаться в пределах, позволяющих поддерживать оптимальный режим течения без чрезмерного увеличения энергетических затрат. Геометрия «лобуляр» в этом аспекте снова показала наилучшие результаты, обеспечивая минимальные потери давления при сохранении высокой эффективности перемешивания.

Таким образом, можно заключить, что геометрия микроканалов играет ключевую роль в оптимизации рабочих параметров микрофлюидных систем. Форма «лобуляр» представляется наилучшей в условиях, где критичны минимизация гидравлических потерь и максимальная эффективность перемешивания.

Литература

- 1 Yan L., Wang S., Cheng Y. Numerical Simulation of Mixing Process in a Splitting-and-Recombination Microreactor // *Frontiers in Chemical Engineering*. 2022. V. 3. P. 1–12. doi: 10.3389/fceng.2021.803861
- 2 García-López I., Águeda V.I., Garrido-Escudero A. Hydrodynamic behavior of a novel 3D-printed nature-inspired microreactor with a high length-to-surface ratio // *Chemical Engineering Journal Advances*. 2023. V. 13. P. 1–9. doi: 10.1016/j.cej.2022.100438
- 3 Bojang A.A., Wu H.S. Design, fundamental principles of fabrication and applications of microreactors // *Processes*. 2020. V. 8. №. 8. P. 891–922. doi: 10.3390/pr8080891
- 4 Ruther T., Muller M.-A., Bonrath W., Eisenacher M. The Production of Isophorone // *Encyclopedia*. 2023. №. 3. P. 224–244. doi: 10.3390/encyclopedia3010015
- 5 Houssaini J. et al. Study of the Catalytic Activity of the Compounds Hydrotalcite Type Treated by Microwave in the Self-Condensation of Acetone // *International Journal of Analytical Chemistry*. 2021. V. 2021. №. 1. P. 15–21. doi: 10.1155/2021/1551586
- 6 Veshchitsky G.A. et al. Self-Condensation of Acetone of Strontium Stannate under Supercritical Conditions // *Russian Journal of Physical Chemistry B*. 2021. V. 15. №. 8. P. 1299–1302. doi: 10.1134/S1990793121080133
- 7 Liu Y., Luo W.Y. YMGAl-LDO Synthesis and its Catalytic Performance for Preparation of Isophorone by Condensation of Acetone // *Current Micro-Nano Science and Technology*. 2015. №. 1118. P. 265–269. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1118.265
- 8 Пат. № 2807773, RU, F15D 1/00. Модульный проточный микрофлюидный реактор для проведения химических реакций при высоких давлениях и температуре/ Яшунин Д.В., Кук Х.Г., Большаков И.А., Досов К.А., Шишанов М.В., Колобов В.В. № 2023106740; Заявл. 22.03.2023; Опубл. 21.11.2023, Бюл. № 33.
- 9 Ruther T. et al. The Production of Isophorone // *Encyclopedia*. 2023. V. 3. №. 1. P. 224–244. doi: 10.3390/encyclopedia3010015
- 10 Yao C. et al. Two-phase flow and mass transfer in microchannels: A review from local mechanism to global models // *Chemical Engineering Science*. 2021. V. 229. P. 29–47. doi: 10.1016/j.ces.2020.116017
- 11 Wang X., Hu Sh., Yang X., Zheng Sh. Thermal stability and kinetic analysis of isophorone diisocyanate // *Thermochimica Acta*. 2023. V. 727. P. 179–574. doi: 10.1016/j.tca.2023.179574

12 García A., Marín P., Ordóñez S. Production of renewable mesitylene as jet-fuel additive: Reaction kinetics of acetone self-condensation over basic (TiO₂) and acid (Al-MCM-41) catalysts // *Fuel Processing Technology*. 2024. V. 253. P. 108–110. doi: 10.1016/j.fuproc.2023.108007

13 Reynolds J.P., Thompson T.N., Pritchard C.Q., Schulz M.D. et al. Chemorheological Kinetic Modeling of Uncatalyzed Hydroxyl-Terminated Polybutadiene and Isophorone Diisocyanate // *Macromol. Mater. Eng.* 2024. V. 309. P. 23–34. doi: 10.1002/mame.202300423

14 Herran R., Molinari F., Cimas A., Karp F., Amalvy J. Synthesis and characterization of bio-based poly(urethane-urea) nanocomposite coatings employing cellulose nanocrystals incorporated by two different routes // *Polymer Composites*. 2024. V. 45. P. 11–29. doi: 10.1002/pc.28602

15 Tkachuk A.I., Zagora A.G., Terekhov I.V. et al. Isophorone Diamine – A Curing Agent for Epoxy Resins: Production, Application, Prospects. A Review. // *Polym. Sci. Ser. D*. 2022. V. 15. P. 171–176. doi: 10.1134/S1995421222020289

16 Ahmed M.I. Elkhairy, Bartosz Rozmysłowicz, Jher Hau Yeap, Michael H. Studer et al. Kinetic Network Modeling of the Catalytic Upgrading of Biomass's Acetate Fraction to Aromatics // *Energy Fuels*. 2023. V. 37. №. 20. P. 16172–16180

17 Chen L., Zheng K., Wang Y., Duan X. et al. Study of UV-cured tung oil-based polyalcohol resin with isophorone diisocyanate as crosslinker // *European Polymer Journal*. 2024. V. 218. P. 113–118. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2024.113348

18 Arnould P., Simon F., Fouquay S., Pardal F. et al. Harnessing Catalysis Selectivity and Isophorone Diisocyanate Asymmetry for Tailored Polyurethane Prepolymers and Networks // *Macromolecules*. 2022. V. 55. №. 8. P. 3344–3352. doi: 10.1021/acs.macromol.1c02491

19 Etminan A., Muzychka Y.S., Pope K. A review on the hydrodynamics of Taylor flow in microchannels: Experimental and computational studies // *Processes*. 2021. V. 9. №. 5. P. 870–879. doi: 10.3390/pr9050870

20 Kose H.A., Yildizeli A., Cadirci S. Parametric study and optimization of microchannel heat sinks with various shapes // *Applied Thermal Engineering*. 2022. V. 211. P. 118–136. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2022.118368

References

1 Yan L., Wang S., Cheng Y. Numerical Simulation of Mixing Process in a Splitting-and-Recombination Microreactor. *Frontiers in Chemical Engineering*. 2022. vol. 3. pp. 1–12. doi: 10.3389/fceng.2021.803861

2 García-López I., Águeda V.I., Garrido-Escudero A. Hydrodynamic behavior of a novel 3D-printed nature-inspired microreactor with a high length-to-surface ratio. *Chemical Engineering Journal Advances*. 2023. vol. 13. pp. 1–9. doi: 10.1016/j.cej.2022.100438

3 Bojang A.A., Wu H.S. Design, fundamental principles of fabrication and applications of microreactors. *Processes*. 2020. vol. 8. no. 8. pp. 891–922. doi: 10.3390/pr8080891

4 Ruther T., Muller M.-A., Bonrath W., Eisenacher M. The Production of Isophorone. *Encyclopedia*. 2023. no. 3. pp. 224–244. doi: 10.3390/encyclopedia3010015

5 Houssaini J. et al. Study of the Catalytic Activity of the Compounds Hydrotalcite Type Treated by Microwave in the Self-Condensation of Acetone. *International Journal of Analytical Chemistry*. 2021. vol. 2021. no. 1. pp. 15–21. doi: 10.1155/2021/1551586

6 Veshchitsky G.A. et al. Self-Condensation of Acetone of Strontium Stannate under Supercritical Conditions. *Russian Journal of Physical Chemistry B*. 2021. vol. 15. no. 8. pp. 1299–1302. doi: 10.1134/S1990793121080133

7 Liu Y., Luo W.Y. YMGAl-LDO Synthesis and its Catalytic Performance for Preparation of Isophorone by Condensation of Acetone. *Current Micro-Nano Science and Technology*. 2015. no. 1118. pp. 265–269. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1118.265

8 Yashunin D.V., Cook H.G., Bolshakov I.A., Dosov K.A. et al. Modular flow-through microfluidic reactor for conducting chemical reactions at high pressure and temperature. Patent RF, no. 2807773, 2023.

