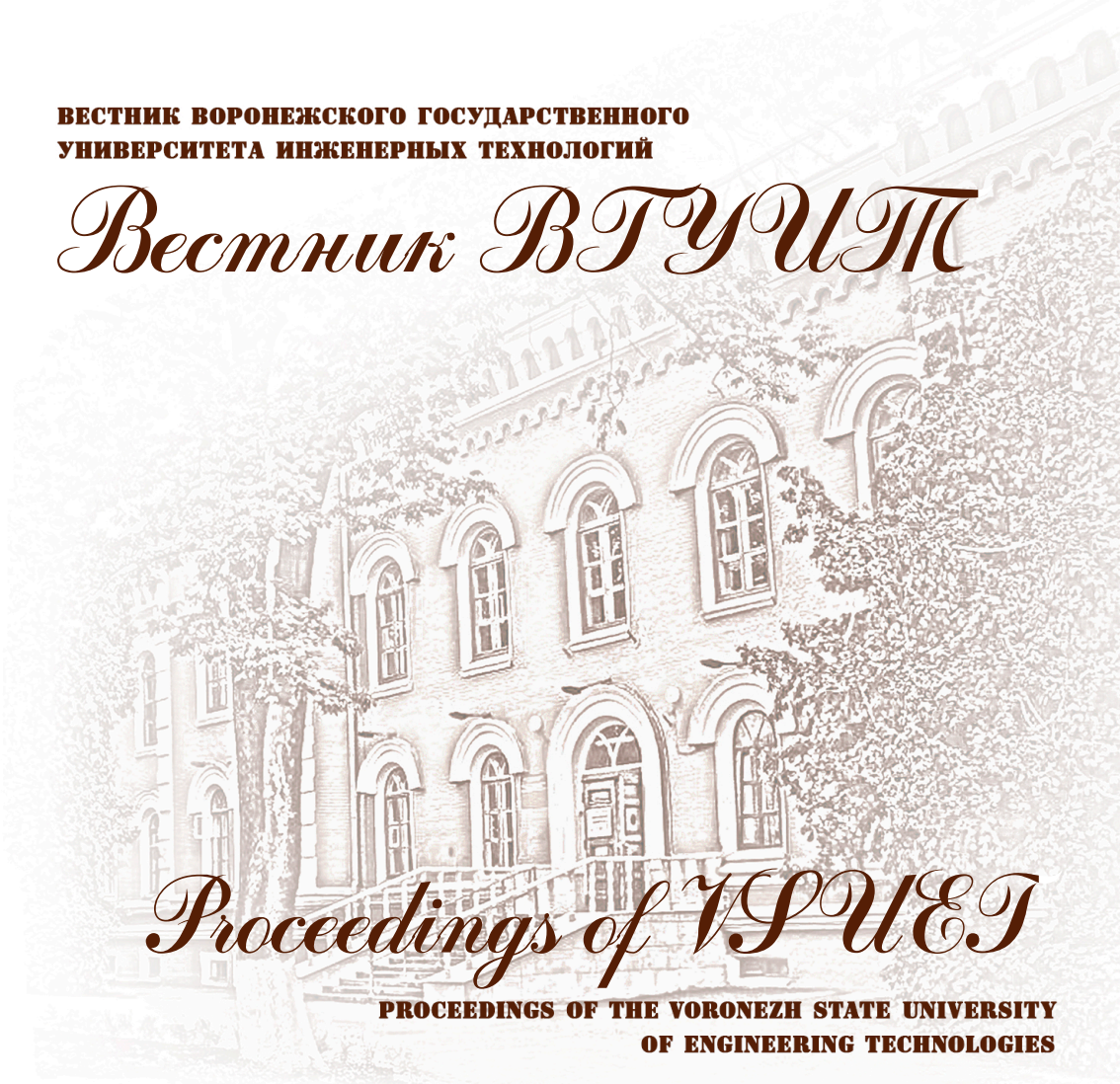
ISSN 2226-910X
E-ISSN 2310-1202

ВЕСТНИК ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Вестник ВГУИТ



Proceedings of VSUET

PROCEEDINGS OF THE VORONEZH STATE UNIVERSITY OF ENGINEERING TECHNOLOGIES

2025 № 1

16+

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

16+

ВЕСТНИК ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ВЕСТНИК ВГУИТ

2025, Том. 87, № 1

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В 1938 ГОДУ
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД

Воронеж
2025

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

2025, Vol. 87, No. 1

SCIENTIFIC AND THEORETICAL JOURNAL

FOUNDED IN 1938
COMES 4 TIMES PER YEAR

Voronezh
2025

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

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

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

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

1. Пищевые системы

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

Пищевые системы

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)

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)

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

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

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

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

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)

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

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

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

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)

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

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)

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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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)

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

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

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

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

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

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)

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

Химическая технология

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 03.03.2025. Подписано в печать 21.03.2025
Выход в свет: 31.03.2025
Усл. печ. л. 39.81 Тираж 1500 экз. Заказ.
Цена – свободная.

© ФГБОУ ВО «Воронеж. гос. ун-т инж. технол.», 2025

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. Food systems

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

Food systems

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)

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

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

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

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

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

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)

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)

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

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)

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)

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)

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

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)

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)

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

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)

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

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

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

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)

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

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

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

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

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

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)

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)

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)

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)

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)

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)

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

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

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)

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

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

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 ПИ № ФС77-56830 January 29, 2014

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

Put in set 03.03.2025. Signed to print 21.03.2025
The publication:31.03.2025
Conditional Print l. 39,81 Circulation 1500 copies.
Price - Free.

© FSBEI HE
"Voronezh State University
of Engineering
Technologies ", 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Алексеев М.В., Кудряшов В.С., Авцинов И.А., Гаврилов А.Н., Иванов А.В., Козенко И.А., Устиненок И.А. Модернизация цифровой системы управления процессом пастеризации пива **15**

Остриков А.Н., Копылов М.В., Цапкина Н.И., Терёхина А.В., Василенко В.Н. Особенности расчета и проектирования комбинированного аппарата для получения жирных кислот из соапстоков **22**

Казарцев Д.А., Ключников А.И., Востриков О.Ю., Назина К.В., Деменкова А.Я. Разработка аппаратурно-технологической линии производства виски по ускоренной технологии **29**

Дранников А.В., Ситников Н.Ю., Бубнов А.Р., Овсянников В.Ю., Полянский К.К. Математическая интерпретация кинетических закономерностей сушки свекловичной стружки **38**

Соколова Е.В. Исследование влияния основных факторов на производительность распылительной сушки экстракта солодкового корня **47**

Остриков А.Н., Копылов М.В., Цапкина Н.И., Терёхина А.В., Василенко В.Н. Исследование показателей качества жирных кислот, полученных при переработке соапстоков по трехстадийной технологии **54**

Богомолова И.П., Кулигин Д.Р., Муравьев А.С. Управление сырьевыми инновациями в бродильной промышленности в аспекте расширения потребительского спроса **64**

Янова М.А., Росляков Ю.Ф., Шаропатова А.В., Куприна М.Н. Прогнозирование обеспеченности зерноперерабатывающих предприятий Красноярского края зерном основных злаковых культур **70**

Лукин Н.Д., Пучкова Т.С., Казарцев Д.А., Ключников А.И., Славянский А.А., Грибкова В.А. Разработка технологии переработки топинамбура на олигофруктозный и фруктозо-глюкозный сиропы **77**

Горбанов И.А., Гиро Т.М. Оценка безопасности баранины для производства мясных снеков после применения кормовой добавки «Лактувет-1» в рационе животных **86**

Разумовская Е.С., Милентьева И.С. Поиск антигипертензивных пептидов в гидролизатах свиных субпродуктов с помощью пептидомических подходов **93**

Терёхина А.В., Капустина В.С., Мыцикова Д.С., Титова С.А., Василенко В.Н. Исследование влияния семян чиа на реологические свойства водных растворов **100**

Хузина Н.А., Полянский К.К., Дегтярев Н.М., Дерканосова А.А. К вопросу о соблюдении правовых требования к обеспечению качества и безопасности пищевых продуктов **109**

Дерканосова А.А., Коновалов С.А., Фризен Ю.В., Полянский К.К. Управление затратами на предприятиях хлебопекарной промышленности **114**

Кулигин Д.Р., Саввина Е.А., Васечкин В.М., Чесников Л.С., Желтоухова Е.Ю. Цифровизация с использованием AI, как ключевой фактор повышения эффективности производства и качества пива **123**

Денисович Ю.Ю. Разработка технологии функционального продукта питания, обогащенного источниками йода и селена **130**

Ткешелашвили М.Е., Бобожонова Г.А., Магомедов Г.О. Разработка состава для приготовления шоколадной массы и шоколада повышенной пищевой ценности с профилактическим свойством **140**

Рыбченко Т.В., Коновалов С.А., Дерканосова А.А., Полянский К.К. Региональное развитие российского сыроделия **149**

Перова Н.А., Калаев В.Н., Мальцева О.Ю., Новикова И.В. Использование защищенных белковых добавок в кормлении коров: цели применения, влияние на физиологические показатели животных и экономическую эффективность производства молока (обзор) **157**

Джабакова А.Э., Тулякова Т.В., Фоменко Н.В., Леонова И.Б. Определение биотического потенциала в картофеле и яблоках **168**

Коршик Т.С., Мастихина А.Л., Сергазиева О.Д., Аверьянова Н.Д. Оптимизация ассортимента йогуртов с растительными добавками: товароведческий подход к выбору и оценке компонентов **175**

Нартова В.Н., Алёхина Н.Н., Пономарева Е.И., Лукина С.И. Влияние обогатителя растительного происхождения на функциональные свойства печенья овсяного **184**

Давыденко С.Г. Меледина Т.В. Андреева А. Исследование морфофизиологических свойств дрожжей, перспективных для производства этанола **190**

Петрушов Ю.А., Калачев С.Л., Колобов С.В., Жиркова Е.В. Анализ пищевой и биологической ценности культивируемых грибов **198**

Пономарева Е.И., Лукина С.И., Алехина Н.Н., Григорян А.Э. Разработка рецептурного состава сырцовых пряников, обогащенных нетрадиционными видами сырья **206**

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Рымовская М.В., Маркевич Р.М., Масехнович А.А. Особенности регулирования реакции среды в анаэробном биореакторе с гранулированным илом **213**

Пушница А.С., Власов В.В., Москалев А.С. Перспективы разработки топливостойких эластомерных материалов для применения в регионах с холодным климатом **223**

Джафарли Н.Т. О возможности интенсификации извлечения полярными экстрагентами **231**

Балабанова М.Ю., Панов С.Ю., Марнов А.Ю. Исследование технического решения экологических и энергетических проблем при пиролизной переработке крупнотоннажных твердых органических отходов **239**

Васильев И.Ю. Экструзионная переработка и свойства композитов на основе вторичного полипропилена наполненного сополимером стиролэтилен-бутилен-стирольным каучуком **246**

Васина Ю.А., Род В.А., Авдеева Я.В., Кондратов А.П. Цветопеременные эффекты при печати триадными красками на многослойной упаковке из прозрачной пленки полипропилена **255**

Голякевич А.А. Исследование влияния поверхности оксида цинка на вулканизацию полидиенов **262**

Мелессе И.Й., Альхаир А.Я., Филинская Ю.А., Кирш И.А., Банникова О.А. Влияние наночастиц оксида циркония (ZrO_2) на механические, барьерные и антибактериальные свойства полиэтиленовой матрицы **278**

CONTENTS

FOOD SYSTEMS

Alekseev M.V., Kudryashov V.S., Avtsinov I.A., Gavrilov A.N., Ivanov A.V., Kozenko I.A., Ustinenok I.A. Modernization of the digital control system for the beer pasteurization process **15**

Ostrikov A.N., Kopylov M.V., Tsapkina N.I., Terekhina A.V., Vasilenko V.N. Features of calculation and design of a combined apparatus for obtaining fatty acids from soapstocks **22**

Kazartsev D.A., Klyuchnikov A.I., Vostrikov O.Y., Nazina K.V., Demenkova A.Ya. Development of an equipment and technological whiskey production line using accelerated technology **29**

Drannikov A.V., Sitnikov N.Yu., Bubnov A.R., Ovsyannikov V.Yu, Polyansky K.K. Mathematical interpretation of kinetic patterns of beet shavings drying **38**

Sokolova E.V. Study on the influence of main factors on the performance of spray drying of licorice root extract **47**

Ostrikov A.N., Kopylov M.V., Tsapkina N.I., Terekhina A.V., Vasilenko V.N. Study of quality indicators of fatty acids obtained during soapstock pro-cessing by three-stage technology **54**

Bogomolova I.P., Kuligin D.R., Muravev A.S. Management of raw material innovations in the fermentation industry in the aspect of expanding consumer demand **64**

Yanova M.A., Roslyakov Y.F., Sharopatova A.V., Kuprina M.N Forecasting the supply of milling and groats enterprises of the Krasnoyarsk region raw materials of the major cereal crops **70**

Lukin N.D., Puchkova T.S. Kazartsev D.A Klyuchnikov A.I., Slavyanskiy A.A., Gribkova V.A. Development of technology for processing jerusalem artichoke into oligofructose and fructose-glucose syrups **77**

Gorbanov I.A., Giro T.M. Evaluation of lamb meat safety for meat snack production after the use of the feed supplement “Lactuvet-1” in animal diets **86**

Razumovskaya. E.S., Milentyeva I.S. Search for antihypertensive peptides in hydrolysates of pork by-products using peptidomic approaches **93**

Terekhina A.V., Kapustina V.S., Mytsikova D.S., Titova S.A., Vasilenk V.N. Investigation of the effect of chia seeds on the rheological properties of aqueous solutions **100**

Khuzina N.A., Polyansky K.K., Degtyarev N.M., Derkanosova A.A. On the issue of compliance with legal requirements for ensuring the quality and safety of food products **109**

Derkanosova A.A., Konovalov S.A., Friesen Yu.V., Polyansky K.K. Production accounting at food factories with the purpose of cost minimization **114**

Kuligin D.R., Savvina E.A., Vasechkin V.M., Chesnikov L.S., Zheltoukhova E.Yu. AI-enabled digitalization as a key factor in improving production efficiency and beer quality **123**

Denisovich Y.Y. Development of technology for a functional food product enriched with iodine and selenium sources **130**

Tkeshelashvili M.E., Bobozhonova G.A., Magomedov G.O. Development of a composition for the preparation of chocolate mass and chocolate of increased nutritional value with preventive properties **140**

Rybchenko T.V., Konovalov S.A., Derkanosova A.A., Polyansky K.K. Regional development of Russian cheese making **149**

Perova N.A., Kalaev V.N., Maltseva O.Y., Novikova I.V. Use of protected protein supplements in cow feeding: purposes of application, impact on physiological parameters of animals and economic efficiency of milk production (review) **157**

Dzhabakova A.E., Tulyakova T.V., Fomenko N.V., Leonova I.B. Estimation of biotic potential in potatoes and apples **168**

Korshik T.S., Mastikhina A.L., Sergazieva O.D., Averyanova N.D. Optimisation of yoghurt assortment with herbal additives: commodity science approach to selection and evaluation of components **175**

Nartova V.N., Alekhina N.N., Ponomareva E.I., Lukina S.I. The effect of a plant-based fortifier on the functional properties of oatmeal cookies **184**

Davydenko S.G. Meledina T.V. Andreeva A. Investigation of morphophysiological properties of yeast promising for ethanol production **190**

Petrushov Yu.A., Kalatchev S.L., Kolobov S.V., Zhirkova E.V. Analysis of the nutritional and biological value of cultivated mushrooms **198**

Ponomareva E.I., Lukina S.I., Alekhina N.N., Grigoryan A.E. Development of the formulation of raw gingerbread enriched with nontraditional raw materials **206**