9 Ruther T. et al. The Production of Isophorone. *Encyclopedia*. 2023. vol. 3. no. 1. pp. 224–244. doi: 10.3390/encyclopedia3010015

10 Yao C. et al. Two-phase flow and mass transfer in microchannels: A review from local mechanism to global models. *Chemical Engineering Science*. 2021. vol. 229. pp. 29–47. doi: 10.1016/j.ces.2020.116017

11 Xiao Wang, Shuang Hu, Xia Yang, Shiqing Zheng. Thermal stability and kinetic analysis of isophorone diisocyanate. *Thermochimica Acta*. 2023. vol. 727. pp. 179–574. doi: 10.1016/j.tca.2023.179574.

12 García A., Marín P., Ordóñez S. Production of renewable mesitylene as jet-fuel additive: Reaction kinetics of acetone self-condensation over basic (TiO₂) and acid (Al-MCM-41) catalysts. *Fuel Processing Technology*. 2024. vol. 253. pp. 108–110. doi: 10.1016/j.fuproc.2023.108007

13 Reynolds J.P., Thompson T.N., Pritchard C.Q., Schulz M.D. et al. Chemorheological Kinetic Modeling of Uncatalyzed Hydroxyl-Terminated Polybutadiene and Isophorone Diisocyanate. *Macromol. Mater. Eng.* 2024. vol. 309. pp. 23–34. doi: 10.1002/mame.202300423

14 Herran R., Molinari F., Cimas A., Karp F., Amalvy J. Synthesis and characterization of bio-based poly(urethane-urea) nanocomposite coatings employing cellulose nanocrystals incorporated by two different routes. *Polymer Composites*. 2024. vol. 45. pp. 11–29. doi: 10.1002/pc.28602

15 Tkachuk, A.I., Zagora, A.G., Terekhov, I.V. et al. Isophorone Diamine – A Curing Agent for Epoxy Resins: Production, Application, Prospects. A Review. *Polym. Sci. Ser. D*. 2022. vol. 15. pp. 171–176. doi: 10.1134/S1995421222020289

16 Ahmed M.I. Elkhairy, Bartosz Rozmysłowicz, Jher Hau Yeap, Michael H. Studer, et al. Kinetic Network Modeling of the Catalytic Upgrading of Biomass's Acetate Fraction to Aromatics. *Energy Fuels*. 2023. vol. 37. no. 20. pp. 16172–16180.

17 Chen L., Zheng K., Wang Y., Duan X. et al. Study of UV-cured tung oil-based polyalcohol resin with isophorone diisocyanate as crosslinker. *European Polymer Journal*. 2024. vol. 218. pp. 113–118. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2024.113348

18 Arnould P., Simon F., Fouquay S., Pardal F. et al. Harnessing Catalysis Selectivity and Isophorone Diisocyanate Asymmetry for Tailored Polyurethane Prepolymers and Networks. *Macromolecules*. 2022. vol. 55. no. 8. pp. 3344–3352. doi: 10.1021/acs.macromol.1c02491

19 Etminan A., Muzychka Y.S., Pope K. A review on the hydrodynamics of Taylor flow in microchannels: Experimental and computational studies. *Processes*. 2021. vol. 9. no. 5. pp. 870–879. doi: 10.3390/pr9050870

20 Kose H.A., Yildizeli A., Cadirci S. Parametric study and optimization of microchannel heat sinks with various shapes. *Applied Thermal Engineering*. 2022. vol. 211. pp. 118–136. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2022.118368

Сведения об авторах

Михаил В. Шишанов к.т.н., доцент, кафедра химической технологии природных энергоносителей и углеродных материалов, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Миусская площадь, д.9 стр.1, г. Москва, 125047, Россия, shishanov.m.v@muctr.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2861-5878>

Христофор Герман Кук аспирант, кафедра химической технологии природных энергоносителей и углеродных материалов, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Миусская площадь, д.9 стр.1, г. Москва, 125047, Россия, kuk.khristofor@inbox.ru

 <https://orcid.org/0009-0005-7115-6760>

Элиза Л. Геворкян магистрант, кафедра передовой инженерной школы химического инжиниринга и машиностроения, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Миусская площадь, д.9 стр.1, г. Москва, 125047, Россия, eliza.gevorkyan15@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0005-4510-5046>

Александр Ю. Ботнев магистрант, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Миусская площадь, д.9 стр.1, г. Москва, 125047, Россия, botnev2001@gmail.com.

 <https://orcid.org/0009-0006-2055-4205>

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

Mikhail V. Shishanov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemical technology of natural energy carriers and carbon materials department, Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya Square, 9 str.1, Moscow, 125047, Russia, shishanov.m.v@muctr.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2861-5878>

Christopher German Cook graduate student, chemical technology of natural energy carriers and carbon materials department, Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya Square, 9 str.1, Moscow, 125047, Russia, kuk.khristofor@inbox.ru

 <https://orcid.org/0009-0005-7115-6760>

Eliza L. Gevorkyan master student, advanced engineering school of chemical engineering and mechanical engineering department, Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya Square, 9 str.1, Moscow, 125047, Russia, eliza.gevorkyan15@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0005-4510-5046>

Alexander Yu. Botnev master student, advanced engineering school of chemical engineering and mechanical engineering department, Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya Square, 9 str.1, Moscow, 125047, Russia, botnev2001@gmail.com.

 <https://orcid.org/0009-0006-2055-4205>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/07/2024	После редакции 05/08/2024	Принята в печать 02/09/2024
Received 18/07/2024	Accepted in revised 05/08/2024	Accepted 02/09/2024

Exploring the influence of mechanical and physical characteristics on transdermal patches: A study on polymeric films composed of hyaluronic acid and zinc oxide nanoparticles

Kolawole S. Dada	¹	dadakolawole1978@gmail.com	 0009-0006-4881-7409
Mayya V. Uspenskaya	²	mv_uspenskaya@mail.ru	 0000-0003-2510-2639
Collins N. Elangwe	¹	collinselangwe@gmail.com	 0000-0002-4501-7450
Anastasiia O. Nosova	¹	aonosova@itmo.ru	 0009-0009-2014-5876
Roman O. Olekhovich	¹	r.o.olekhovich@mail.ru	 0000-0002-6894-1224

¹ ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russia

² Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, 195251, Russia

Abstract. This study examines the physicochemical and special properties of polymer films composed of hyaluronic acid (HA) and zinc oxide (ZnO) nanoparticles that can be used as transdermal patches. Transdermal patches are a popular method of medical and cosmetic procedures in various disciplines, not limited to cosmetology, gynecology, oncology, etc. They have advantages such as convenience and simplicity, the possibility of uniform drug delivery, and a wide range of possible applications. These advantages make transdermal patches an important tool for various areas of medicine. However, most biopolymers used as a polymer matrix do not meet the required physicochemical properties when creating polymer films for medical purposes. That is why hyaluronic acid with ZnO nanoparticles as a filler was chosen as a polymer base. The work examines the effect of nanoparticle concentration on the physicochemical and special properties of hyaluronic acid-based polymer films. It has been shown that using 5 wt.% ZnO nanoparticles results in the production of a polymer film based on hyaluronic acid, with optimal mechanical parameters for the balance between the relative elongation and strength of the resulting materials and compliance with the skin texture, which is of critical importance for increasing the long-term effectiveness of the use of the obtained polymer films as a base for creating transdermal patches

Keywords: young modulus, composite materials, polymer matrix, hyaluronic acid, zinc oxide nanoparticles.

Introduction

The use of transdermal patches is one of the most popular medical and cosmetic materials in the modern world, which are used in cosmetology, gynecology, rheumatology, neurology, oncology, etc. [1]. The structure and composition of the polymer matrix has a significant impact on the therapeutic effect of the patch for introducing an active pharmacological agent into the blood through diffusion through the skin.

Currently, the most common are matrix transdermal therapeutic systems, which, compared to membrane systems, are simpler to manufacture and use. In them, under the outer protective material, there is a polymer material with the drug evenly distributed in it (matrix). At the same time, this same material also acts as an adhesive [2].

Many materials can be used as the basis of polymer patches: silicon, stainless steel and polymer and composite matrix [3].

Since transdermal transport systems can provide a continuous, controlled supply of a drug agent into the blood over a long period (day, week)

and allow the concentration to be maintained at a minimum level for the required pharmacological effect, the physical and mechanical characteristics of the material are important parameters when designing such a system.

Drug release kinetics is a determining factor in dosing frequency and irritation control and is essentially a complete functional model created based on the optimal characteristics of the composite materials used [4]. It is important to note that in this case, peak concentrations of the active substance do not occur in the blood, which occurs with oral or injection administration. This reduces the risk of overdose, as well as toxic and negative side effects. The drug is released through diffusion from the surface of the material, through its erosion due to degradation of the polymer matrix, and finally released through the swollen polymer matrix [5]. A thorough understanding of these properties is the basis of manufacturing processes. Moreover, for polymer films to produce drug delivery patches, special attention is paid to high strength, elasticity, surface morphology, color or transparency, and biological characteristics. When obtaining a polymer

Для цитирования

Колаволе С. Дада, Успенская М.В., Коллинс Н. Элангве, Носова А.О., Олехнович Р.О. Изучение влияния механических и физических характеристик трансдермальных пластырей: исследование полимерных пленок на основе гиалуроновой кислоты и наночастиц оксида цинка // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 282–288. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-282-288

For citation

Kolawole S. Dada, Uspenskaya M.V., Collins N. Elangwe, Nosova A.O., Olekhovich R.O. Exploring the influence of mechanical and physical characteristics on transdermal patches: A study on polymeric films composed of hyaluronic acid and zinc oxide nanoparticles. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 282–288. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-282-288

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

matrix for patches, low molecular weight polymers are most often used, such as hyaluronic acid, chitosan, alginate, agarose, starch, silk fibroin, collagen, gelatin, and many others [6]. Transdermal patches can be used when no other method of administration is possible, or their classical method of application is less effective. In the production

of patches containing microneedles, which can be obtained from either inorganic scaffold coated with polymer compounds or obtained from hydrogels or polymer composites that have a delicate balance of strength to withstand insertion forces and stability to maintain their shape (Figure 1).

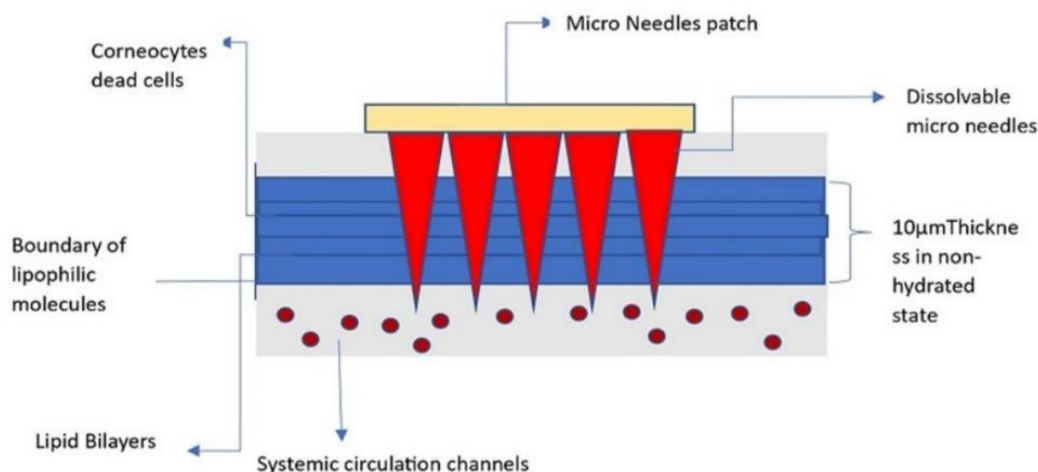


Figure 1. The process of painless microneedle insertion of the systemic circulation

The development of transdermal patches involves careful selection of a polymer matrix and modifier, each of which has unique properties such as elasticity, strength, and biocompatibility.

Among the wide variety of metal nanoparticles, zinc oxide (ZnO) nanoparticles have such important properties as strong chemical and physical stability, high catalytic activity, and effective antimicrobial properties against polyantibiotic-resistant pathogenic microbial flora. These properties allow them to be used in biological testing, biological labeling and the development of drug delivery systems [7–9].

Zinc oxide nanoparticles, a unique class of substances, are not only small in size, comparable to the diameter of viruses, but also have a large surface area to volume ratio compared to larger particles or substances. Hyaluronic acid (HA), naturally produced in the human body, is biocompatible, biodegradable, and not only moisturizes, but also attracts and retains moisture in the epidermis and dermis. That is why HA was chosen as a polymer matrix and zinc oxide nanoparticles as a filler.

Materials and methods

During the work, polymer composite films based on HA and PEG and zinc oxide nanoparticles were obtained. During the experiment, the range of acid concentration used varied within 0.5-3 wt.% and zinc oxide, 0.1-0.3 wt.%. The synthesis of the polymer film was carried out in a Petri dish with preliminary dispersion of ZnO nanoparticles on a magnetic stirrer (Figure 2a) for 3 hours at a constant rotation speed of 100 rpm and a temperature of 50 °C and an ultrasonic stirrer (Figure 2b). for 60 minutes,

temperature 45 °C. The films were poured into a plastic Petri dish to reduce the adhesion of the surface of the Petri dish to the polymer matrix. The drying time of the resulting films was 4 days at room temperature. Some of the films obtained are shown in Figure 2c and 2d.