CHEMICAL TECHNOLOGY

Rymoskaya M.V., Markevich R.M., Masehnovich A.A. Features of the medium reaction regulation in anaerobic bioreactor with granular sludge **213**
Pushnitsa A.S., Vlasov V.V., Moskalev A.S. Potential for development of fuel-resistant elastomeric materials for use in regions with severe climate conditions **223**
Jafarli Nijat Tahir On the possibility of intensification of extraction by polar extracting agents **231**
Balabanova M.Yu., Panov S.Yu., Marnov A.Yu. Research of Technical Solutions to Environmental and Energy Problems During Pyrolysis Processing of Large-Tonnage Solid Organic Waste **239**
Vasilyev I.Yu. Extrusion processing and properties of composites based on secondary polypropylene filled with styrene-ethylene-butylene-styrene rubber copolymer **246**
Vasina Yu.A., Rod V.A., Avdeeva Y.V., Kondratov A.P. Color-shifting effects when printing with triadic inks on multilayer packaging made of transparent polypropylene film **255**
Golyakevich A.A. Investigation of zinc oxide surface effect on polydienes vulcanization **262**
Melesse E.Y., Alkhair A.Y., Filinskaya Y.A., Kirsh I.A., Bannikova O.A. Effect of zirconium oxide (ZrO_2) nanoparticles on the mechanical, WVTR, and antibacterial properties of polyethylene polymer matrix **278**

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-15-21 Оригинальная статья/Research article
УДК 681.518 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Модернизация цифровой системы управления процессом пастеризации пива

Михаил В. Алексеев	1	mwa1976@mail.ru	0000-0001-7768-8550
Владимир С. Кудряшов	1	kudryashovvs@mail.ru	0000-0001-6237-0881
Игорь А. Авцинов	1	igor.awtzinov@yandex.ru	0000-0002-2528-0905
Александр Н. Гаврилов	1	ganivrn@mail.ru	0000-0002-0132-4563
Андрей В. Иванов	1	andrious@rambler.ru	0000-0002-6034-9672
Иван А. Козенко	1	kosenko211986@mail.ru	0000-0002-1508-9875
Иван А. Устиненок	2	ustinenok00@mail.ru	

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 ООО «Пивоваренная компания «Балтика» – «Воронежский пивзавод», ул. 9 января, 109, г. Воронеж, 394027, Россия

Аннотация. Статья посвящена решению задач автоматизации пастеризатора в ООО «Пивоваренная компания «Балтика» - «Воронежский пивзавод» для повышения качества управления. Разработана структура системы управления на базе контроллера SIEMENS S7-400, модулей ввода/вывода SM321, SM331, SM322, SM332 и сенсорной панели IEI PPC-5190A. На оборудовании размещены средства локальной автоматизации: датчики температуры SENSYCON PT100; датчики давления Endress+Hauser Cerabar S PMC631, Aplysens 0…10 bar; электромагнитные расходомеры Endress+Hauser; кислородомер HAFFMANS-PENTAIR; кондуктометр Enress+Hauser CLD134-PLC148AB2; клапаны SPIRAX SARCO. Выполнена настройка частотного преобразователя DANFOSS 131B2132 FC-302 для управления насосом для получения возможности работы с малыми потоками пива. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение для управляющего контроллера SIEMENS S7-400 (среда Step7) и сенсорной панели IEI PPC-5190A (среда WinCC). Для управления процессом пастеризации предложено реализовать схему комбинированного регулирования температуры пива (расходом пара) с компенсацией возмущения по давлению греющего пара в трубопроводе. Для синтеза алгоритма цифрового комбинированного управления проведена идентификация дискретных динамических моделей канала регулирования (“расход греющего пара – температура пива на выходе из секции пастеризации”) и канала возмущения (“давление пара в трубопроводе подачи теплоносителя – температура пива на выходе из секции пастеризации”). Идентификация моделей каналов выполнена по полученным экспериментальным данным на пастеризаторе с помощью метода наименьших квадратов (МНК). Для расчета настроек цифровых ПИД-регулятора и компенсатора по каналам регулирования и возмущения применен численный метод оптимизации (метод покоординатного спуска). Проведены модельные эксперименты, которые показали, что применение данного алгоритма значительно снижает колебание температуры пива при пастеризации. Для синтеза алгоритма применялись авторские программы идентификации дискретных динамических моделей каналов объекта и оптимизации настроек цифровых регуляторов и компенсаторов. Система управления процессом введена в эксплуатацию.

Ключевые слова: пастеризатор, цифровая система управления, управляющий контроллер, алгоритм комбинированного регулирования, цифровые регуляторы и компенсаторы, оптимизация, численный метод покоординатного спуска.

Modernization of the digital control system for the beer pasteurization process

Mikhail V. Alekseev	1	mwa1976@mail.ru	0000-0001-7768-8550
Vladimir S. Kudryashov	1	kudryashovvs@mail.ru	0000-0001-6237-0881
Igor A. Avtsinov	1	igor.awtzinov@yandex.ru	0000-0002-2528-0905
Alexander N. Gavrilov	1	ganivrn@mail.ru	0000-0002-0132-4563
Andrey V. Ivanov	1	andrious@rambler.ru	0000-0002-6034-9672
Ivan A. Kozenko	1	kosenko211986@mail.ru	0000-0002-1508-9875
Ivan A. Ustinenok	2	ustinenok00@mail.ru	

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
2 LLC «Baltika Brewing Company» - «Voronezh Brewery», 9 January str., 109, Voronezh, 394027, Russia

Для цитирования
Алексеев М.В., Кудряшов В.С., Авцинов И.А., Гаврилов А.Н., Иванов А.В., Козенко И.А., Устиненок И.А. Модернизация цифровой системы управления процессом пастеризации пива // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 15–21. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-15-25

For citation
Alekseev M.V., Kudryashov V.S., Avtsinov I.A., Gavrilov A.N., Ivanov A.V., Kozenko I.A., Ustinenok I.A. Modernization of the digital control system for the beer pasteurization process. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 15–21. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-15-21

© 2025, Алексеев М.В. и др. / Alekseev M.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Abstract. The article is devoted to solving the problems of automation of the pasteurizer in LLC «Baltika Brewing Company» - «Voronezh Brewery» to improve the quality of control. The control system structure was developed based on the SIEMENS S7-400 controller, input/output modules SM321, SM331, SM322, SM332 and IEI PPC-5190A touch panel. The equipment includes local automation tools: SENSYCON PT100 temperature sensors; Endress+Hauser Cerabar S PMC631, Aplysens 0…10 bar pressure sensors; Endress+Hauser electromagnetic flow meters; HAFFMANS-PENTAIR oxygen meter; Enress+Hauser CLD134-PLC148AB2 conductivity meter; SPIRAX SARCO valves. The DANFOSS 131B2132 FC-302 frequency converter was adjusted to control the pump to enable working with small beer flows. Algorithmic and software support for the SIEMENS S7-400 control controller (Step7 environment) and the IEI PPC-5190A touch panel (WinCC environment) has been developed. To control the pasteurization process, it is proposed to implement a scheme for combined beer temperature control (steam flow rate) with disturbance compensation based on the heating steam pressure in the pipeline. To synthesize the algorithm for digital combined control, discrete dynamic models of the control channel ("heating steam flow rate – beer temperature at the pasteurization section outlet") and the disturbance channel ("steam pressure in the coolant supply pipeline – beer temperature at the pasteurization section outlet") were identified. The channel models were identified based on the experimental data obtained on the pasteurizer using the least squares method (LSM). A numerical optimization method (coordinate descent method) was used to calculate the settings of the digital PID controller and compensator for the control and disturbance channels. Model experiments were conducted, which showed that the use of this algorithm significantly reduces the fluctuation of beer temperature during pasteurization. To synthesize the algorithm, the author's programs for identifying discrete dynamic models of object channels and optimizing the settings of digital regulators and compensators were used. The process control system was put into operation.

Keywords: pasteurizer, digital control system, control controller, combined control algorithm, digital regulators and compensators, optimization, numerical method of coordinate descent.

Введение

Пастеризация – это процесс кратковременного нагрева пива до температуры, при которой погибают оставшиеся в нем живые дрожжи и микроорганизмы, деформирующие вкус продукта и сокращающие срок хранения пива [1–4]. Процесс пастеризации достаточно сложен с позиции управления. Предварительно в пастеризатор подается вода и трубы прогреваются паром (для выхода на требуемый температурный режим). Далее подается пиво (3–4 ºС), которое поступает в отделение предварительного нагрева до 30–40 ºС (камера рекуперации), затем в отделение пастеризации для нагрева до 67–72 ºС паром (с выдержкой времени по длине трубопровода 30–150 с). Пастеризованное пиво направляется в камеру рекуперации (предварительное охлаждение), затем последующее охлаждение до 5–10 ºС и далее в буферную емкость (для поддержания напора в линии розлива). После процесса пастеризации – санитарная обработка.

Основными контролируемыми и регулируемыми параметрами пастеризации являются температура и давление в контурах нагрева, охлаждения и рекуперации [5–8, 17-20].

ООО «Пивоваренная компания «Балтика» – «Воронежский пивзавод» потребовалась модернизация системы управления процессом пастеризации. Целью модернизации является повышение эффективности управления процессом в соответствии с технологическим регламентом, а также создание условий, гарантирующих снижение затрат на содержание и ремонт оборудования.

Решение задачи модернизации достигается путем замены устаревших технических средств автоматизации на более современные, а также корректировкой программного обеспечения цифровой системы управления (ЦСУ).

Результаты

Разработана структура системы управления на базе контроллера SIEMENS S7–400, модулей ввода/вывода SM321, SM331, SM322, SM332 и сенсорной панели IEI PPC-5190A (рисунок 1) [9]. На оборудовании размещены средства локальной автоматизации: датчики температуры SENSYCON PT100; датчики давления Endress + Hauser Cerabar S PMC631, Aplysens 0–10 bar; электромагнитные расходомеры Endress + Hauser; кислородомер HAFFMANS-PENTAIR; кондуктометр Enress + Hauser CLD134-PLC148AB2; клапаны SPIRAX SARCO. Выполнена настройка частотного преобразователя DANFOSS 131B2132 FC-302 для управления насосом для получения возможности работы с малыми потоками пива.

ЦСУ представляет собой систему с управляющим контроллером, а также аналоговыми и дискретными модулями ввода / вывода, располагающимися в шкафу управления. Управление в штатном режиме обеспечивается с панели оператора.

Взаимодействие модулей ввода / вывода, управляющего контроллера и автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора реализовано посредством цифровых интерфейсов. Между датчиками, исполнительными устройствами и модулями ввода / вывода обеспечивается передача аналоговых и дискретных сигналов.

Разработано алгоритмическое и программное обеспечение для управляющего контроллера SIEMENS S7–400 (среда Step7) и сенсорной панели IEI PPC-5190A (среда WinCC) (рисунок 2) [9–15].

При пастеризации обычно реализуются одноконтурные схемы регулирования температуры пива расходом греющего пара по ПИД-закону:

$$u(t) = PID_P \cdot e(t) + PID_I \cdot \int_0^t e(t)dt + PID_D \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

где $u(t)$ – управляющее воздействие регулятора; PID_P – пропорциональная настройка регулятора; PID_I – интегральная настройка; PID_D – дифференциальная настройка; $e(t)$ – ошибка регулирования.

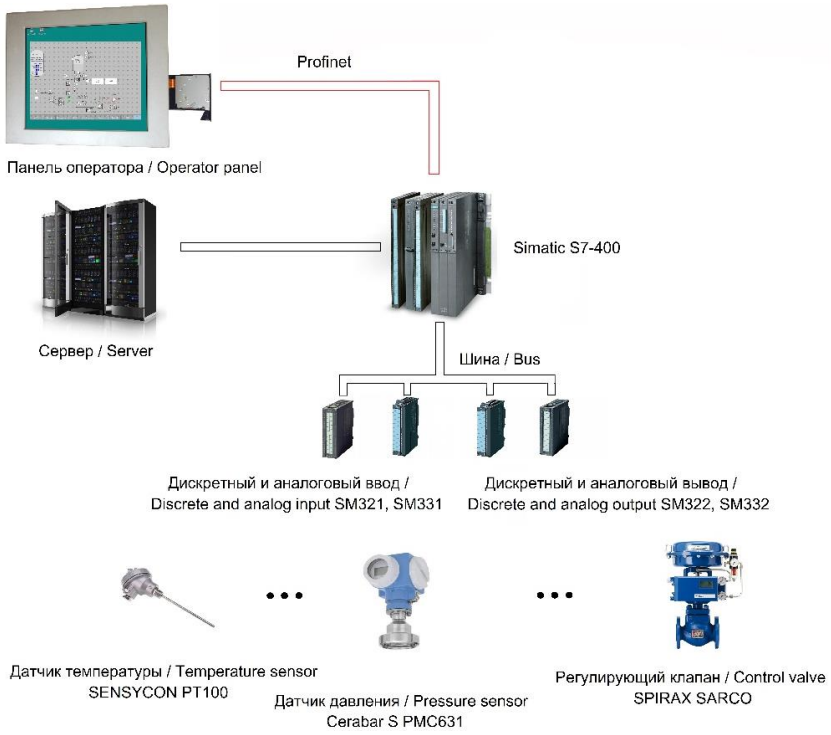


Рисунок 1. Схема комплекса технических средств ЦСУ

Figure 1. Diagram of the complex of technical means of the DCS

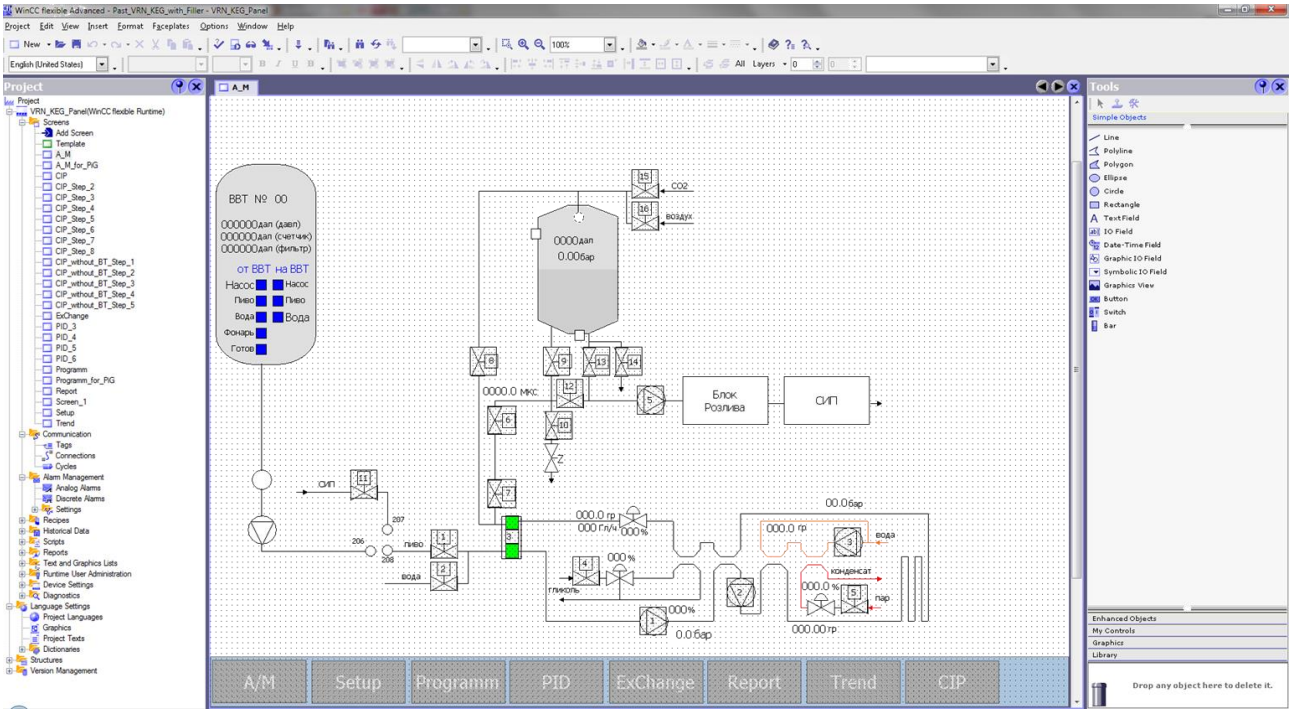


Рисунок 2. Фрагмент программы по разработке АРМ оператора

Figure 2. Fragment of the program for the development of an automated operator workstation

В результате применения одноконтурных схем регулирования температуры пива (по отклонению) возникают колебания температуры до 3–8 ℃, т. к. не учитывается изменение давления греющего пара в процессе пастеризации. Колебания температуры негативно влияют на вкусовые качества пива.