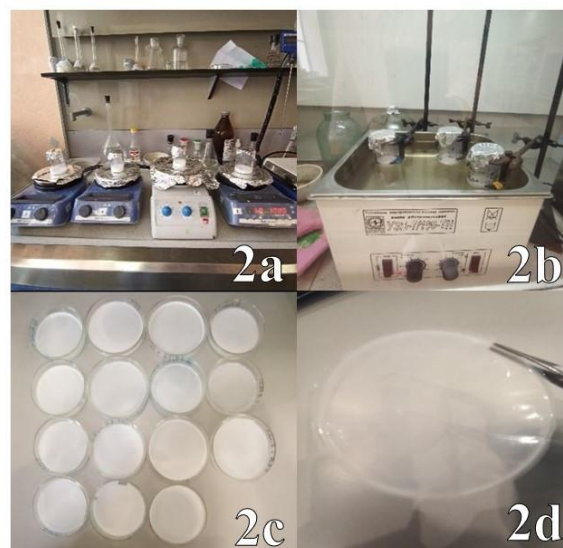


Figure 2. The process of formation of the transdermal patch: the magnetic stirrer (2a), the dispersion of the ZnO using ultrasound bath (2b), formed films (2c, 2d)

The FTIR analysis was carried out using a Tensor 37 IR spectrometer (Bruker) on a MIRacle Pike attenuated total internal reflection (ATR) attachment with a diamond-coated ZnSe crystal. A sample of each polymer film was placed on the FTIR instrument, and the machine was set at baseline

with blank sample. The instrument passed infrared lights through the samples and the spectrum was recorded based on the absorption of different wavelengths from 4000 to 400 cm^{-1} .

The morphology of the polymer films was studied using an STM6 optical microscope (Olympus) in polarized transmission mode at various magnifications using an objective from 5x to 100x.

Characterization on physical and mechanical properties were studied as follows. Tensile testing of samples of the resulting composite polymer material was carried out according to the requirements on an Instron 5943 testing machine. The test method complies with the requirements of GOST 14236-81 (ST SEV 1490-79) «Polymer films. Tensile test method», GOST 11262-2017 (ISO 527-2:2012) «Plastics. Tensile test method» and ASTM D882-18 «Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting». The Test specimens were prepared in compliance with the requirements of GOST 12423-2013 (ISO 291:2008) «Plastics. Conditions for conditioning and testing (samples)».

Thermogravimetric analysis (TGA) measurement was carried out using a Libra 209 F1 thermogravimetric analyzer (Netzsch). The change in mass for the sample was measured using TGA, the sample was cut into smaller pieces and placed on TGA instruments, the sample was heated up in a controlled atmosphere (nitrogen) and the mass differentiation was recorded as the temperature increased.

Results and discussions

FTIR analysis. FTIR analysis was done on the characterization peak of the resulting spectrum which corresponds to the functional group of HA and ZnO. Figure 3 shows FTIR spectra of HA-ZnO composites obtained using solution method. No obvious difference was observed from the FTIR spectra of HA-ZnO filled with different concentration

of ZnO, i.e., the structure of HA-ZnO composites was not affected by the filling with nanoparticles. A strong absorption band was observed at 3435.24 cm^{-1} , indicating OH and NH stretching vibrations; the band at 2919.30 cm^{-1} indicates CH symmetrical and CH_2 asymmetrical stretching; the band at 1256.81 cm^{-1} can be attributed to $\nu(\text{C-O})$ (of COOH). The absorption bands at $\sim 1155.32 \text{ cm}^{-1}$, 1084.82 cm^{-1} , 1040.67 cm^{-1} , and 944.61 cm^{-1} are typical for carbohydrates, and the bands at 1632.53 cm^{-1} , 1553.51 cm^{-1} , and 1320.33 cm^{-1} can be assigned to amide I, II, and III. The band at 1416.39 cm^{-1} is assigned to symmetric C-O stretching vibrations [10–20].

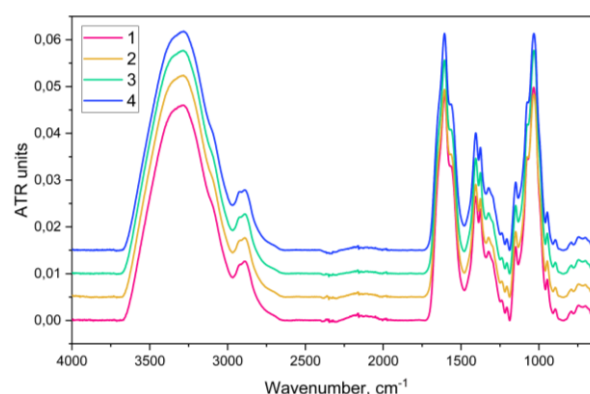


Figure 3. ATR-FTIR spectra of HA film filled with ZnO: 1 – HA; 2 – HA+2% of ZnO; 3 – HA+5% of ZnO; 4 – HA+7% of ZnO.

Optical microscopy. Figure 4 shows micrographs of the resulting polymer films based on HA and zinc oxide nanoparticles. As can be seen from Figure 4, the surfaces of polymer films are rough, and an increase in the proportion of zinc nanoparticles by more than 5 % leads to their aggregation. The effect of clustering of zinc oxide nanoparticles can affect the mechanical properties of the polymer membrane, thereby affecting its strength and flexibility, as shown below.

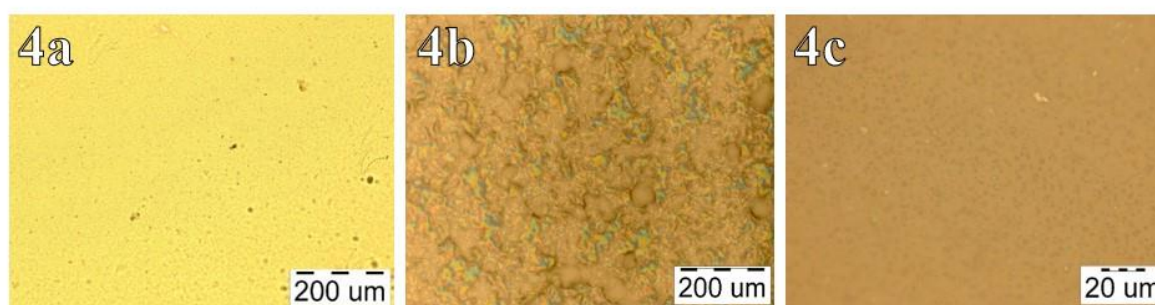


Figure 4. The surface morphology of the HA (0.2%) films: (4a) 7% of ZnO, (4b) 5 % of ZnO and (4c) 0 % of ZnO

Characterization on physical and mechanical properties. The various samples of thin film were cut into stripes of equal length and breadth of 5cm by 1 cm respectively and the thickness was measured using a digital micrometer.

Each film was cut into 5 to 6 pieces of stripes and measured separately. The measured thickness was taken within the 3mm range from the middle to both end for each stripes in a film and the average thickness was recorded, see Table 1 and Table 2.

As can be seen from Table 2, all the obtained polymer films based on HA and ZnO nanoparticles have a low relative elongation value, which is in the range of 2 - 7% with an increase in the concentration of nanoparticles from 1% to 10 wt.%. It is natural that the addition of zinc oxide to the polymer matrix leads to a decrease in the relative elongation compared to an unfilled polymer film. At the same time, the tensile strength of polymer films based on HA and zinc oxide naturally increases by 1.5 - 3.5 times with the addition of nanoparticles compared to an unfilled polymer film. It should be noted that the increase is extreme: first, the strength value increases and reaches a maximum value of 26.76 MPa at 5 wt.% zinc oxide. A further increase in the proportion of inorganic substances in the composition

of the polymer matrix leads to a deterioration in the strength characteristics of the obtained polymer films, which is associated with the aggregation of nanoparticles, and consequently, a decrease in the tensile strength of the films.

Table 1.

The display of obtained film thickness sizes

Composite material	Thickness (mm)
HA0,2% only	0,012
HA0,2% +ZnO1%	0,012
HA0,2% +ZnO3%	0,012
HA0,2% +ZnO5%	0,012
HA0,2% +ZnO7%	0,013
HA0,2% +ZnO10%	0,018

Table 2.

Mechanical analysis of obtaining polymer films

Composition	Tensile strength, MPa	Extension, %	Young's module, MPa
HA0,2% Only	7,69	4,22	145,26
HA0,2% +ZnO1%	9,14	2,03	104,55
HA0,2% + ZnO 3%	15,45	2,67	151,89
HA0,2% +ZnO5%	26,76	4,87	273,10
HA0,2% + ZnO 7%	25,50	4,49	292,66
HA0,2% +ZnO10%	23,33	3,25	375,78

Thermogravimetric analysis. The detail of the result is the graphical illustration of mass plotted against temperature as shown in Figure 5. The residue left after the decomposition provides insight into the inorganic component such as zinc oxide. Figure 5 shows the TGA and DTG curves of HA powder and HA-based composites with different ZnO loading percentages. The TGA curve for pure HA has 2 stages of weight loss. The first stage of weight loss from 25 to 200 °C corresponds to the evaporation of water and

the stage of polysaccharide destruction at 210-320. As can be seen from the DTG curves, the temperature of water evaporation from the original HA powder is lower than for composites filled with zinc oxide, that is, zinc oxide nanoparticles retain moisture in the composite more strongly. In addition, filling HA with zinc oxide leads to a slight loss in the thermal stability of the material, which is evident from the decrease in the temperature at which the polymer matrix begins to degrade (Table 3)

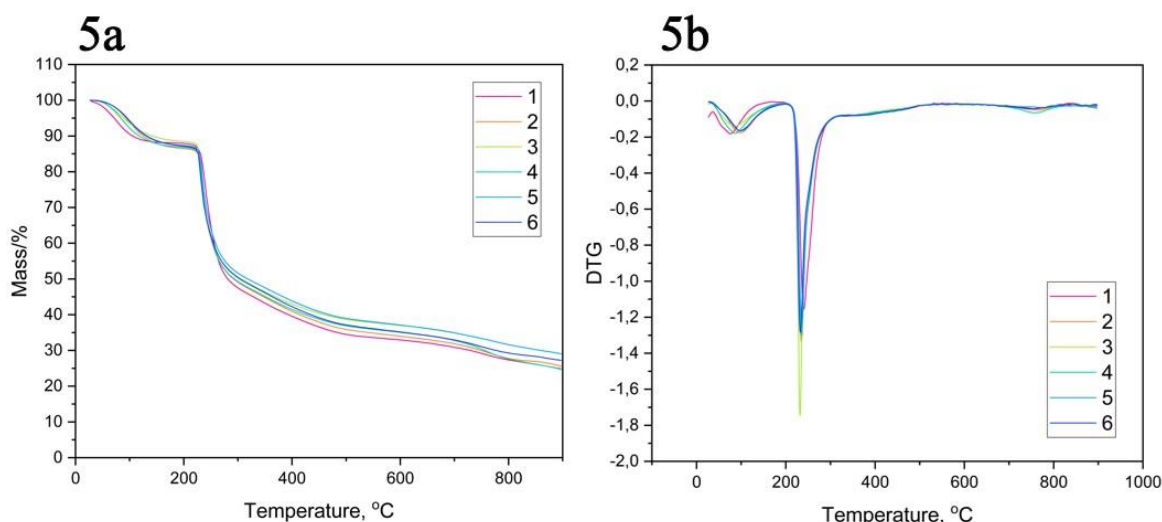


Figure 5. TGA (5a) and DTG (5b) curves of HA powder (1) and HA-ZnO composites with 1% (2), 3% (3), 5% (4), 7% (5), 10% (6) ZnO

Table 3.
Thermal properties of HA-ZnO composites

Sample	1 st step		2 nd step	
	% H ₂ O	T _{max} , °C	T _{onset} , °C	T _{max} , °C
HA powder	12	75	231	240
1% ZnO	13,5	99	228	235
3% ZnO	11,2	83	227	232
5% ZnO	13,2	87	228	235
7% ZnO	12,6	97	229	236
10% ZnO	12,8	97	227	232

Conclusion

The behavioral properties patterns of the polymer film made from HA-ZnO with various concentration percentages of ZnO nanoparticles

filler display a significant variation in strength at break region, elongation at break, and finally Young's modulus. There is a trend reflected, as the percentage of ZnO increases from 1% to 10%, the strength at break concisely increases too, getting to a peak at 5% of ZnO concentration, thereafter there is an observed slight decrease. This infers to an optimal concentration range for improving the mechanical property of the polymer composite for obtained polymer films as a base for creating transdermal patches.

Maintaining the transdermal patch's comfort as it conforms to the skin's structure over the course of its intended wear period requires balancing these features which are important for future researching.