Предлагается для управления процессом пастеризации реализовать комбинированную систему регулирования температуры пива (на выходе из секции пастеризации) с компенсацией возмущений по давлению пара в трубопроводе подачи теплоносителя [9].

Для синтеза алгоритма цифрового комбинированного управления проведена идентификация дискретных динамических моделей канала регулирования (“расход греющего пара – температура пива на выходе из секции пастеризации”) и канала возмущения (“давление пара в трубопроводе подачи теплоносителя – температура пива на выходе из секции пастеризации”).

Идентификация моделей каналов выполнена по полученным экспериментальным данным на пастеризаторе с помощью метода наименьших квадратов (МНК) [16].

Для расчета настроек цифровых ПИД-регулятора и компенсатора по каналам регулирования и возмущения применен численный метод оптимизации (метод покоординатного спуска) [16].

Сначала рассчитаны настройки ПИД-регулятора температуры пива в составе одноконтурной схемы по дискретной динамической модели объекта (по каналу “расход греющего пара – температура пива на выходе из секции пастеризации”). Затем выполнен расчет ПИД-компенсатора давления пара в составе цифровой комбинированной системы управления (длительность такта квантования сигналов i при моделировании составила 1 с).

Комбинированная ЦСУ описана следующей системой конечно-разностных уравнений:

$$\begin{aligned}
&u_i = u_{i-1} + q_0\left(y_i^3 - y_i^\Sigma\right) + q_1\left(y_{i-1}^3 - y_{i-1}^\Sigma\right) + \\
&+q_2\left(y_{i-2}^3 - y_{i-2}^\Sigma\right), \\
&u_{ki} = q_0^x\left(-x_i\right) + q_1^x\left(-x_{i-1}\right) + q_2^x\left(-x_{i-2}\right), \\
&u_{\Sigma i} = u_i + u_{ki}, \\
&y_{i+d+1} = a_1 y_{i+d} + a_2 y_{i+d-1} + b u_{\Sigma i}, \\
&y_{i+dx+1}^x = a_1^x y_{i+dx}^x + b^x x_i, \\
&y_{i+\bar{d}+1}^\Sigma = y_{i+\bar{d}+1} + y_{i+\bar{d}+1}^x,
\end{aligned} \tag{2}$$

где u_i, u_{ki} – управляющие воздействия (расход греющего пара, т/ч) от цифровых ПИД – регулятора и компенсатора на i – том такте квантования сигналов; q_0, q_1, q_2 и q_0^x, q_1^x, q_2^x – настройки ПИД-регулятора и компенсатора в дискретной форме; y_i^3 – задание (уставка) по температуре пива, ºС; y_i^Σ – суммарный (измеряемый) выход объекта (температура пива, ºС); x_i – возмущающее воздействие (давление пара в трубопроводе, кПа); $u_{\Sigma i}$ – суммарное управляющее воздействие; y_i, y_i^x – выходы моделей каналов регулирования и возмущения объекта (температура пива, ºС); a_1, a_2, b, d и a_1^x, b^x, dx – параметры моделей объекта в дискретной форме, идентифицированные по экспериментальным данным; $\bar{d}$ – наименьшее число тактов чистого запаздывания из d и dx.

Оптимизация настроек q_0^x, q_1^x, q_2^x ПИД-компенсатора выполнена методом покоординатного спуска по критерию минимум интегрально-квадратичной ошибки:

$$S = \sum_{i=mc}^{N}\left(y_i^3 - y_i^\Sigma\right)^2, \tag{3}$$

где N – число тактов квантования, соответствующее времени регулирования; mc – переменная, принимающая наибольшее значение из порядков моделей объекта и регуляторов (компенсаторов); y_i^3 – задание (уставка) по температуре; y_i^Σ – суммарный выход объекта (температура пива, ºС) на i – том такте.

После расчета динамических характеристик замкнутой комбинированной системы (2) и критерия S_0 (3) при начальных заданных настройках компенсатора q_0^x, q_1^x, q_2^x, по первой настройке q_0^x выполняется пробный шаг в двух направлениях $\pm h_0^1$ (на первой итерации приближения j рекомендуется величина пробного шага $h_0^1 = 0{,}01 \cdot q_0^x$). Вычисляются соответствующие значения критерия S_+ и S_-, которые затем сравниваются с начальным значением S_0, и производится уточнение шага:

$$h_0^{j+1} = \begin{cases} k_1 \cdot h_0^j & при \quad S_0^j \le S_+^j \wedge S_0^j \le S_-^j \\ k_2 \cdot h_0^j & при \quad S_0^j > S_+^j \vee S_0^j > S_-^j \end{cases}, \tag{4}$$

где $0 < k_1 < 1,\ 1 < k_2 < 2$.

Затем осуществляется шаг по первой настройке q_0^x в направлении убывания критерия:

$$q_0^{x^{j+1}} = \begin{cases} q_0^{x^j} - h_0^{j+1} & \text{при} \quad S_-^j < S_+^j \wedge S_-^j < S_0^j \\ q_0^{x^j} + h_0^{j+1} & \text{при} \quad S_+^j < S_-^j \wedge S_+^j < S_0^j \end{cases}. \tag{5}$$

После этого аналогично выполняется шаг по второй настройке q_1^x и т. д.

Расчет считается законченным, когда величина шага по каждой настройке становиться меньше заранее заданной величины ε, которая характеризует окрестность определения оптимума критерия:

$$h_k^j < \varepsilon, \quad k = \overline{1,3}, \tag{6}$$

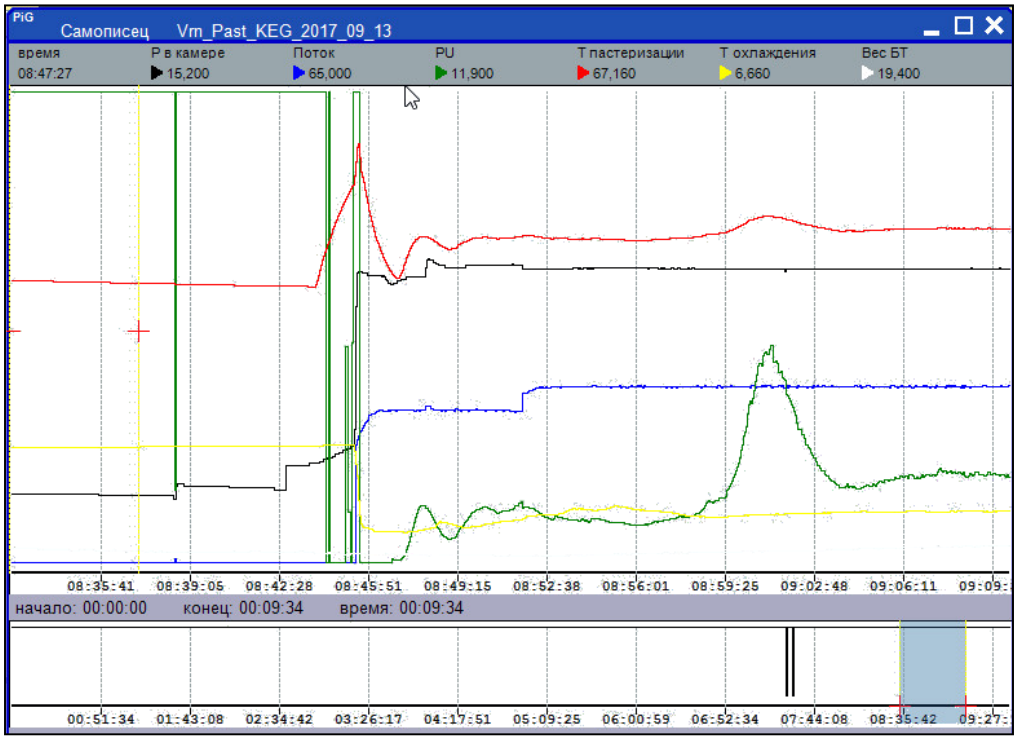
где ε – заданная точность определения оптимума критерия ($\varepsilon = 0{,}0001 \div 0{,}001$).

В процессе оптимизации настроек ПИД-компенсатора в дискретной форме соблюдались ограничения для пересчета настроек в непрерывную форму (1) [16].

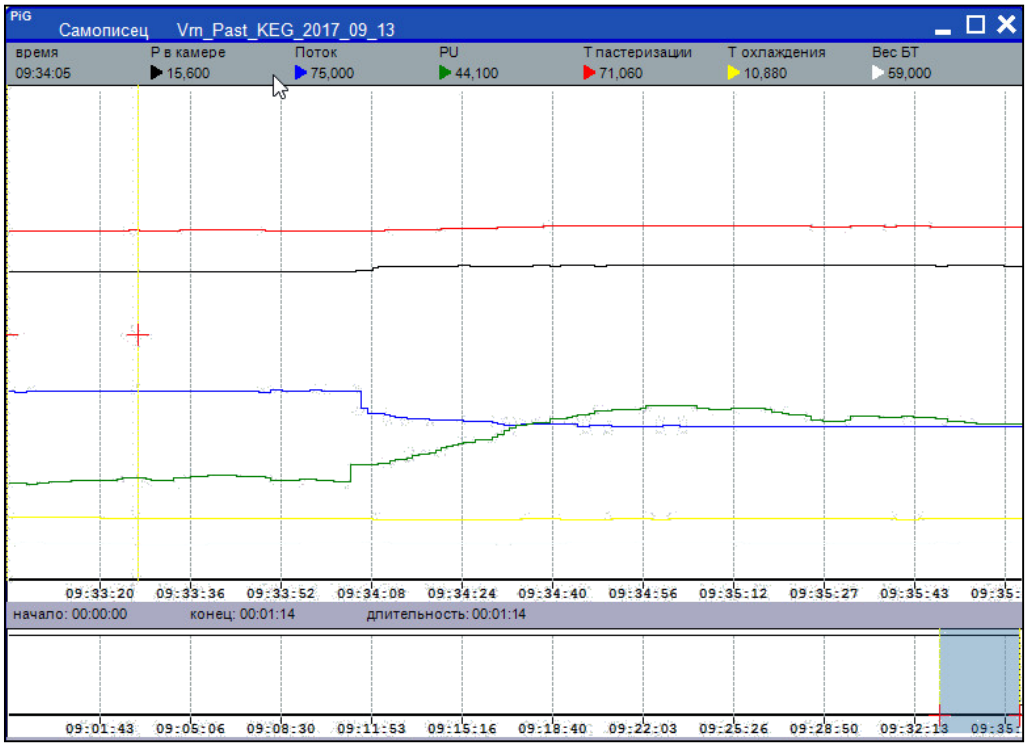
В результате оптимизации рассчитаны настройки ПИД – регулятора и компенсатора в комбинированной системе управления

температурой пива (в процессе пастеризации) с компенсацией возмущений по давлению пара в трубопроводе подачи теплоносителя.

Проведены исследования синтезированного алгоритма цифрового комбинированного управления (рисунок 3).



(a)



(b)

Рисунок 3. Тренды технологических параметров процесса пастеризации пива: (a) при одноконтурном регулировании температуры пива, ºС (красная линия); (b) при комбинированном регулировании температуры пива, ºС (красная линия) с компенсацией возмущений по давлению греющего пара в трубопроводе, кПа

Figure 3. Trends in technological parameters of the beer pasteurization process: (a) with single-loop beer temperature control, ºC (red line); (b) with combined beer temperature control, ºC (red line) with compensation of disturbances in the pressure of heating steam in the pipeline, kPa

Заключение

Для модернизации ЦСУ процессом пастеризации пива для ООО «Пивоваренная компания «Балтика» – «Воронежский пивзавод» проведён анализ процесса и оборудования как объекта управления, предложена структура системы управления, разработана документация для реализации системы, выбраны современные технические средства автоматизации, выполнен монтаж и настройка приборов. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение системы управления. В частности, в среде среда WinCC реализовано АРМ оператора пастеризационной установки для сенсорной панели IEI PPC-5190A, а также разработана управляющая программа регулирования параметров процесса при пастеризации пива для контроллера SIMATIC S7–400 (программирование контроллера выполнено в среде Step7). Для управления процессом пастеризации предложено реализовать схему комбинированного регулирования температуры пива (расходом пара) с компенсацией возмущения по давлению греющего пара в трубопроводе. Выполнен синтез комбинированной ЦСУ и проведены модельные эксперименты, которые показали, что применение данного алгоритма значительно снижает колебание температуры пива при пастеризации. Для синтеза алгоритма применялись авторские программы идентификации дискретных динамических моделей каналов объекта и оптимизации настроек цифровых ПИД-регуляторов и компенсаторов. Система управления процессом введена в эксплуатацию.

Литература

1 Белкина Р.И., Губанов В.М., Губанов М.В. Технология производства солода, пива и спирта. Лань, 2021. 104 с.

2 Жигалова Е. С., Копарулина А. Е. Обзор технологического оборудования для производства светлого пива //Молодежь и наука. Биотехнологии и пищевая промышленность. 2021. С. 55-60.

3 Лопаева Н. Л. Основы пивоваренного производства //Аграрное образование и наука. 2022. №. 2. С. 7.

4 Carvalho G. Leite A. C., Leal R., Pereira R. The role of emergent processing technologies in beer production //Beverages. 2023.V. 9. №. 1. P. 7.

5 Щербина И.И. Разработка системы автоматического управления процессом пастеризации пива // Молодой ученый. 2018. № 26 (212). С. 62–66.

6 Муравицкий А. Автоматизация полного цикла пивоварения / Автоматизация и производство. 2022. № 1 (52). С. 20–22.

7 Ogawa M., Henmi Y. Recent Developments on PC+PLC based Control Systems for Beer Brewery Process Automation Applications. International Joint Conference SICE-ICASE. Busan, Korea (South). 2006. P. 1053–1056.

8 Singh P., Pandey V.K., Singh R., Negi P. et al. Substantial Enhancement of Overall Efficiency and Effectiveness of the Pasteurization and Packaging Process Using Artificial Intelligence in the Food Industry // Food and Bioprocess Technology. 2025. V. 18. №. 2. P. 1125–1140. doi:10.1007/s11947-024-03527-5

9 Алексеев М.В., Кудряшов В.С., Устиненок И.А. Автоматизация участка пастеризации в производстве пива. Материалы LXII отчетной науч. конф. преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2023 год. В 3 ч. Ч. 2. Воронеж: ВГУИТ, 2024. С. 58.

10 WinCC flexible 2005 Компактная\ Стандартная\ Расширенная. Руководство пользователя. Siemens AG, 2005. 146 с.

11 Das R., Dutta S., Sarkar A., Samanta K. et al. Automation of tank level using Plc and establishment of Hmi by Scada. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) 7.2, 2013. P. 61–67.

12 Программирование с помощью STEP 7 V5.3: Руководство. Siemens AG, 2004. 602 с.

13 Zamzow A. TIA Portal V16: Grundkurs. Vogel Communications Group, 2022. 290 p.

14 Hollender M. Collaborative process automation systems. ISA, 2010. 408 p.

15 Kaltjob P.O. Mechatronic Systems and Process Automation: Model-Driven Approach and Practical Design Guidelines. CRC Press, 2018. 467 p.

16 Кудряшов В.С., Алексеев М.В., Иванов А.В. Синтез цифровых систем управления технологическими объектами. Воронежский государственный университет инженерных технологий. Воронеж: ВГУИТ, 2024. 455 с.