References

- 1 Pastore M.N., Kalia Y.N., Horstmann M., Roberts M.S. Transdermal patches: history, development and pharmacology. *British journal of pharmacology*. 2015. vol. 172. no. 9. pp. 2179–2209. doi: 10.1111/bph.13059
- 2 Wong W.F., Ang K.P., Sethi G., Looi C.Y. Recent Advancement of Medical Patch for Transdermal Drug Delivery. *Medicina (B Aires)*. 2023. vol. 59. no. 4. p. 778. doi: 10.3390/medicina59040778
- 3 Raju N.S., Krishnaswami V., Vijayaraghavalu S., Kandasamy R. Transdermal and bioactive nanocarriers. *Nanocosmetics*. 2020. pp. 17–33. doi: 10.1016/B978-0-12-822286-7.00002-4
- 4 Fu Y., Kao W.J. Drug release kinetics and transport mechanisms of non-degradable and degradable polymeric delivery systems. *Expert opinion on drug delivery*. 2010. vol. 7. no. 4. pp. 429–444. doi: 10.1517/17425241003602259
- 5 Kamaly N., Yameen B., Wu J., Farokhzad O.C. Degradable Controlled-Release Polymers and Polymeric Nanoparticles: Mechanisms of Controlling Drug Release. *Chemical reviews*. 2016. vol. 116. no. 4. pp. 2602–2663. doi: 10.1021/acs.chemrev.5b00346
- 6 Pires P.C., Mascarenhas-Melo F., Pedrosa K., Lopes D. et al. Polymer-based biomaterials for pharmaceutical and biomedical applications: A focus on topical drug administration. *European Polymer Journal*. 2023. vol. 187. pp. 111868. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2023.111868
- 7 Dovnar R.I., Smotryn S.M., Anufrik S.S., Sakalova T.M. et al. Antibacterial and physico-chemical properties of silver and zinc oxide nanoparticles. *Journal of the Grodno State Medical University*. 2022. vol. 20. no. 1. pp. 98–107. doi: 10.25298/2221-8785-2022-20-1-98-107
- 8 Nair S., Sasidharan A., Divya Rani V.V., Menon D. et al. Role of size scale of ZnO nanoparticles and microparticles on toxicity toward bacteria and osteoblast cancer cells. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 2009. vol. 20. no. S1. pp. 235–241. doi: 10.1007/s10856-008-3548-5.
- 9 Wahab R., Kaushik N.K., Verma A.K., Mishra A. et al. Fabrication and growth mechanism of ZnO nanostructures and their cytotoxic effect on human brain tumor U87, cervical cancer HeLa, and normal HEK cells. *JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry*. 2011. vol. 16. no. 3. pp. 431–442. doi: 10.1007/s00775-010-0740-0.
- 10 Gilli R., Kacuráková M., Mathlouthi M., Navarini L. et al. FTIR studies of sodium hyaluronate and its oligomers in the amorphous solid phase and in aqueous solution. *Carbohydrate Research*. 1994. vol. 263. no. 2. pp. 315–326. doi: 10.1016/0008-6215(94)00147-2
- 11 Paramadini A.W. et al. Fabrication and in vitro characterization of zinc oxide nanoparticles and hyaluronic acid containing carboxymethylcellulose gel for wound healing application. *Pharmaceutical Development and Technology*. 2023. vol. 28. no. 1. pp. 95-108.
- 12 Abdel-Rahman R.M. et al. Hyaluronan/Zinc Oxide Nanocomposite-Based Membrane: Preparation, Characterization, and In Vitro and In Vivo Evaluation. *ACS Applied Polymer Materials*. 2022. vol. 4. no. 10. pp. 7723-7738.
- 13 Akkaya A. et al. Hyaluronic acid mediated ZnO-NPs: In relation to electrical and photocatalytic activity for dye degradation. *Journal of Alloys and Compounds*. 2024. vol. 1005. pp. 175861.
- 14 Markus J. et al. Synthesis of hyaluronic acid or O-carboxymethyl chitosan-stabilized ZnO–ginsenoside Rh2 nanocomposites incorporated with aqueous leaf extract of *Dendropanax morbifera* Léveillé: In vitro studies as potential sunscreen agents. *New Journal of Chemistry*. 2019. vol. 43. no. 23. pp. 9188-9200.
- 15 Mohamed R. et al. Antibiotic-free combinational hyaluronic acid blend nanofibers for wound healing enhancement. *International journal of biological macromolecules*. 2021. vol. 167. pp. 1552-1563.
- 16 Díez-Pascual A.M., Díez-Vicente A.L. Wound healing bionanocomposites based on castor oil polymeric films reinforced with chitosan-modified ZnO nanoparticles. *Biomacromolecules*. 2015. vol. 16. no. 9. pp. 2631-2644.
- 17 Abednejad A. et al. Hyaluronic acid/carboxylated Zeolitic Imidazolate Framework film with improved mechanical and antibacterial properties. *Carbohydrate polymers*. 2019. vol. 222. pp. 115033.
- 18 Abou-Okeil A. et al. Hyaluronic acid/Na-alginate films as topical bioactive wound dressings. *European Polymer Journal*. 2018. vol. 109. pp. 101-109.
- 19 Mondal M.I.H., Islam M.M., Ahmed F. Enhanced wound healing with biogenic zinc oxide nanoparticle-incorporated carboxymethyl cellulose/polyvinylpyrrolidone nanocomposite hydrogels. *Biomaterials Science*. 2024.
- 20 Salim S.A. et al. Electrospun zinc-based metal organic framework loaded-PVA/chitosan/hyaluronic acid interfaces in antimicrobial composite nanofibers scaffold for bone regeneration applications. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 2022. vol. 76. pp. 103823.

Information about authors

Contribution

Kolawole S. Dada graduate student, chemical engineering center, ITMO University, Kronverksky av., 49, Saint Petersburg, 197101, Russia, dadakolawole1978@gmail.com
 <https://orcid.org/0009-0006-4881-7409>

review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Mayya V. Uspenskaya Dr. Sci (Engin.), professor, Institute of Civil Engineering, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Polytechnicheskaya st., 29, 195251, Saint Petersburg, Russia, mv_uspenskaya@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2510-2639>

proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Collins N. Elangwe graduate student, chemical engineering center, ITMO University, Kronverksky av., 49, Saint Petersburg, 197101, Russia, collinselangwe@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-4501-7450>

review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Anastasiia O. Nosova graduate student, chemical engineering center, ITMO University, Kronverksky av., 49, Saint Petersburg, 197101, Russia, aonosova@itmo.ru
 <https://orcid.org/0009-0009-2014-5876>

wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Roman O. Olekhovich Cand. Sci. (Engin.), associate professor, faculty of control systems and robotics, ITMO University, Kronverksky av., 49, Saint Petersburg, 197101, Russia, r.o.olekhovich@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-6894-1224>

wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 16/07/2024

Accepted in revised 08/08/2024

Accepted 30/08/2024

Изучение влияния механических и физических характеристик трансдермальных пластырей: исследование полимерных пленок на основе гиалуроновой кислоты и наночастиц оксида цинка

Аннотация. В данной работе представлены исследования физико-механических и специальных характеристик полимерных пленок, на основе гиалуроновой кислоты (ГК) и наночастиц оксида цинка (ZnO), которые могут найти широкое применение в качестве трансдермальных пластырей. Трансдермальные пластыри представляют собой полимерные покрытия, широко используемые не только для проведения косметических процедур, но и применяемые в различных направлениях медицины, в частности, при лечении онкологических и гинекологических и т.д. заболеваний. Они обладают достоинствами, например, удобством и простотой, возможностью равномерного поступления препарата, широким спектром возможного применения. Данные преимущества делают трансдермальные пластыри важным инструментом для различных областей медицины. Однако, большинство биополимеров, используемых в качестве основы полимерной матрицы, не соответствуют требуемым физико-механическим характеристикам при создании полимерных пленок медицинского назначения. Именно поэтому в качестве полимерной основы был выбрана гиалуроновая кислота с наночастицами ZnO в качестве наполнителя. В работе изучено влияние концентрации наночастиц на физико-механические и специальные свойства полимерных пленок на основе гиалуроновой кислоты. Показано, что применение 5 масс.% наночастиц ZnO в составе композита приводит к получению полимерной пленки на основе гиалуроновой кислоты, с оптимальными механическими параметрами (балансом между относительным удлинением и прочностью получаемых материалов и соответствием текстуре кожи), что имеет решающее значение для повышения эффективности применения полученных полимерных пленок в качестве основы при создании трансдермальных пластырей.

Ключевые слова: Модуль Юнга, композитные материалы, полимерная матрица, гиалуроновая кислота, наночастицы оксида цинка.

Колаволе С. Дада аспирант, центр химической инженерии, Университет ИТМО, Кронверкский проспект, д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101 Россия, dadakolawole1978@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0006-4881-7409>

Коллинс Н. Элангве аспирант, центр химической инженерии, Университет ИТМО, Кронверкский проспект, д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101 Россия, collinselangwe@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-4501-7450>

Роман О. Олехнович к.т.н. доцент, факультет систем управления и робототехники, Университет ИТМО, Кронверкский проспект, д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101 Россия, r.o.olekhnovich@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6894-1224>

Майя В. Успенская д.т.н., профессор, инженерно-строительный институт, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, д. 29, г. Санкт-Петербург, 195251, Россия, mv_uspenskaya@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2510-2639>

Анастасия О. Носова аспирант, центр химической инженерии, Университет ИТМО, Кронверкский проспект, д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101 Россия, aonosova@itmo.ru

 <https://orcid.org/0009-0009-2014-5876>

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-vsu.ru/vguit/user/register>).