17 Milani E. A., Silva F. V. M. Pasteurization of beer by non-thermal technologies //Frontiers in Food Science and Technology. 2022. V. 1. P. 798676.

18 Байгузин Т. Р., Девяткина Ю. С., Остапенко А. Е. Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом пастеризации пива // Научный редактор. 2024. С. 14.

19 Filios G., Kyriakopoulos A., Livanios S., Manolopoulos F et al. Data-driven soft sensing towards quality monitoring of industrial pasteurization processes // 2022 18th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS). IEEE, 2022. P. 167-174.

20 Jha A., Moses J. A., Anandharamakrishnan C. Optimizing beverage pasteurization using computational fluid dynamics //Preservatives and Preservation Approaches in Beverages. 2019. P. 237-271.

References

1 Belkina R.I., Gubanov V.M., Gubanov M.V. Technology of malt, beer and alcohol production. Lan, 2021. 104 p. (in Russian).

2 Zhigalova E. S., Kaparulina A. E. Review of technological equipment for the production of light beer //Youth and science. Biotechnologies and the food industry. 2021. pp. 55-60. (in Russian).

3 Lopaeva N. L. Fundamentals of brewing production //Agricultural education and science. 2022. no. 2. pp. 7. (in Russian).

4 Carvalho G. Leite A. C., Leal R., Pereira R. The role of emergent processing technologies in beer production // Beverages. 2023.vol. 9. no. 1. pp. 7.

5 Shcherbina I.I. Development of an automatic control system for the beer pasteurization process // Young scientist. 2018. no. 26 (212). pp. 62–66. (in Russian).

6 Muravitsky A. Automation of the full cycle of brewing / Automation and production. 2022. no. 1 (52). pp. 20–22. (in Russian).

7 Ogawa M., Henmi Y. Recent Developments on PC+PLC based Control Systems for Beer Brewery Process Automation Applications. International Joint Conference SICE-ICASE. Busan, Korea (South). 2006. pp. 1053–1056.

8 Singh P., Pandey V.K., Singh R., Negi P. et al. Substantial Enhancement of Overall Efficiency and Effectiveness of the Pasteurization and Packaging Process Using Artificial Intelligence in the Food Industry // Food and Bioprocess Technology. 2025. vol. 18. no. 2. pp. 1125–1140. doi:10.1007/s11947-024-03527-5

9 Alekseev M.V., Kudryashov V.S., Ustinenok I.A. Automation of the pasteurization section in beer production. Proceedings of the LXII reporting scientific. conf. of teachers and research staff of VSUET for 2023. In 3 parts. Part 2. Voronezh: VSUET, 2024. pp. 58. (in Russian).

10 WinCC flexible 2005 Compact\Standard\Extended. User guide. Siemens AG, 2005. 146 p. (in Russian).

11 Das R., Dutta S., Sarkar A., Samanta K. et al. Automation of tank level using Plc and establishment of Hmi by Scada. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) 7.2, 2013. pp. 61–67.

12 Programming with STEP 7 V5.3: Manual. Siemens AG, 2004. 602 p. (in Russian).

13 Zamzow A. TIA Portal V16: Grundkurs. Vogel Communications Group, 2022. 290 p.

14 Hollender M. Collaborative process automation systems. ISA, 2010. 408 p.

15 Kaltjob P.O. Mechatronic Systems and Process Automation: Model-Driven Approach and Practical Design Guidelines. CRC Press, 2018. 467 p.

16 Kudryashov V.S., Alekseev M.V., Ivanov A.V. Synthesis of digital control systems for technological objects // Voronezh: VSUET, 2024. 455 p. (in Russian).

17 Milani E. A., Silva F. V. M. Pasteurization of beer by non-thermal technologies // Frontiers in Food Science and Technology. 2022. vol. 1. pp. 798676.

18 Baiguzin T. R., Devyatkina Yu.S., Ostapenko A. E. Development of an automated control system for the technological process of beer pasteurization // Scientific editor. 2024. pp. 14. (in Russian).

19 Filios G., Kyriakopoulos A., Livanios S., Manolopoulos F et al. Data-driven soft sensing towards quality monitoring of industrial pasteurization processes // 2022 18th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS). IEEE, 2022. pp. 167-174.

20 Jha A., Moses J. A., Anandharamakrishnan C. Optimizing beverage pasteurization using computational fluid dynamics //Preservatives and Preservation Approaches in Beverages. Academic Press, 2019. pp. 237-271.

Сведения об авторах

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

Владимир С. Кудряшов д.т.н., профессор, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kudryashovvs@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6237-0881

Игорь А. Авцинов д.т.н., профессор, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, igor.awtzinov@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-2528-0905

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

Андрей В. Иванов к.т.н., доцент, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, andrious@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0002-6034-9672

Иван А. Козенко к.т.н., доцент, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kosenko211986@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1508-9875

Иван А. Устиненок магистрант, инженер, ООО «Пивоваренная компания «Балтика» – «Воронежский пивзавод», ул. 9 января, 109, г. Воронеж, 394027, Россия, ustinenok00@mail.ru

Information about authors

Mikhail V. Alekseev Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Automated Control Systems for Processes and Productions, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, mwa1976@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-7768-8550

Vladimir S. Kudryashov Dr. Sci. (Engin.), professor, Department of Automated Control Systems for Processes and Productions, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, kudryashovvs@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6237-0881

Igor A. Avtsinov Dr. Sci. (Engin.), professor, Department of Automated Control Systems for Processes and Productions, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, igor.awtzinov@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-2528-0905

Alexander N. Gavrilov Dr. Sci. (Engin.), professor, Department of Automated Control Systems for Processes and Productions, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, ganivrn@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0132-4563

Andrey V. Ivanov Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Automated Control Systems for Processes and Productions, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, andrious@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0002-6034-9672

Ivan A. Kozenko Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Automated Control Systems for Processes and Productions, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, kosenko211986@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1508-9875

Ivan A. Ustinenok graduate student, engineer, LLC «Baltika Brewing Company» - «Voronezh Brewery», 9 January str., 109, Voronezh, 394027, Russia, ustinenok00@mail.ru

Вклад авторов

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

Contribution

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 04/02/2025	**После редакции** 27/02/2025	**Принята в печать** 12/03/2025
Received 04/02/2025	**Accepted in revised** 27/02/2025	**Accepted** 12/03/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-22-28 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.7 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Особенности расчета и проектирования комбинированного аппарата для получения жирных кислот из соапстоков

Александр Н. Остриков [1] ostrikov27@yandex.ru 0000-0002-2335-0017
Максим В. Копылов [1] kopylov-maks@ya.ru 0000-0003-2678-2613
Наталия И. Цапкина [2] eco-agro12@mail.ru 0000-0000-0000-0000
Анастасия В. Терёхина [1] gorbatova.nastia@ya.ru 0000-0003-4433-9615
Виталий Н. Василенко [1] vvn_1977@mail.ru 0000-0002-1547-9814

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 ООО "Синтез-Ойл", Воронежская область, Репьёвский район, село Репьёвка, Торговый пер., д.11а, 396370, Россия

Аннотация. Представлена разработка методики автоматизированного расчета реактора для получения жирных кислот из соапстоков растительных масел. Универсальная конструкция реактора позволяет последовательно осуществлять ключевые технологические процессы: щелочное омыление гидратированного растительного масла, высаливание хлоридом натрия, гидролиз и разложение мыльной сердцевины серной кислотой, а также промывку полученных жирных кислот. Разработанная методика учитывает физико-механические свойства смесей, конструктивные параметры оборудования и кинематический режим процесса, что обеспечивает высокую точность расчетов и адаптацию реактора под конкретные производственные задачи. Для реализации расчетов использована среда разработки QT Creator 5.14.2, позволяющая создавать кроссплатформенные приложения под операционные системы Windows и Linux. Программное обеспечение включает алгоритмы технологического, теплового и конструктивного расчетов, а также выбор типа мешалки и конструкции аппарата. Внедрение системы автоматизированного проектирования позволяет минимизировать затраты на проектирование и оптимизировать параметры реактора. Раздельное протекание процессов в разных реакторах способствует улучшению экологической обстановки и снижению энергозатрат. Разработанная система позволяет моделировать рациональные конструкции основных рабочих органов реактора, определять оптимальные технологические и конструктивные параметры, а также минимизировать затраты на проектирование оборудования. Результаты работы могут быть применены в пищевой, химической и других отраслях промышленности для повышения эффективности процессов получения жирных кислот из соапстоков растительных масел.

Ключевые слова: расчет, проектирование, реактор, жирные кислоты, соапсток.

Features of calculation and design of a combined apparatus for obtaining fatty acids from soapstocks

Alexander N. Ostrikov [1] ostrikov27@yandex.ru 0000-0002-2335-0017
Maxim V. Kopylov [1] kopylov-maks@ya.ru 0000-0003-2678-2613
Natalia I. Tsapkina [2] eco-agro12@mail.ru 0000-0000-0000-0000
Anastasia V. Terekhina [1] gorbatova.nastia@ya.ru 0000-0003-4433-9615
Vitalii N. Vasilenko [1] vvn_1977@mail.ru 0000-0002-1547-9814

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
2 LLC"Sintez-Oil", 396370, Voronezh Region, Repyevka District, Repyovka Village, Torgovy Lane, 11a

Abstract. The development of a methodology for the automated design of a reactor for producing fatty acids from soapstocks of vegetable oils is presented. The universal reactor design allows for the sequential execution of key technological processes: alkaline saponification of hydrated vegetable oil, salting out with sodium chloride, hydrolysis and decomposition of the soap core with sulfuric acid, and washing of the resulting fatty acids. The developed methodology takes into account the physico-mechanical properties of the mixtures, the design parameters of the equipment, and the kinematic regime of the process, ensuring high accuracy in calculations and adaptation of the reactor to specific production tasks. For the implementation of calculations, the QT Creator 5.14.2 development environment was used, enabling the creation of cross-platform applications for Windows and Linux operating systems. The software includes algorithms for technological, thermal, and structural calculations, as well as the selection of the mixer type and apparatus design. The implementation of the automated design system minimizes design costs and optimizes reactor parameters. The separate execution of processes in different reactors contributes to improved environmental conditions and reduced energy consumption. The developed system allows for the modeling of rational designs of the main working components of the reactor, determination of optimal technological and structural parameters, and minimization of equipment design costs. The results of this work can be applied in the food, chemical, and other industries to enhance the efficiency of fatty acid production processes from vegetable oil soapstocks.

Keywords: calculation, design, reactor, fatty acids, soapstock.

Для цитирования
Остриков А.Н., Копылов М.В., Цапкина Н.И., Терёхина А.В., Василенко В.Н. Особенности расчета и проектирования комбинированного аппарата для получения жирных кислот из соапстоков // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 86. № 1. С. 22–28. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-22-28

For citation
Ostrikov A.N., Kopylov M.V., Tsapkina N.I., Terekhina A.V., Vasilenko V.N. Features of calculation and design of a combined apparatus for obtaining fatty acids from soapstocks. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 86. no. 1. pp. 22–28. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-22-28

© 2025, Остриков А.Н. и др. / Ostrikov A.N. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Производство жирных кислот из соапстоков растительных масел является важным процессом в пищевой, химической и других отраслях промышленности. Соапстоки, являющиеся побочным продуктом рафинации растительных масел, содержат значительное количество жирных кислот, которые могут быть извлечены и использованы в качестве ценного сырья для дальнейшей переработки. Однако традиционные методы получения жирных кислот из соапстоков зачастую характеризуются низкой эффективностью, высокими энергозатратами и негативным воздействием на окружающую среду. В связи с этим актуальной задачей является разработка новых технологий и оборудования, позволяющих оптимизировать процесс извлечения жирных кислот, повысить его экономическую эффективность и снизить экологическую нагрузку.

В данной статье представлена методика автоматизированного расчета реактора для получения жирных кислот из соапстоков, которая учитывает ключевые аспекты процесса, такие как физико-механические свойства смесей, конструктивные параметры оборудования и кинематический режим работы. Разработанная универсальная конструкция реактора позволяет последовательно осуществлять основные технологические этапы: щелочное омыление гидратированного растительного масла, высаливание хлоридом натрия, гидролиз и разложение мыльной сердцевины серной кислотой, а также промывку полученных жирных кислот.

Особое внимание уделено использованию современных программных средств для автоматизации расчетов. В качестве среды разработки выбран QT Creator 5.14.2, что позволяет создавать кроссплатформенные приложения для операционных систем Windows и Linux. Программное обеспечение включает алгоритмы технологического, теплового и конструктивного расчетов, а также выбор типа мешалки и конструкции аппарата. Это обеспечивает высокую точность проектирования и возможность адаптации реактора под конкретные производственные задачи.

Целью работы является разработка и внедрение автоматизированной системы проектирования реактора, которая позволит повысить эффективность процессов получения жирных кислот из соапстоков, снизить энергозатраты и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Результаты исследования могут быть использованы в различных отраслях промышленности для оптимизации технологических процессов и повышения конкурентоспособности продукции.

Материалы и методы

Разработана методика автоматизированного расчета реактора для получения жирных кислот из соапстоков, универсальная конструкция которого позволяет последовательно осуществлять:

1) щелочное омыление гидратированного растительного масла раствором гидроксида натрия при перемешивании острым паром для получения мыльного клея;

2) высаливание полученной массы хлоридом натрия с последующим отстаиванием для разделения на три слоя – нижний – мыльная щелочь, средний – клеевое мыло, верхний – мыльная сердцевина;

3) гидролиз и разложение мыльной сердцевины серной кислотой;

4) промывку полученных жирных кислот и удаления промывных вод.

Результаты

Методика расчета (рисунки 1–4) выступают источниками информации для входных и выходных данных, которые необходимы и получены в каждом из функциональных блоков (2 – «Технологический расчет», 3- «Тепловой расчет», 4 – «Выбор типа мешалки и конструкции реактора с перемешивающим устройством»).

Главное окно приложения включает: меню, вкладки ввода исходных данных для проведения расчетов, панель отображения результата в численной форме (рисунок 5).

В окне «Результат расчета реактора» появляются геометрические характеристики реактора с основными размерами (рисунок 6) и окно с внешними узлами реактора (рисунок 7).

В системе «SysAprojTechEq62.exe» имеется справочник (рисунок 8), содержащий данные по физико-химическим свойствам соапстоков различных растительных масел, физико-механические свойства материалов из которых рекомендуется изготавливать корпус реактора, физико-механические свойства адсорбентов (бентонитовых глин и угля), характеристики различных типов мешалок, основные характеристики электродвигателей, редукторов и частотных преобразователей, геометрические характеристики и конструкции люков для вертикальных аппаратов, а также геометрические характеристики опор вертикальных аппаратов. Кроме этого, в справочных данных приведены ГОСТы на соапстоки растительных масел.

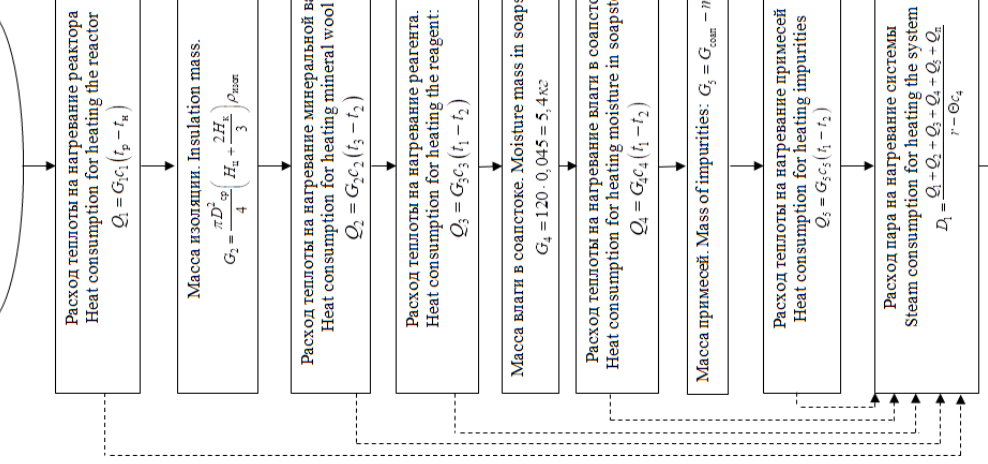


Рисунок 2. Алгоритм вычислительных операций теплового расчета
Figure 2. Algorithm of computational operations of thermal calculation

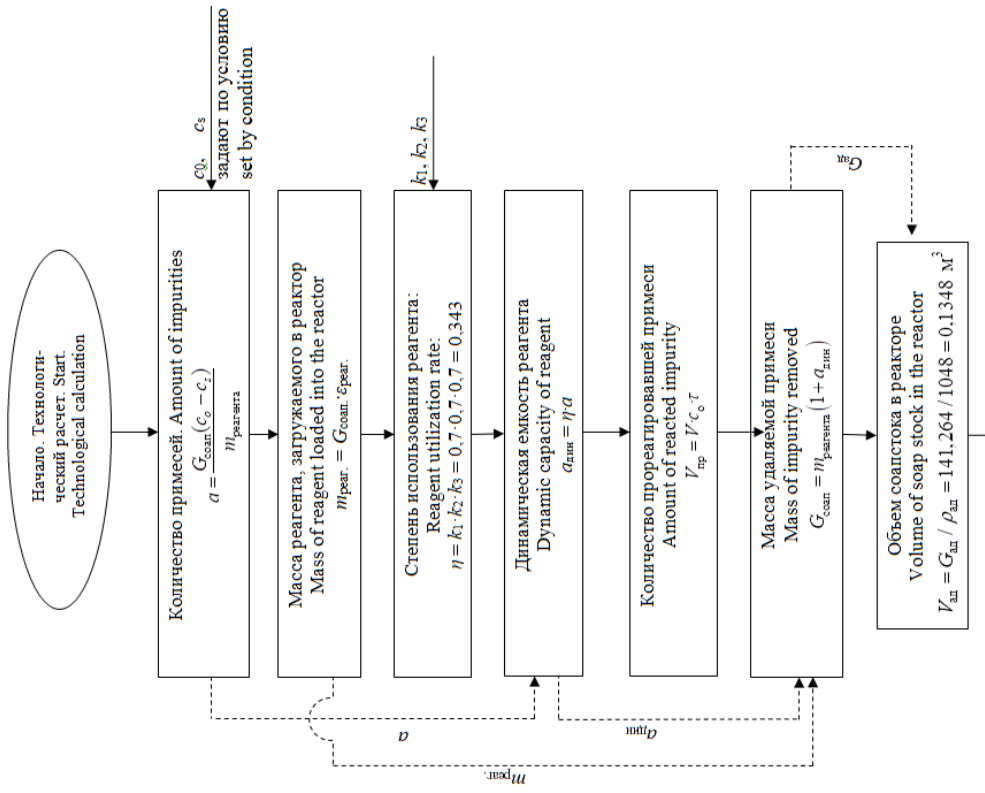


Рисунок 1. Алгоритм вычислительных операций технологического расчета
Figure 1. Algorithm of computational operations of technological calculation

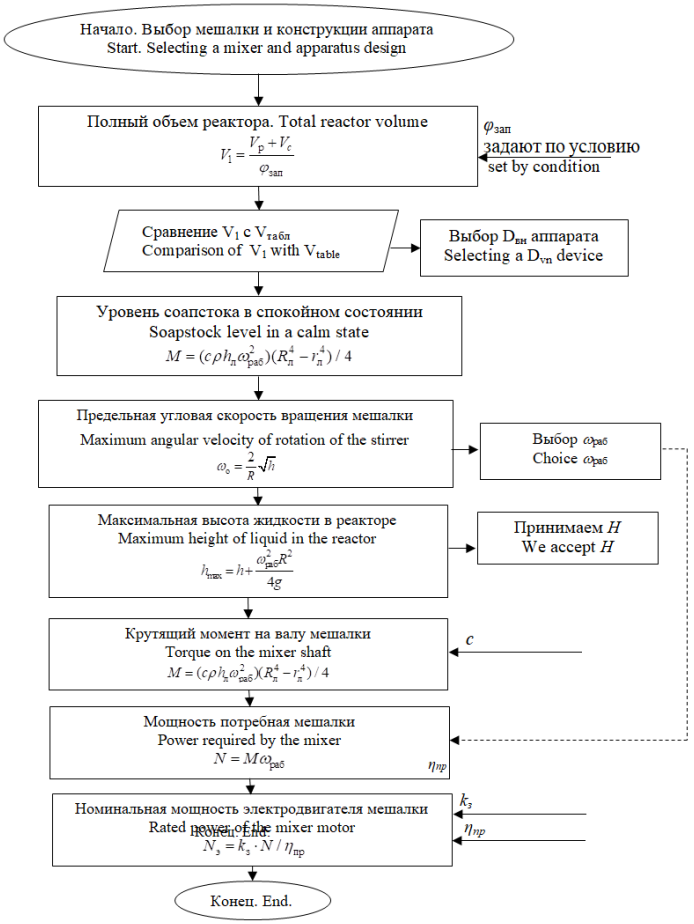


Рисунок 3. Алгоритм вычислительных операций выбора мешалки и конструкции реактора с перемешивающим устройством

Figure 3. Algorithm of computational operations for selecting a stirrer and design of the reactor with a mixing device

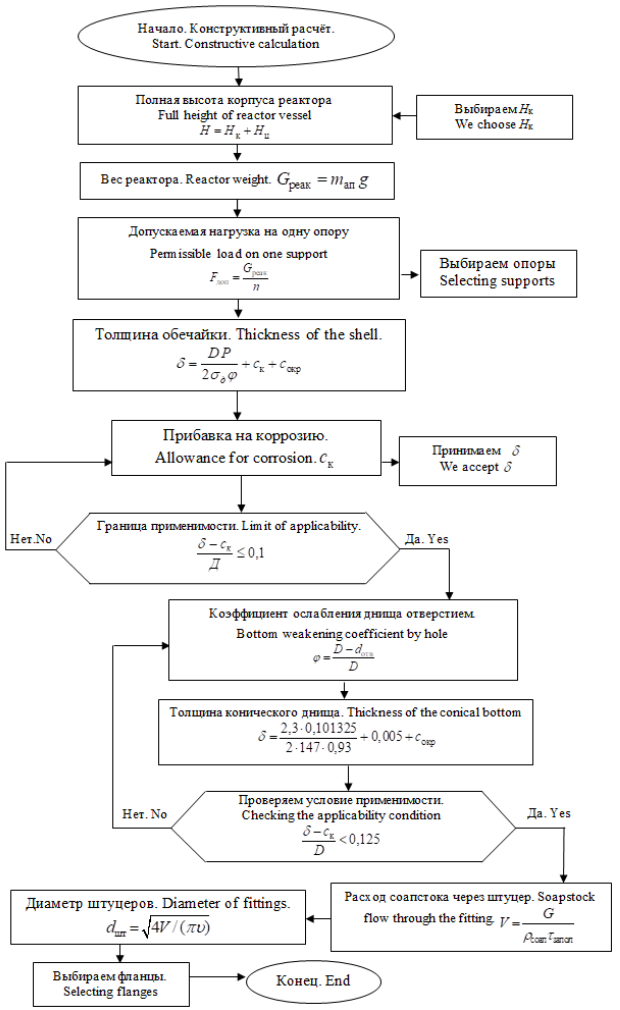


Рисунок 4. Алгоритм вычислительных операций конструктивного расчета реактора

Figure 4. Algorithm of computational operations for the design calculation of the reactor

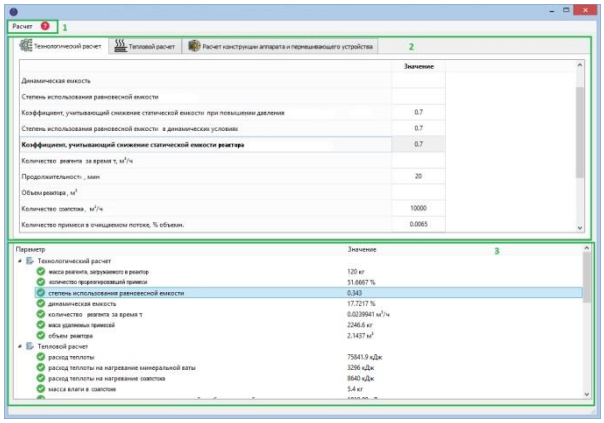


Рисунок 5. Интерфейс информационной системы расчета реактора: 1 – главное меню; 2 – вкладки ввода исходных данных; 3 – панель отображения результатов в иерархической форме

Figure 5. Interface of the reactor calculation information system: 1 – main menu; 2 – input tabs for initial data; 3 – display panel for results in hierarchical form

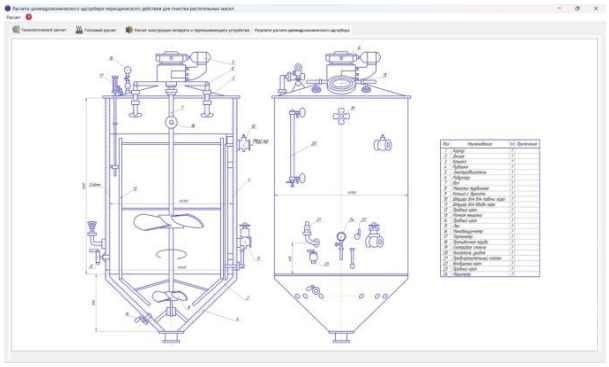


Рисунок 6. Окно с рассчитанными геометрическими размерами реактора

Figure 6. Window with calculated geometric dimensions of the reactor

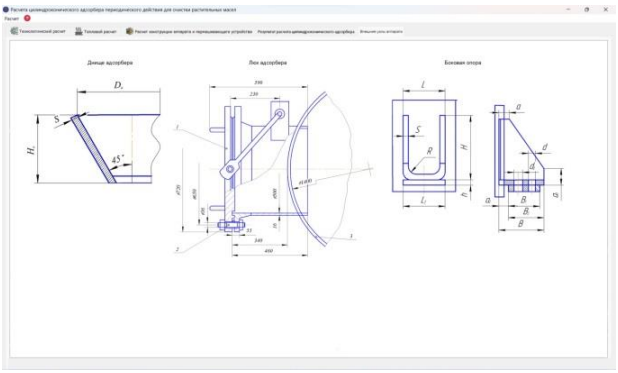


Рисунок 7. Окно «Внешние узлы реактора»

Figure 7. The «External reactor nodes» window

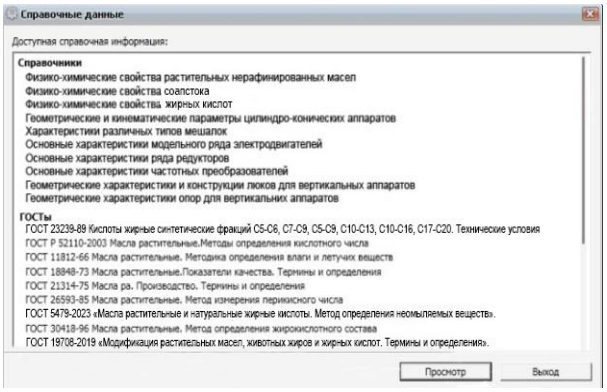


Рисунок 8. Окно справочных данных

Figure 8. Reference data window

Заключение

Таким образом, предлагаемая система автоматизированного проектирования реактора для получения жирных кислот из соапстоков растительных масел позволяет моделировать рациональные конструкции основных рабочих органов реактора, определять его рациональные технологические и конструктивные параметры.

Предложены алгоритмы технологического, теплового, конструкторского расчетов цилиндроконических реакторов для получения жирных кислот из соапстоков с перемешивающим устройством и кинематических параметров мешалки, которые позволили осуществить выбор рациональных технологических и конструктивных параметров основных рабочих органов цилиндроконических реакторов. Это позволит минимизировать затраты на их проектирование.

Литература

1 Калматаева Г.Н. и др. Получение жирных кислот из соапстока и использование их в рецептуре регенерата // Труды СПбГМТУ. 2022. Т. 3. № 3. С. 048–060.

2 Зиатдинова Д.Ф. и др. Совершенствование технологии извлечения жирных кислот из соапстока // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2009. Т. 52. № 5. С. 109–111.

3 Василенко В.Н., Копылов М.В., Накрайникова А.В. Создание САПР "Маслопресс" // Вестник машиностроения. 2012. № 2. С. 35–36.

4 Нагорнов С.А., Дворецкий Д.С. и др. Техника и технология производства и переработки растительных масел: учебное пособие. Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. 96 с.

5 Тимофеев Э.М., Качалова Т.Н. Способы выделения жирных кислот из соапстоков // В кн.: Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: сб. науч. ст. по итогам V Междунар. науч. конф. 2019. С. 152–154.

6 Серова Ю.Е., Протопопов А.В. Получение натриевых и калиевых мыл из подсолнечного масла и его соапстока // Новые полимерные композиционные материалы. 2020. С. 409–413.

7 Сафин Р.Г., Хабибуллин И.Р., Голубев Л.Г., Чистяков В.Л., Шепель С.Н., Зиятдинова Ф.С. Установка для извлечения жирных кислот из соапстока: пат. № 1726502, RU, B01F 5/04, C11B 13/02. Заявл. 07.05.1990; Опубл. 15.04.1992.

8 Кулик М.И. Изучение кинетики термического и термоокислительного процессов соапстока // Науковий вісник будівництва. 2015. № 2. С. 261–265.

9 Dumont M.J., Narine S.S. Soapstock and deodorizer distillates from North American vegetable oils: Review on their characterization, extraction and utilization // Food Research International. 2007. Т. 40. № 8. С. 957–974.

10 Casali B. et al. Enzymatic methods for the manipulation and valorization of soapstock from vegetable oil refining processes // Sustainable Chemistry. 2021. Т. 2. № 1. С. 74–91.

11 Sabliy L. et al. Problems of soapstock treatment of vegetable oil productions and their solutions // Biotechnologia acta. 2021. Т. 14. № 4. С. 80–87.

12 IbadullaevB.M., Rakhimov J.G., Shamuratov S.K. Research on obtaining fatty acid by recycling soapstock from the oil industry// Innovation: The journal of Social Sciences and Researches. 2023. № 1(5). С. 68–72.

13 Shamuratov S.K., Baltaev U.S, Sagdullaeva D.S., Kuramboev B.F. Physical and chemical properties of the process of saponification of cotton soapstock under ultrasonic influence // Research and Education. 2023. № 2(7). С. 10–20.

14 Sytnik N. et al. Rational conditions of fatty acids obtaining by soapstock treatment with sulfuric acid // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 4. No. 6(112). P. 6–13. doi: 10.15587/1729-4061.2021.236984

15 Sytnik N. et al. Technology development of fatty acids obtaining from soapstock using saponification // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 5. No. 6(113). P. 16–23. doi: 10.15587/1729-4061.2021.241942

16 Cruz M., Almeida M.F., Dias J.M., Alvim-Ferraz M.C. Adding value to soapstocks from the vegetable oil refining: Alternative processes // Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities III. CRC Press, 2019. P. 6.

17 Muanruksa P., Wongsirichot Ph., Winterburn Ja., Kaewkannetra P. Valorization of palm oil soap stock waste toward for biodiesel production: Process optimization under zero waste concept // Biomass and Bioenergy. 2021. Vol. 154. P. 106231. doi: 10.1016/j.biombioe.2021.106231.

18 Шпербер Д., Брюшков Р., Губа Е., Бабаков А. Использование отходов производства жирных кислот, полученных кислотным гидролизом соапстока // Экология и промышленность России. 2025. Т. 29. № 4. С. 28–33. doi: 10.18412/1816-0395-2025-4-28-33.

19 Идиятуллин И.И., Качалова Т.Н., Гончарова И.Н. Энерго- и ресурсосберегающие технологии в процессах подготовки и переработки жиров растительного происхождения // Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов: сб. матер. XVI Междунар. науч.-практ. конф. Москва, 24 нояб. 2022 г. СПб.: Печатный цех, 2022. С. 141–147. doi: 10.34755/IROK.2022.99.67.019.