В состав электронной версии статьи должны входить:

1. Рукопись статьи оформленная строго в шаблоне редакции в формате Word 2007–2016. Word 2003 – **НЕ Принимается**
2. табличный материал в виде отдельного файла (**только при условии** когда объем одной таблицы превышает полную страницу журнальной статьи)
3. иллюстрации в **исходном формате данных с возможностью редактирования (программах для черчения/рисования/создания диаграмм и прочее, ТО ЕСТЬ НЕ сохранен в формате с потерей качества)** предпочтение, при этом отдается векторным форматам: **eps, svg, ai, pdf**, растровый формат изображений (с сжатием): форматы **png, jpeg и пр.** не прикреплять. Минимальное разрешение рисунков и графиков **600 dpi**. Это требование необходимо для повышения типографского качества печатной версии издания.

Если авторов несколько, то необходимо указать автора, которому будет адресована корреспонденция, и его контактные данные: адрес, номер телефона/факса, а также адреса электронной почты всех авторов.

ВНИМАНИЕ: Авторы несут полную ответственность за достоверность и оригинальность информации, предоставленной в рукописи. Все рукописи проходят проверку на наличие заимствований в системе «Антиплагиат». Оригинальность рукописи должна быть не менее 80%, в противном случае рукопись будет возвращена без права опубликования. При обнаружении нарушения авторских прав или плагиата будет проведена ретракция опубликованных статей в соответствии с правилами COPE.

ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ

Статьи в журнале «ВЕСТНИК ВГУИТ» издаются на русском языке с реферат на английском языке. По согласованию с редакцией допускается публикация статьи и на английском языке.

Вся статья (текст, таблицы, примечания, заголовки, иностранные вставки, список литературы, подрисуночные подписи и др.) набирается на компьютере в соответствии со стилями форматирования **шаблона журнала для MS Word 2007-2016**.

Версия статьи выполненная средствами MS Word 2003 **НЕ принимаются**.

Объем статьи, включая список литературы и подрисуночные подписи, не должен превышать: для работ, имеющих общее значение 5–20 страниц текста, для кратких сообщений до 3 стр.

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

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

1.2 Пищевая биотехнология

4.3.3. Пищевые системы (технические науки)

4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки)

2. Химическая технология

2.6.7. Технология неорганических веществ (технические науки)

2.6.7. Технология неорганических веществ (химические науки)

2.6.10. Технология органических веществ (химические науки)

2.6.10. Технология органических веществ (технические науки)

2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (химические науки)

2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)

2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ (технические науки)

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (физикоматематические науки)

ПОРЯДОК ОПИСАНИЯ ССЫЛОК НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

СТАТЬЯ В ЖУРНАЛЕ:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Буянова И.В., Имангалиева Ж.К. Агрегат для тонкого измельчения творога // Вестник Международной академии холода. 2016. № 3. С. 23–26.

(кол-во авторов более 4):

Семенов Е.В., Бабакин Б.С., Воронин М.И., Белозёров А.Г. и др. Математическое моделирование процесса охлаждения хладоносителя системой замороженных шаров // Вестник Международной академии холода. 2016. № 4. С. 74–79.

СТАТЬЯ В ЖУРНАЛЕ С DOI:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Илюхина Н.В., Колоколова А.Ю. Закономерности ингибирования культуры *Salmonella* // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 209–212. doi: 10.20914/2310-1202-2018-4-209-212

(кол-во авторов более 4):

Шарова Н.Ю., Принцева А.А., Манжиева Б.С., Выборнова Т.В. и др. Ферменты гидролитического действия в технологиях переработки некондиционного крахмалсодержащего сырья // Пищевая промышленность. 2019. № 4. С. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ:

Содержание и технологии образования взрослых: проблема опережающего образования: сб. науч. тр. / Институт образования взрослых Рос. акад. образования; под ред. А.Е. Марона. М.: ИОВ, 2007. 118 с.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, ФОРУМОВ, СОВЕЩАНИЙ, СЕМИНАРОВ:

Цветкова И.И., Сводцева И.А. Индикаторный подход к оценке кадровой безопасности в системе экономической безопасности предприятия // Устойчивое развитие социально-экономической системы Российской Федерации: мат. XVII науч.-практ. конф., Гурзуф, Ялта, 04 декабря 2015 г. Симферополь: Ариал, 2016. С. 110–112.

КНИГА, МОНОГРАФИЯ:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Румянцева З.П. Менеджмент организаций. М.: Инфра-М, 2015. 432 с.

(кол-во авторов более 4):

Антипова Л.В., Сторублевцев С.А., Успенская М.Е., Попова Я.А. и др. Комплексная переработка кроликов: традиции и инновации: монография. Воронеж, 2017. 377 с.

ДИССЕРТАЦИЯ

Пономаренко Ю.А. Нетрадиционные корма и биологически активные вещества в рационах цыплят-бройлеров и кур-несушек: дис... д-ра с.-х. наук. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2017. 437 с.

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ:

Ушакова А.С. Разработка комплексной технологии переработки сушеного плодово-ягодного сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кемерово: Кемер. технол. ин-т пищевой пром., 2017. 22 с.

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ:

порядок описания:

Заглавие официального документа: сведения, относящиеся к заглавию (указ, постановление), Дата принятия документа / Название издания. Год издания. Количество страниц.

пример:

ГОСТ 5900–2014. Изделия кондитерские. Определение массовой доли влаги и сухих веществ. М.: Стандартинформ, 2015. 8 с.

ПАТЕНТ:

порядок описания:

Обозначение вида документа, номер, название страны, индекс международной классификации изобретений. Название изобретения / И.О.Фамилия изобретателя, заявителя, патентовладельца; Наименование учреждения-заявителя. Регистрационный номер заявки; Дата подачи; Дата публикации, сведения о публикуемом документе.

пример:

Пат. № 2689672, RU, A23L 5/00. Способ комплексной переработки семян сои с выделением белоксодержащих фракций / Четверикова И.В., Шевцов А.А., Ткач В.В., Сердюкова Н.А. № 2018107149; Заявл. 26.02.2018; Опубл. 01.07.2019. Бюл. № 19.

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕСУРС:

порядок описания:

Фамилия И.О. автора (если указаны). Название ресурса. Место издания: Издательство, год издания (если указаны). Адрес локального сетевого ресурса.

пример:

Лапидус Л.В. Центр компетенций цифровой экономики. Ассоциация граждан и организаций по содействию развитию корпоративного образования. URL: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/>

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):

Plyukhina 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 vestnikvgta@mail.ru. Should specify the name of the first author of the article in the subject.

The electronic version of the paper should include: a file containing the text of the article, illustrations, tabular material in a separate file (if the amount of one table exceeds full page) and illustration (files in original format), preference is given to vector formats: eps, svg, ai, pdf.

If there are several authors, you must specify contact details of the authors to whom correspondence shall be addressed: address, phone / fax numbers and e-mail addresses.