20 Качалова Т.Н., Гончарова И.Н. Технологические аспекты процесса извлечения свободных жирных кислот из жиров растительного происхождения // Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов: сб. матер. XX Междунар. науч.-практ. конф. Москва, 21 апр. 2023 г. М.: Печатный цех, 2023. С. 166–173. doi: 10.34755/IROK.2023.73.19.155. EDN PKIEBK.

References

1 Kalmataeva G.N. et al. Obtaining fatty acids from soapstock and their use in the formulation of regenerate. Proceedings of SPbGMTU. 2022. vol. 3. no. 3. pp. 048–060. (in Russian).

2 Ziatdinova D.F. et al. Improving the technology of extracting fatty acids from soapstock. News of higher educational institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology. 2009. vol. 52. no. 5. pp. 109–111. (in Russian).

3 Vasilenko V.N., Kopylov M.V., Nakraynikova A.V. Creation of the CAD 'Maslopress'. Bulletin of Mechanical Engineering. 2012. no. 2. pp. 35–36. (in Russian).

4 Nagornov S.A., Dvoretsky D.S. et al. Technique and technology of production and processing of vegetable oils: a tutorial. Tambov: TSTU Publishing House, 2010. 96 p. (in Russian).

5 Timofeev E.M., Kachalova T.N. Methods for extracting fatty acids from soapstocks. In: Advanced Innovative Developments. Prospects and Experience of Use, Problems of Implementation in Production: Proc. of the 5th Int. Sci. Conf. 2019. pp. 152–154. (in Russian).

6 Serova Yu.E., Protopopov A.V. Obtaining sodium and potassium soaps from sunflower oil and its soapstock. New Polymer Composite Materials. 2020. pp. 409–413. (in Russian).

7 Safin R.G., Khabibullin I.R., Golubev L.G., Chistyakov V.L., Shepel S.N., Ziyatdinova F.S. Installation for extracting fatty acids from soapstock. Patent RU, no. 1726502. Appl. 07.05.1990; Publ. 15.04.1992.

8 Kulik M.I. Study of the kinetics of thermal and thermo-oxidative processes of soapstock. Scientific Bulletin of Construction. 2015. no. 2. pp. 261–265. (in Russian).

9 Dumont M.J., Narine S.S. Soapstock and deodorizer distillates from North American vegetable oils: Review on their characterization, extraction and utilization. Food Research International. 2007. vol. 40. no. 8. pp. 957–974 doi: 10.1016/j.foodres.2007.06.006

10 Casali B. et al. Enzymatic methods for the manipulation and valorization of soapstock from vegetable oil refining processes. Sustainable Chemistry. 2021. vol. 2. no. 1. pp. 74–91 doi: 10.3390/suschem2010006

11 Sabliy L. et al. Problems of soapstock treatment of vegetable oil productions and their solutions. Biotechnologia Acta. 2021. vol. 14. no. 4. pp. 80–87. doi: 10.15407/biotech14.04.080

12 Ibadullaev B.M., Rakhimov J.G., Shamuratov S.K. Research on obtaining fatty acid by recycling soapstock from the oil industry. Innovation: The Journal of Social Sciences and Researches. 2023. no. 1(5). pp. 68–72.

13 Shamuratov S.K., Baltaev U.S., Sagdullaeva D.S., Kuramboev B.F. Physical and chemical properties of the process of saponification of cotton soapstock under ultrasonic influence. Research and Education. 2023. no. 2(7). pp. 10–20.

14 Sytnik N. et al. Rational conditions of fatty acids obtaining by soapstock treatment with sulfuric acid. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. vol. 4. no. 6(112). pp. 6–13. doi: 10.15587/1729-4061.2021.236984

15 Sytnik N. et al. Technology development of fatty acids obtaining from soapstock using saponification. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. vol. 5. no. 6(113). pp. 16–23. doi: 10.15587/1729-4061.2021.241942

16 Cruz M., Almeida M.F., Dias J.M., Alvim-Ferraz M.C. Adding value to soapstocks from the vegetable oil refining: Alternative processes. In: Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities III. CRC Press, 2019. 6 p.

17 Muanruksa P., Wongsirichot Ph., Winterburn Ja., Kaewkannetra P. Valorization of palm oil soap stock waste toward for biodiesel production: Process optimization under zero waste concept. Biomass and Bioenergy. 2021. vol. 154. p. 106231. doi: 10.1016/j.biombioe.2021.106231

18 Shperber D., Bryushkov R., Guba E., Babakov A. Utilization of waste fatty acids produced by acid hydrolysis of soapstock. Ecology and Industry of Russia. 2025. vol. 29. no. 4. pp. 28–33. doi: 10.18412/1816-0395-2025-4-28-33

19 Idiyatullin I.I., Kachalova T.N., Goncharova I.N. Energy- and resource-saving technologies in the processes of preparation and processing of vegetable fats. In: Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference. Moscow, November 24, 2022. St. Petersburg: Pechatny Tsekh, 2022. pp. 141–147. doi: 10.34755/IROK.2022.99.67.019 (in Russian).

20 Kachalova T.N., Goncharova I.N. Technological aspects of the process of extracting free fatty acids from vegetable fats. In: Proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference. Moscow, April 21, 2023. Moscow: Pechatny Tsekh, 2023. pp. 166–173. doi: 10.34755/IROK.2023.73.19.155 (in Russian).

Сведения об авторах

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

Максим В. Копылов к.т.н., доцент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kopylov-maks@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-2678-2613

Наталия И. Цапкина заместитель генерального директора по технологии и производству, ООО «Синтез-ойл», Торговый пер., д.11а, Воронежская область, Репьёвский район, село Репьёвка, 396370, Россия, eco-agro12@mail.ru
https://orcid.org/0000-0000-0000-0000

Анастасия В. Терёхина к.т.н., доцент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, gorbatova.nastia@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-4433-9615

Виталий Н. Василенко д.т.н., профессор, зав. кафедрой, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, vvn_1977@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1547-9814

Information about authors

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

Maxim V. Kopylov Cand. Sci. (Engin.), docent, technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kopylov-maks@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-2678-2613

Natalia I. Tsapkina engineer, deputy general director for technology and production, LLC «Sintez-Oil», Voronezh Region, Repyevka District, Repyovka Village, Torgovy Lane, 11a, eco-agro12@mail.ru
https://orcid.org/0000-0000-0000-0000

Anastasia V. Terekhina Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gorbatova.nastia@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-4433-9615

Vitalii N. Vasilenko Doc. Sci. (Engin.), professor, head of the department, machines and apparatuses of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vvn_1977@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1547-9814

Вклад авторов

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

Contribution

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 10/01/2025	**После редакции** 18/01/2025	**Принята в печать** 10/02/2025
Received 10/01/2025	**Accepted in revised** 18/01/2025	**Accepted** 10/02/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-29-37 Оригинальная статья/Research article
УДК 663.52 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Разработка аппаратурно-технологической линии производства виски по ускоренной технологии

Дмитрий А. Казарцев [1] kda_79@mail.ru 0000-0001-6597-2327
Андрей И. Ключников [1] kaivanov@mail.ru 0000-0002-8161-0040
Олег Ю. Востриков [1] ctg@bk.ru
Кристина В. Назина [1] cvetkovav234@gmail.com
Ярина А. Деменкова [1] demenkovastudy@gmail.com

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

Аннотация. Выдержка виски – это ключевой этап, завершающий процесс его изготовления. Он включает в себя преобразование ячменного спирта в насыщенный ароматом и вкусом напиток. В процессе выдержки виски не только темнеет, но и приобретает богатый букет ароматов, а также уникальные вкусовые качества, которые делают его особенным. Традиционная технология производства виски требует длительной выдержки в дубовых бочках, что обуславливает значительные материальные затраты и увеличивает продолжительность всего процесса. Это, в свою очередь, оказывает влияние на себестоимость конечного продукта. В связи с тем, что рынок требует оптимизации производственных процессов, появилась необходимость в разработке интенсивных технологий, позволяющих сократить срок выдержки дистиллятов. Исследования методов, ускоряющих экстракцию компонентов из древесины, становятся все более актуальными. Изучение методов, таких как использование мелко нарезанной древесины, ультразвуковая обработка, оптимизация температурных условий и вакуумные технологии, дает возможность создать новые подходы к выдержке. Эти технологии могут значительно уменьшить время, необходимое для достижения желаемых вкусовых характеристик, и при этом сохранить высокое качество готового продукта. Интенсивные технологии не только помогают сократить время производства, но и позволяют производителям адаптироваться к современным требованиям рынков, где сроки доставки и стоимость продукции играют ключевую роль. Несмотря на необходимость интенсивного подхода, важно отметить, что натуральные процессы также имеют свою ценность, и их следует бережно сочетать с инновациями. Таким образом, будущее производства виски, вероятно, будет сосредоточено на интеграции традиционных методов и современных технологий, что позволит создавать уникальные и качественные напитки. Поэтому, существует потребность в разработке интенсивных технологий, направленных на сокращение сроков выдержки дистиллятов в контакте с древесиной дуба. Сегодня ведутся активные исследования различных методов, ускоряющих процесс экстрагирования веществ из древесины. В настоящей работе предложена аппаратурная схема производства виски по ускоренной технологии, включающая ведущее оборудование в виде ультразвукового экстрактора и мембранного аппарата с сопловым турбулизатором, которое позволяет существенно интенсифицировать процесс выдержки дистиллятов при абсолютной их прозрачности.

Ключевые слова: зерновой дистиллят, водно-спиртовая смесь, созревание, ультразвук, оптическая плотность, экстрагирование.

Development of an equipment and technological whiskey production line using accelerated technology

Dmitriy A. Kazartsev [1] kda_79@mail.ru 0000-0001-6597-2327
Andrey I. Klyuchnikov [1] kaivanov@mail.ru 0000-0002-8161-0040
Oleg Yu. Vostrikov [1] ctg@bk.ru
Kristina V. Nazina [1] cvetkovav234@gmail.com
Yarina A. Demenkova [1] demenkovastudy@gmail.com

1 K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy val st., 73, Moscow, 109004, Russia

Abstract. Whiskey aging is a key stage that completes the production process. It involves the conversion of barley alcohol into an aromatic and flavorful drink. During the aging process, whiskey not only darkens, but also acquires a rich bouquet of aromas, as well as unique taste qualities that make it special. The traditional whiskey production technology requires long-term aging in oak barrels, which causes significant material costs and increases the duration of the entire process. This, in turn, has an impact on the cost of the final product. Due to the fact that the market requires optimization of production processes, it has become necessary to develop intensive technologies to shorten the aging period of distillates. Research on methods that accelerate the extraction of components from wood is becoming increasingly relevant. The study of methods such as the use of finely chopped wood, ultrasonic treatment, optimization of temperature conditions and vacuum technologies makes it possible to create new approaches to aging. These technologies can significantly reduce the time required to achieve the desired taste characteristics, while maintaining the high quality of the finished product. Intensive technologies not only help to reduce production time, but also allow manufacturers to adapt to the modern requirements of markets where delivery time and cost of products play a key role. Despite the need for an intensive approach, it is important to note that natural processes also have their own value, and they should be carefully combined with innovation. Thus, the future of whiskey production is likely to focus on the integration of traditional methods and modern technologies, which will create unique and high-quality drinks. Therefore, there is a need to develop intensive technologies aimed at reducing the aging time of distillates in contact with oak wood. Today, active research is underway on various methods that accelerate the extraction of substances from wood. In this paper, we propose an instrumentation scheme for the production of whiskey using accelerated technology, including leading equipment in the form of an ultrasonic extractor and a membrane apparatus with a nozzle turbulator, which allows us to significantly intensify the process of distillate aging with absolute transparency.

Keywords: grain distillate, water-alcohol mixture, maturation, ultrasound, optical density, extraction.

Для цитирования
Казарцев Д.А., Ключников А.И., Востриков О.Ю., Назина К.В., Деменкова А.Я. Разработка аппаратурно-технологической линии производства виски по ускоренной технологии // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 86. № 1. С. 29–37. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-29-37

For citation
Kazartsev D.A., Klyuchnikov A.I., Vostrikov O.Y., Nazina K.V., Demenkova A.Ya. Development of an equipment and technological whiskey production line using accelerated technology. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 86. no. 1. pp. 29–37. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-29-37

© 2025, Казарцев Д. А. и др. / Kazartsev D.A et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

В сложившихся современных экономических условиях промышленное производство выдержанных крепких алкогольных напитков особенно остро нуждается в проведении масштабной модернизации как со стороны используемых технологий, так и со стороны технологического оборудования. Следует отметить, что направление повышения эффективности таких процессов как выдержка и созревание дистиллятов за счет их интенсификации при сохранении неизменных качественных показателей является особенно актуальным и востребованным [**Ошибка! Источник ссылки не найден.–Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Традиционно технология производства выдержанных алкогольных напитков предусматривает их созревание в дубовых бочках в течение длительного времени, в течение которого напиток приобретает характерный вкус и цвет, что является неотъемлемой частью, определяющей конечное качество. Разумеется, итоговая стоимость продукции становится чрезмерно высокой по причине длительного технологического цикла. Вполне очевидно, что большинство производителей крепкого алкоголя заинтересованы в новых подходах к обработке спиртовых дистиллятов, позволяющих существенно сократить сроки выдержки, а в некоторых случаях и полностью их исключить и, тем самым, понизить себестоимость производства [**Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

В последнее время значительно увеличилось количество научных публикаций, посвященных выбору и обоснованию способов интенсификации процессов выдержки спиртовых дистиллятов при производстве крепких алкогольных напитков [**Ошибка! Источник ссылки не найден.–Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. К таким способам, прежде всего, следует отнести обработку дистиллятов теплом и/или холодом, озоном, акустическими волнами, в т. ч. ультразвуковыми, использование экстрактов древесины различных пород и т. д.

Вышеперечисленные способы, по мнению авторов [13, 14], действительно, позволяют существенно ускорить процессы созревания дистиллятов, однако, ввиду их специфики, требуют всестороннего изучения с целью разработки регламента, гарантирующего получение стабильного качества при воспроизводимости таких процессов в производственных условиях.

Например, авторы в работах [15] показывают, что при использовании неконтролируемого ультразвукового воздействия на спирты, выдерживаемых в присутствии дубовой щепы, приводит к увеличению содержания метанола, сивушных масел с одной стороны и нежелательных компонентов древесины с другой стороны, что вообще не приемлемо при производстве высококачественной алкогольной продукции.

Большинство исследователей отмечают положительную динамику при интенсификации процессов экстракции с помощью ультразвукового воздействия различной интенсивности. Это обеспечивается за счет сопутствующих процессов кавитации и активной турбулизации экстрагента в порах дубовой щепы, приводящих к многократной смене контактирующих фаз.

Значительное увеличение скорости экстракции в поле ультразвука на несколько порядков сопровождается достижением высоких концентраций извлекаемых компонентов растительного сырья: танинов, флавоноидов, феногликозидов и т. д. Более того, ультразвуковые технологии также эффективно применяются для экстракции разнообразных биологически активных веществ животного происхождения, например, ферментов, гормонов и витаминных соединений. Также следует обратить внимание, что ультразвуковое волны различной интенсивности направлены на активизацию окислительных процессов в водно-спиртовых смесях, благодаря которым и происходит ускорение старения и формирование вкусового профиля напитка.

Однако, в литературе зачастую отсутствует информация о выборе и обосновании параметров ультразвукового воздействия на спиртовые дистилляты. Это, прежде всего, частота и амплитуда ультразвукового воздействия, продолжительность и периодичность наложения ультразвукового поля, а также отсутствуют результаты при непрерывном ультразвуковом воздействии на протяжении всего процесса выдержки.

Цель работы – создание аппаратурно-технологической линии производства виски по ускоренной технологии, предусматривающей использование ультразвука в процессе выдержки спиртовых дистиллятов.

Материалы и методы

Определение качественных показателей спиртовых дистиллятов осуществляли по следующим методикам.

Содержание объемной доли спирта – по ГОСТ 32095–2013, оптическую плотность – по ГОСТ 32080–2013, определение основных маркеров выдержки – хроматографическим методом.

Результаты и обсуждение

Технологическая линия производства виски из солода по ускоренной технологии с использованием ультразвукового воздействия содержит

силос для хранения солода 1 (рисунок 1), вальцовую мельницу 2, транспортер для измельченного солода 3, норию 4, транспортер 5, автоматические весы 6, распределительный транспортер 7, заторно-фильтрационный чан 8, охладительную установку 9, бродильный аппарат 10, бражную колонну 11, подогреватель бражки 12, конденсатор 13, дефлегматор 14, ротаметр 15, емкость для спирта-сырца 16, перегонный куб 17, конденсатор 18, промежуточную емкость для виски 19, угольную колонну 20, ультразвуковой экстрактор 21, мембранный аппарат с сопловым турбулизатором 22, купажная емкость 23, фасовочный автомат 24.

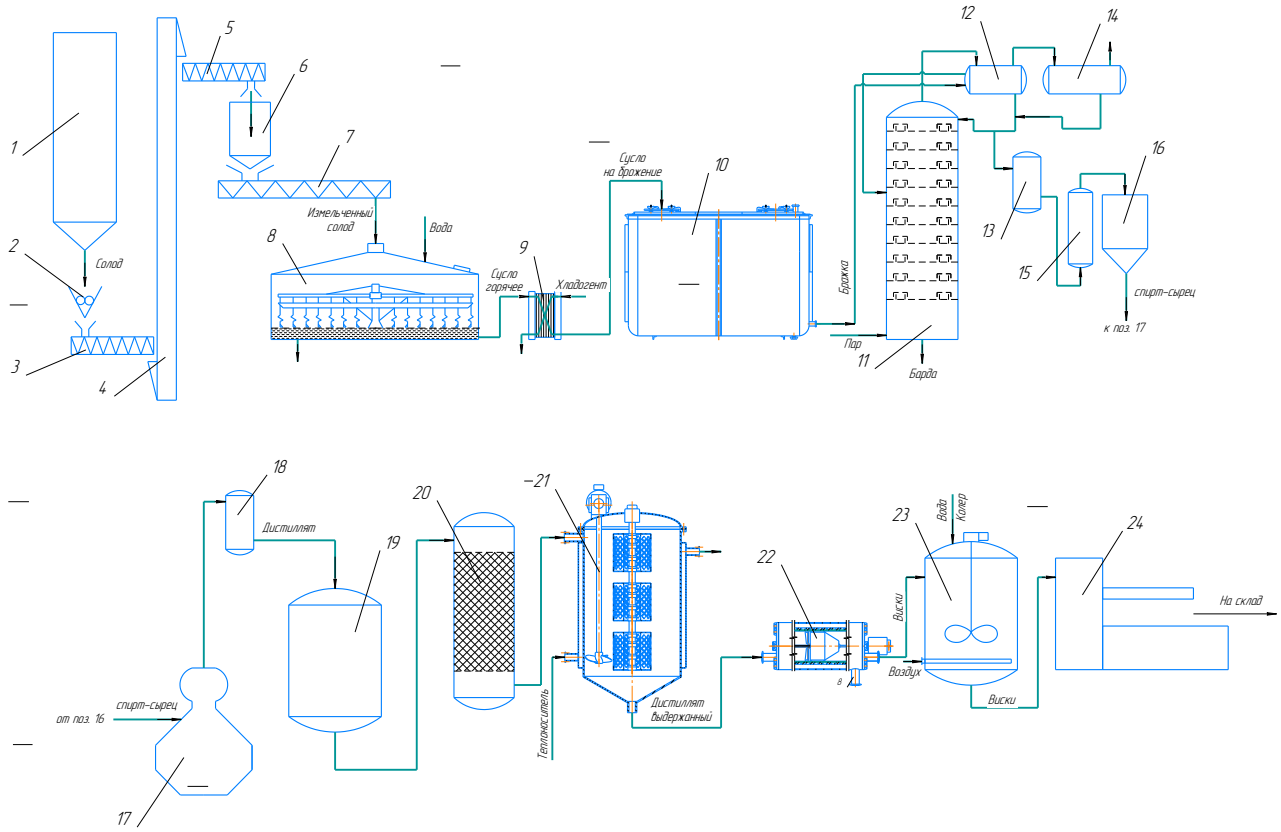


Рисунок 1. Аппаратурно-технологическая линия производства виски по ускоренной технологии

Figure 1. Apparatus and process line for whisky production by accelerated technology

Аппаратурно-технологическая линия производства виски по ускоренной технологии работает следующим образом.

Поступающий на переработку солод загружают в силос *1* для хранения солода. Затем солод поступает на вальцовую мельницу *2*, где происходит процесс раздавливания зерна между двумя или несколькими вальцами, что помогает разрушить оболочку зерна и высвободить крахмал. После этого измельченный солод подается транспортером *3* в нижнюю часть нории *4*, откуда поднимается на определенную высоту вверх к транспортеру *5* и далее поступает на автоматические весы *6* с целью измерения точной массы измельченного солода перед дальнейшей переработкой. После взвешивания измельченный солод распределительным транспортером *7*, подается в заторно-фильтрационный чан *8*, предназначенный для экстрагирования растворимых веществ солода и превращения под действием ферментов нерастворимых веществ в растворимые, с последующим переводом их в раствор и дальнейшим фильтрованием сусла через ситообразное дно заторно-фильтрационного чана *8*. После фильтрации оставшуюся дробину, направляют для использования в качестве приготовления комбикормов. Полученное сусло охлаждается в охладительной установке *9* до определенной температуры, затем перекачивается в бродильный аппарат *10*, куда добавляют дрожжи. Начинается процесс брожения, в котором клетки дрожжей расщепляют глюкозу, содержащуюся в сусле на этанол и диоксид углерода.

Бражное сусло поступает в бражную колонну *11*, где начинается процесс первой дистилляции. Бражная колонна *11* представляет собой высокую вертикальную конструкцию, оборудованную подогревателем бражки *12*. В бражной колонне происходит кипение бражки, образуются пары, обогащенные спиртом и другими фракциями спирта. Одна часть паров идет

в конденсатор *13*, а другая часть возвращается в виде флегмы в дефлегматор *14*. Пары охлаждаются, конденсируются, и образовавшаяся флегма стекает обратно в колонну. Расход паров регулируется с помощью ротаметра *15*, который направляет пары на последующее охлаждение в емкость для спирта-сырца *16*, обеспечивая получение более чистого спирта.

Для дальнейшей очистки и улучшения качества дистилляции спирт-сырец направляется на вторую дистилляцию в перегонный куб *17*. В кубе происходит нагревание спирта-сырца до температуры чуть ниже точки кипения воды. Спирт и другие фракции проходят через горловину перегонного куба в конденсатор *18*, где пар охлаждается, конденсируясь в жидкость, и собирается в промежуточной емкости *19*. Для финальной очистки дистиллят проходит процесс фильтрации через угольную колонну *20*. Угольная колонна устраняет остаточные примеси и нежелательные запахи, делая дистиллят более чистым, придавая характерный мягкий вкус и специфический аромат дыма. После угольной колонны дистиллят направляется в ультразвуковой аппарат.

В цилиндрические корзины ультразвукового аппарата *21*, сверху и снизу закрытые перфорированными кольцами, загружают дубовые палочки перед подачей дистиллята через патрубок, расположенный в верхней части аппарата. Далее ультразвуковой волновод возбуждается ультразвуковым преобразователем, образуя по всей высоте аппарата вдоль концентраторов в области расположения корзин для загрузки сырья, зоны кавитации. Ультразвуковые колебания проникают сквозь перфорированные корзины для загрузки сырья, создавая максимальную интенсификацию процесса массообмена между висковым дистиллятом и дубовыми палочками или щепой. При этом цилиндрические перфорированные корзины позволяют беспрепятственно образовывать в них зоны кавитации, снижая, при этом, интенсивное воздействие ультразвуковых волн на дубовые палочки, приводящее к деструкции древесины и предотвращая, при этом, попадание частиц дубовых палочек или щепы в основную область аппарата, тем самым, повышая качество настоянного дистиллята. Постоянную температуру процесса поддерживают с помощью рубашки для термостатирования, в которую посредством патрубков подается и выводится теплоноситель с требуемой температурой. В совокупности эти факторы способствуют равномерному воздействию ультразвукового аппарата, что улучшает качество экстракции и конечного продукта.

После воздействия ультразвукового аппарата, полученный виски пропускают через мембранный аппарат с сопловым турбулизатором *22*, с целью тонкой фильтрации непосредственно перед купажированием.

В купажную емкость *23* вносят некоторое соотношение различных спиртов, определяемое дегустатором, которые последовательно, тщательно перемешивается механическими устройствами или сжатым воздухом. Далее в купажную емкость *23* добавляется исправленная вода для доведения крепости до требуемой рецептурой, и порционно добавляют колер для подкрашивания. После купажирования напиток подвергается обязательному послекупажному отдыху. После завершения послекупажного отдыха виски отправляют в фасовочный автомат *24*.

Рассмотрим технические особенности конструкций ведущего оборудования, используемого в предлагаемой аппаратурно-технологической линии. Для интенсификации процесса выдержки используется ультразвуковой экстрактор (рисунок 2), который работает следующим образом.

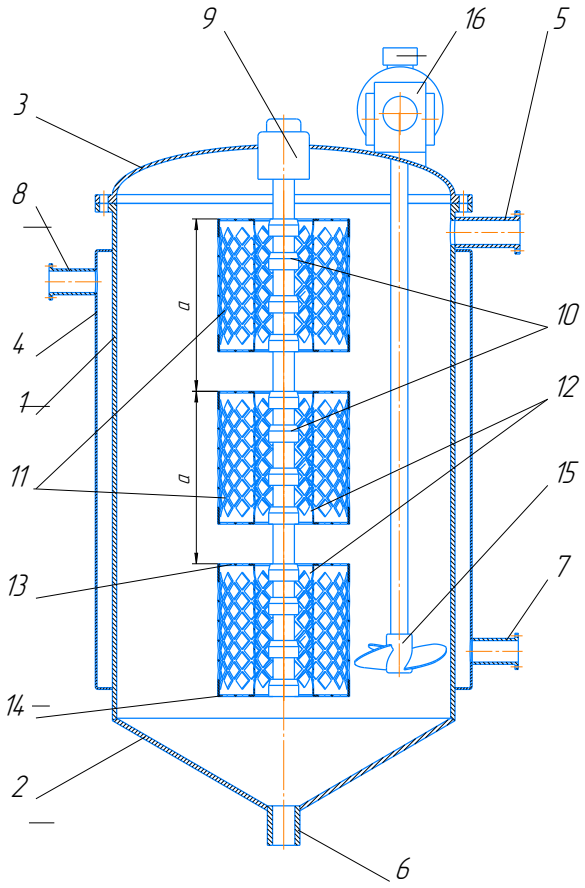


Рисунок 2. Ультразвуковой аппарат для выдержки виски

Figure 2. Ultrasonic whisky aging machine

Предварительно корзины для загрузки сырья через съемные кольца *13* заполняют экстрагирующими ингредиентами. Жидкая фаза (экстрагент) подается через патрубок *5*, расположенный в верхней части аппарата. Установленный в корпусе *1* по центру ультразвуковой волновод *9* возбуждается ультразвуковым преобразователем, подключенным к генератору (на фиг. не показан), и образует по всей высоте аппарата вдоль концентраторов *10* в области расположения корзин для загрузки сырья зоны кавитации за счет своих радиальных колебаний. Ультразвуковые колебания, проникая сквозь перфорированные корзины для загрузки сырья, создают в последних максимальную интенсификацию процесса массообмена между жидкой и твердой фазой. Под кавитационным воздействием целевые компоненты из обрабатываемого сырья интенсивно экстрагируются в поток жидкости. При этом перфорация корзин защищает от попадания частиц твердой фазы в основную область аппарата, где находится жидкая фаза. Выполнение наружного диаметра корзин для загрузки сырья равным величине обратной коэффициенту поглощения обеспечивает равномерное воздействие ультразвука на экстрагирующие ингредиенты по всей толщине корзины.

Вертикальная мешалка быстроходного типа *15*, приводимая во вращение посредством привода *16* создает мощные осевые потоки движения жидкой фазы, что создает дополнительный положительный эффект турбулизации процесса по всей высоте аппарата, а асимметричная ее установка позволяет максимально исключить застойные зоны.

Постоянную температуру процесса поддерживают с помощью рубашки для термостатирования *4*, в которую посредством патрубков *7* и *8* подается и выводится теплоноситель с требуемой температурой.

После достижении экстракта необходимой концентрации ультразвуковой генератор отключают, а готовый экстракт из емкости *1* через патрубок *6* направляют на дальнейшую обработку согласно технологическому процессу.

Таким образом, предложенный ультразвуковой экстрактор за счет размещения цилиндрических перфорированных корзин с экстрагируемым сырьем в зоне концентраторов обеспечит максимальную эффективность процесса экстракции, а выполнение внешнего диаметра корзин равным или меньшим величине обратной коэффициенту поглощения ультразвука обрабатываемой средой обеспечит равномерность воздействия ультразвука на экстрагирующие ингредиенты. При этом цилиндрические перфорированные корзины позволят беспрепятственно образовывать в них зоны кавитации, предотвращая при этом попадание частиц твердой фазы в основную область аппарата, тем самым повышая качество получаемого экстракта. Асимметрично установленная вертикальная мешалка быстроходного типа создавая дополнительный эффект турбулизации также позволит повысить эффективность процесса экстракции [11, 12].

В процессе ультразвукового воздействия на экстрагирующие ингредиенты возможно образование осадка в выдержанных дистиллятах, для удаления которого предназначен мембранный аппарат с сопловым турбулизатором (рисунок 3), который работает следующим образом.