The manuscript must be accompanied by a review from a specialist in this field, certified by signature and stamp.

Online application form is also available. The author can use the official website of the journal by completing registration at <http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/user/register>).

All articles received by the editorial board of the journal "Proceedings of the VSUET", are subject to mandatory unilateral anonymous ("blind") review (the authors do not know the names of reviewers of the manuscript, and will receive a letter with comments, signed by the chief editor).

After passing the review procedure and the approval of an article for publication, the authors' names and their listed order cannot be changed (addition, deletion, rearrangement). When submitting the final version of the article, please make sure that the list of authors is a complete and listed in a proper order.

ATTENTION: The author is solely responsible for the accuracy and originality of the information provided in the article. All manuscripts are checked for the presence of borrowings using "Antiplagiat" system. All manuscripts are tested with ANTIPLAGIAT for testing electronic documents for originality and reveal plagiarisms. The manuscript must comprise at least 80% of originality; otherwise the manuscript will be returned without the right to be published. Upon detection of copyright infringement or plagiarism in already published articles, they will be invalidated in accordance with the rules of COPE.

Requirements for structure of the paper

Articles in the journal "Proceedings of the VSUET" are published in Russian with English summary. In agreement with the editors, the publication may be done entirely in English.

By agreement, the editors accept publication of the article in English.

Full article (tables, text, footnotes, headers, inserts in a foreign language, references, captions, etc..) must be typed on a computer: in accordance with journal template formatting styles for MS Word 2007-2016..

The volume of the article, including references and captions must not exceed: for work of a common significance: from 5 to 20 pages, for news reports to 3 pages.

The manuscript should be structured to the following plan:

- *Type of article (original article, review article, short message or letter);*
- *UDC (Universal Decimal classification);*
- *DOI - numeric identifier (provided by the editors available for an extra fee);*
- *Full title of the article;*

- First name (full), patronymic name (initials) and surname (full) of the author (s) e-mail;
- Name of the department (for a university) / laboratory (for Scientific Research Institute), the full name of the workplace, city, country;
- Abstract;
- Keywords;
- For reference (filled automatically);
- Structured text of the article;
- Thanks / acknowledgements;
- List of resources used (bibliography);
- Information about the authors;
- Contribution;
- Conflict of interest.

The English version of the article title, first name, patronymic initial and last name of the authors, the full names of all workplaces, structured summaries and keywords must be given below a resume and keywords in Russian.

The editors reserve the right to correct the translation. It is recommended to take the help of a professional translator to avoid mistakes in compiling the English version of resume.

REQUIREMENTS TO THE CONTENT

I THE TITLE PAGE INCLUDES:

Article type

UDK

DOI:

TITLE OF THE ARTICLE. Title of work should be as short as possible (no more than 120 characters), and should accurately reflect its content. It is important to avoid titles in the form of interrogative sentences, as well as titles with an ambiguous meaning. Must use only standard abbreviations (acronyms). Must not use acronyms in the title. Full term should precede the first use of the acronym in the text.

FIRST NAME (FULL), PATRONYMIC (INITIAL) AND SURNAME (FULL) OF AUTHOR (S).

For example: **Aleksey D. 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/vquit/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., Belozerov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls // Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. № 4. P. 74–79.

ARTICLE WITH DOI:

(number of authors from 1 to 4):

Ilyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of *Salmonella* Culture // Bulletin of the Voronezh State University. 2018.V. 80. № 4. P. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212

(number of authors more than 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials // Food Industry. 2019. № 4. P. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS:

The content and technology of adult education: the problem of advanced education: collection of scientific papers / Institute for Adult Education Ros. Acad. education; under the editorship of A.E. Marona. M.: JOB, 2007.118 p.

MATERIALS OF CONFERENCES, FORUMS, MEETINGS, SEMINARS:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise // Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation: mat. XVII scientific and practical. conf., Gurzuf, Yalta, December 4, 2015. Simferopol: Arial, 2016. P. 110–112.

BOOK, MONOGRAPH:

(number of authors from 1 to 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations. M.: Infra-M, 2015.432 p.

(number of authors more than 4):

Antipova L.V., Storulevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Y.A. et al. Integrated processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p.

DISSERTATION:

Ponomarenko Yu.A. Unconventional feeds and biologically active substances in the diets of broilers and laying hens: dis ... Dr. S.-kh. sciences. Sergiev Posad: VNITIP, 2017.443 p.

SUMMARY OF THE DISSERTATION

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials: abstract of the diss....cand. tech. sciences. Kemerovo: Kemer. technol. Institute of Food Industry, 2017.22 p.

REGULATORY DOCUMENTS:

description order:

Title of an official document: information related to the title (decree, resolution), Date of adoption of the document / Title of publication. The year of publishing. Number of pages.

example:

GOST 5900–2014. Confectionery. Determination of the mass fraction of moisture and solids. M.: Standartinform, 2015. 8 p.

PATENT:

description order:

Designation of the type of document, number, name of the country, index of international classification of inventions. Title of invention / name of inventor, applicant, patent holder; Name of applicant institution. Registration number of the application; Date of application; Date of publication, information about the published document.

example:

7 Pat. no. 2689672, RU, A23L 5/00. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions / Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. no. 2018107149; Appl. 26.02.2018; Publ. 01.07.2019. Bull. Number 19.

ELECTRONIC RESOURCE:

Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. URL: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/>

ENGLISH LANGUAGE DESCRIPTION PROCEDURE:**JOURNAL ARTICLE:**

description order:

Surname I.O. author (transliteration). Translation of the title of the article into English. Translation of the source name into English. Year, volume, number, pages (from-to). An indication of the language of the article (in Russian) after the description of the article.

example:

(number of authors from 1 to 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 3. pp. 23–26. (in Russian).

(number of authors more than 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozerov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 4. pp. 74–79. (in Russian).

ARTICLE WITH DOI:

(number of authors from 1 to 4):

Ilyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of Salmonella Culture. Bulletin of the Voronezh State University. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212 (in Russian).

(number of authors more than 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials. Food Industry. 2019. no. 4. pp. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058 (in Russian).

ARTICLE FROM ELECTRONIC JOURNAL:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. Journal of Computer Mediated Communication. 1999. vol. 5. no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/>

ARTICLE FROM CONTINUING PUBLICATIONS (PROCEEDINGS):

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. Experimental study of the strength of joints “steel-composite”. Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”. 2006. no. 593. pp. 125–130. (in Russian).

CONFERENCE MATERIALS:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise. Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation. Simferopol, Arial, 2016. pp. 110–112. (in Russian).

BOOK, MONOGRAPH:

(number of authors from 1 to 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations: a monograph. Moscow, Infra-M, 2015. 432 p. (in Russian).

(number of authors more than 4):

Antipova L.V., Storublevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Ya.A. et al. Complex processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p. (in Russian).

DISSERTATION OR SUMMARY OF THE DISSERTATION:

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials. Kemerovo, Kemer. Technol. Institute of Food Industry, 2017. 22 p. (in Russian).

GOST:

State Standard 5900–2014. Confectionery products. Determination of the mass fraction of moisture and dry matter. Moscow, Standartinform, 2015. 8 p. (in Russian).

PATENT:

Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions. Patent RF, no. 2689672, 2019.

ELECTRONIC RESOURCE:

Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. Available at: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/> (in Russian).