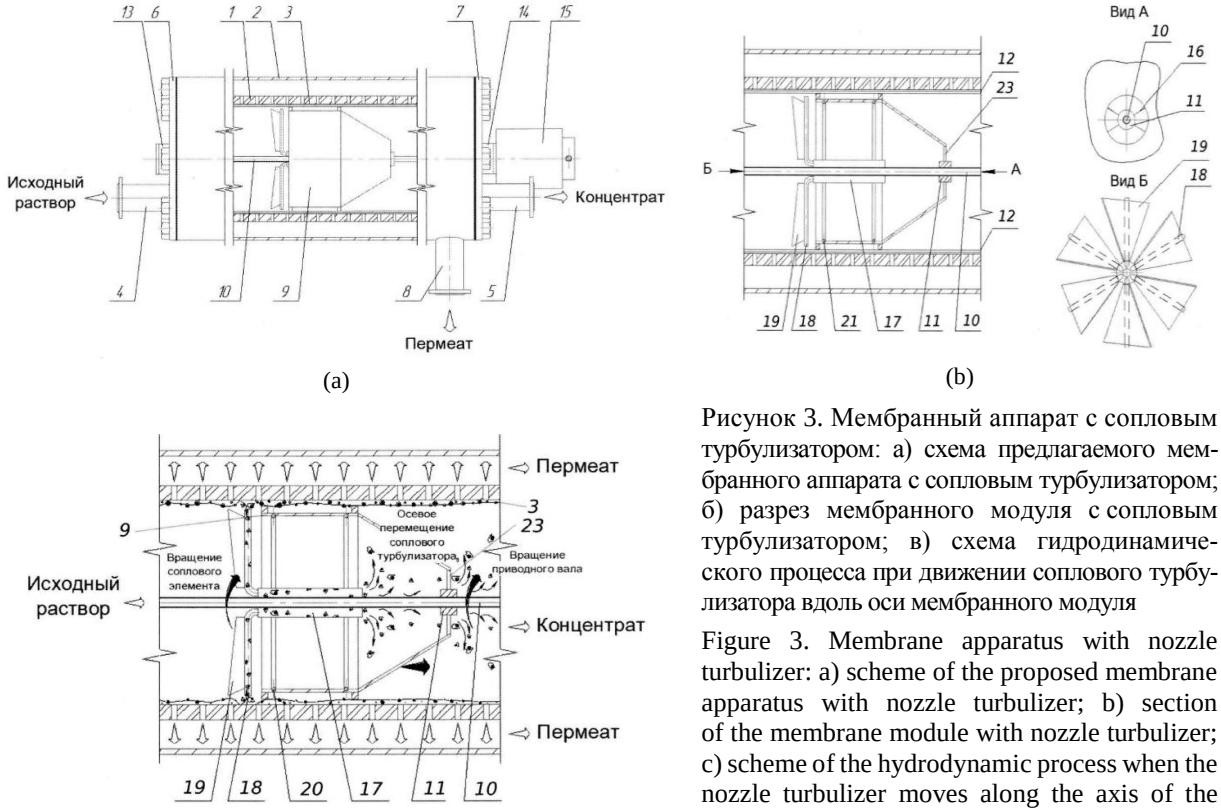


Рисунок 3. Мембранный аппарат с сопловым турбулизатором: а) схема предлагаемого мембранного аппарата с сопловым турбулизатором; б) разрез мембранного модуля с сопловым турбулизатором; в) схема гидродинамического процесса при движении соплового турбулизатора вдоль оси мембранного модуля

Figure 3. Membrane apparatus with nozzle turbulizer: a) scheme of the proposed membrane apparatus with nozzle turbulizer; b) section of the membrane module with nozzle turbulizer; c) scheme of the hydrodynamic process when the nozzle turbulizer moves along the axis of the membrane module

Перед пуском мембранного аппарата убеждаются в том, что сопловой турбулизатор *9* (рисунок 3, а) занимает крайнее левое положение, после чего через штуцер *4* во внутрь пористого цилиндра *1* подают исходный раствор под давлением, превышающим осмотическое для данной жидкости. Прошедший через полупроницаемую мембрану *3* пористого цилиндра *1* пермеат, направляется в кольцевое пространство, образованное наружной поверхностью пористого цилиндра *1* и внутренней поверхностью непроницаемого цилиндра *2*. Откуда он отводится при помощи штуцера *8*. После снижения рабочих характеристик полупроницаемой мембраны *3* вследствие концентрационной поляризации (например, селективности и проницаемости) подают напряжение на обмотки реверсивного электродвигателя *15* с переменной частотой вращения, который приводит во вращение приводной вал *10*. За счет передачи «винт-гайка» при вращении приводного вала *10* осуществляется движение соплового турубулизатора *9* вдоль оси трубчатого мембранного модуля при помощи направляющих *12*. Одновременно с осевым перемещением соплового турбулизатора *9* поток исходного раствора, проходящий через его цилиндроконический корпус, воздействует на лопастное колесо, приводя во вращение сопловой элемент *17*. На выходе из меньшего основания *23* конической части соплового турбулизатора *9* поток исходного раствора претерпевает гидродинамические изменения в отношении скорости и давления: кинетическая энергия разделяемого потока уменьшается вследствие падения скорости, а потенциальная энергия увеличивается. В результате этого внутри цилиндроконического корпуса соплового элемента *17* создается зона пониженного давления, приводящая к подсасыванию части исходного раствора через изогнутые трубки *18* (рисунок 3, б), расположенные в непосредственной близости от поверхности полупроницаемой мембраны *3*. Это способствует разрушению слоя отложений на поверхности полупроницаемой мембраны *3* и удалению их вместе с концентратом из трубчатого мембранного модуля через штуцер *5*. Вращение под действием потока исходного раствора соплового элемента *17* с одновременным продвижением соплового турбулизатора *9* вдоль оси трубчатого мембранного модуля усиливает эффективность очистки всей поверхности полупроницаемой мембраны *3* за счет снижения уровня концентрационной поляризации. После достижения сопловым турбулизатором *9* крайнего правого положения направление вращения приводного вала *10* изменяют на противоположное с целью возврата соплового турбулизатора *9* в исходное состояние – крайнее левое положение (рисунок 3, в).

После чего процессы повторяют аналогично описанным выше. Данный аппарат предоставляет следующие возможности: многозадачный режим работы, позволяющий достигать различных уровней интенсификации за счёт изменения скорости перемещения соплового турбулизатора вдоль поверхности полупроницаемой мембраны и одновременного вращения соплового элемента под действием потока исходного раствора; предотвращение повреждений поверхности полупроницаемой мембраны, возникающих из-за перемещения соплового турбулизатора. Это достигается благодаря его соосному удержанию, которое осуществляется с помощью приводного вала, вращающегося в резьбовой втулке цилиндроконического корпуса и направляющих. Также обеспечивается эффективная очистка поверхности полупроницаемой мембраны от накопившихся отложений за счёт вращающегося лопастного колеса соплового элемента, которое, реагируя на поток исходного раствора, одновременно перемещает сопловой турбулизатор вдоль оси трубчатого мембранного модуля.

Заключение

Предложенное аппаратурное оформление технологической линии ускоренного производства виски позволит:

– повысить качество готового виски за счет применения ультрафильтрации в мембранном аппарате с сопловым турбулизатором, что обеспечит избирательное задерживание частиц, образующихся в результате распада древесины в процессе ультразвуковой экстракции.

– интенсифицировать процесс выдержки вискового дистиллята за счет использования ультразвукового экстрактора с рубашкой для термостатирования, что позволит ускорить различные физико-химические реакции, происходящие при взаимодействии дистиллята с древесиной. Это приведет к более эффективной экстракции полезных компонентов, которые влияют на органолептические свойства виски.

– снизить себестоимость готовой продукции, благодаря сокращению длительности процесса выдержки с трех лет до нескольких суток, при этом, будет значительно уменьшена общая стоимость производства. Это позволит повысить конкурентоспособность продукта на рынке и удовлетворить потребности потребителей, которые ищут качественный виски по более доступной цене.

Таким образом, внедрение данной технологии не только улучшит характеристики конечного продукта, но и сделает процесс его производства более экономически эффективным и рациональным, что соответствует современным трендам в пищевой промышленности.

При этом физико-химические показатели зернового дистиллята, выдержанного при непрерывном ультразвуковом воздействии в течение 48 ч, показали: (в мг/дм^3): массовая концентрация фурановых соединений (фурфурол – 0,7); массовая концентрация дубильных соединений (галловая кислота – 2,52; эллаговая кислота – 14,19); массовая концентрация коричных альдегидов (конифериловый альдегид – 0,36; синаповый альдегид – 0,75); массовая концентрация бензойных альдегидов (ванилин – 0,87; сиреневый альдегид – 1,56); массовая концентрация фенольных кислот (ванилиновая кислота – 0,36; сиреневая кислота – 0,69).

Результаты исследования позволяют сделать вывод о возможности получения виски по данной технологии, отвечающего требованиям ГОСТ 33281–2015 «Виски. Технические условия».

Литература

1 Wang L., Chen S., Xu Y. Distilled beverage aging: A review on aroma characteristics, maturation mechanisms, and artificial aging techniques //Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2023. V. 22. №. 1. P. 502-534.

2 Абрамова И. М., Головачева Н. Е., Морозова С. С., Шубина Н. А. и др. Перспективы производства российского виски // Перспективные технологии и методы контроля в производстве спирта и спиртных напитков. 2019. С. 21-30.

3 Аброскин Н.В., Романенко Е.С. Технология производства виски // Цифровые технологии в сельском хозяйстве: текущее состояние и перспективы развития. Мат. II Международн. науч.-практ. конф. Ставрополь, 20 – 21 декабря 2023 г. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2023. С. 379–381.

4 Головачева Н.Е., Абрамова И.М., Морозова С.С., Галлямова Л.П. Производство виски по ускоренной технологии // Пищевая промышленность. 2019. № 4. С. 31–33.

5 Espitia-López V. L., Malpica-Sánchez F. P., Escalona-Buendía H. B., Verde-Calvo J. R. Innovation and development in whisky production around the world // Beverages. 2024. V. 10. №. 4. P. 124.

6 Gavahian M., Manyatsi T. S., Morata A., Tiwari B. K. Ultrasound-assisted production of alcoholic beverages: From fermentation and sterilization to extraction and aging //Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2022. V. 21. №. 6. P. 5243-5271.

7 Бахолдина Л.А., Четвериков В.И. Получение напитков типа виски с использованием ускоренной технологии производства // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: Мат. XII Всероссийск. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Бийск, 22 – 24 мая 2019 г. Бийск: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2019. С. 504–505.

8 Бородулин Д. М., Просин М.В., Потапова М.Н., Шалев А.В. Исследование влияния микроволнового воздействия на процесс созревания висковых дистиллятов // Хранение и переработка сельхозсырья. 2019. № 4. С. 141–153.

9 Бородулин Д.М., Резниченко И.Ю., Просин М.В., Шалев А.В. Исследование совместного влияния сверхвысокочастотного излучения и кислорода на процесс экстрагирования в технологии получения спиртных напитков // Пиво и напитки. 2020. № 2. С. 15–19.

10 Бородулин Д.М. Сафонова Е.А., Просин М.В., Головачева Я.С. Исследование эффективности работы новой конструкции экстракционного аппарата в технологической линии по производству виски // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. Т. 11. № 3(59). С. 122–127.

11 Пат. № 2829809, RU, C1, B1/06. Ультразвуковой экстрактор. Казарцев Д.А., Востриков О.Ю. № 2024107367. Заявл. 21.03.2024; Опубл. 06.11.2024.

12 Казарцев Д.А., Востриков О.Ю. Разработка инновационной конструкции аппарата для выдержки висковых дистиллятов // Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья. Мат. международной науч. практ. конф. Воронеж, 19 – 20 апреля 2024 г. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2024. С. 105–107.

13 Okolo C. A., Kilcawley K. N., O'Connor C. Recent advances in whiskey analysis for authentication, discrimination, and quality control //Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2023. V. 22. №. 6. P. 4957-4992.

14 Новикова И.В., Коростелев А.В. Выбор параметров экстрагирования компонентов из древесины при производстве «Виски» // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2012. № 4. С. 10–12.

15 Романова А.Г., Медриш М.Э. Соотношение дубильных соединений как показатель качества и идентификации выдержанных зерновых дистиллятов и виски // Вопросы питания. 2023. Т. 92, № 5(549). С. 199–200.

16 Kang X., Lin R., Wu B., Li L. et al. Towards green whiskey production: Anaerobic digestion of distillery by-products and the effects of pretreatment //Journal of Cleaner Production. 2022. V. 357. P. 131844.

17 Phetxumphou K. Miller G., Ashmore,P. L., Collins T. et al. Mashbill and barrel aging effects on the sensory and chemometric profiles of American whiskeys //Journal of the Institute of Brewing. 2020. V. 126. №. 2. P. 194-205.

18 Krstić J. D., Kostić S. M. M., Veljović S. P. Traditional and innovative aging technologies of distilled beverages: The influence on the quality and consumer preferences of aged spirit drinks //Journal of Agricultural Sciences (Belgrade). 2021. V. 66. №. 3. P. 209-230.

19 Gavahian M., Chu R., Ratchaneesiripap P. An ultrasound-assisted extraction system to accelerate production of Mhiskey, a rice spirit-based product, inside oak barrel: Total phenolics, color, and energy consumption //Journal of Food Process Engineering. 2022. V. 45. №. 6. P. e13861.

20 Петров Д. В., Мусина Ю. С. Совершенствование оборудования для получения крепких алкогольных напитков // Инновации в пищевой биотехнологии. 2019. С. 118-119.

References

1 Wang L., Chen S., Xu Y. Distilled beverage aging: A review on aroma characteristics, maturation mechanisms, and artificial aging techniques //Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2023. vol. 22. no. 1. pp. 502-534.

2 Abramova I. M., Golovacheva N. E., Morozova S. S., Shubina N. A. et al. Prospects for the production of Russian whiskey // Promising technologies and methods of control in the production of alcohol and alcoholic beverages. 2019. pp. 21-30. (in Russian).

3 Abroskin N.V., Romanenko E.S. Whiskey production technology. Digital technologies in agriculture: current state and development prospects. Stavropol, Stavropol State Agrarian University, 2023. pp. 379–381. (in Russian).

4 Golovacheva N.E., Abramova I.M., Morozova S.S., Gallyamova L.P. Production of whiskey using accelerated technology // Food industry. 2019. no. 4. pp. 31-33. (in Russian).

5 Espitia-López V. L., Malpica-Sánchez F. P., Escalona-Buendía H. B., Verde-Calvo J. R. Innovation and development in whisky production around the world // Beverages. 2024. vol. 10. no. 4. pp. 124.

6 Gavahian M., Manyatsi T. S., Morata A., Tiwari B. K. Ultrasound-assisted production of alcoholic beverages: From fermentation and sterilization to extraction and aging //Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2022. vol. 21. no. 6. pp. 5243-5271.

7 Bakholdina L.A., Chetverikov V.I. Production of whiskey-type beverages using accelerated production technology. Technologies and equipment of the chemical, biotechnological and food industries. Biysk, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, 2019. pp. 504–505. (in Russian).

8 Borodulin D.M., Prosin M.V., Potapova M.N., Shalev A.V. Investigation of the effect of microwave exposure on the ripening process of whiskey distillates // Storage and processing of agricultural raw materials. 2019. no. 4. pp. 141–153. (in Russian).

9 Borodulin D.M., Reznichenko I.Yu., Prosin M.V., Shalev A.V. Investigation of the combined effect of microwave radiation and oxygen on the extraction process in the production technology of alcoholic beverages // Beer and beverages. 2020. no. 2. pp. 15-19. (in Russian).

10 Borodulin D.M. Safonova E.A., Prosin M.V., Golovacheva Ya.S. Investigation of the efficiency of a new extraction apparatus design in a whiskey production line // XXI century: results of the past and problems of the present plus. 2022. vol. 11. no. 3(59). pp. 122-127. (in russian).

11 Kazartsev D.A., Vostrikov O.Y. Ultrasonic extractor. Patent RF, no. 2829809, 2024. (in Russian).

12 Kazartsev D.A., Vostrikov O.Y. Development of an innovative design of a device for holding whiskey distillates. Innovative solutions in the production of food from plant raw materials. Voronezh: Voronezh State University of Engineering Technologies, 2024. pp. 105–107. (in Russian).

13 Okolo C. A., Kilcawley K. N., O'Connor C. Recent advances in whiskey analysis for authentication, discrimination, and quality control //Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2023. vol. 22. no 6. pp. 4957-4992.

14 Novikova I.V., Korostelev A.V. The choice of parameters for extracting components from wood in the production of "Whiskey" // Production of alcohol and alcoholic beverages. 2012. no. 4. pp. 10-12. (in Russian).

15 Romanova A.G., Medrish M.E. The ratio of tannins as an indicator of the quality and identification of aged grain distillates and whiskey // Nutrition issues. 2023. vol. 92. no. 5(549). pp. 199-200. (in Russian).

16 Kang X., Lin R., Wu B., Li L. et al. Towards green whiskey production: Anaerobic digestion of distillery by-products and the effects of pretreatment //Journal of Cleaner Production. 2022. vol. 357. pp. 131844.

17 Phetxumphou K., Miller G., Ashmore,P. L., Collins T. et al. Mashbill and barrel aging effects on the sensory and chemometric profiles of American whiskeys //Journal of the Institute of Brewing. 2020. vol. 126. no. 2. pp. 194-205.

18 Krstić J. D., Kostić S. M. M., Veljović S. P. Traditional and innovative aging technologies of distilled beverages: The influence on the quality and consumer preferences of aged spirit drinks //Journal of Agricultural Sciences. 2021. vol. 66. no. 3. pp. 209-230.

19 Gavahian M., Chu R., Ratchaneesiripap P. An ultrasound-assisted extraction system to accelerate production of Mhiskey, a rice spirit-based product, inside oak barrel: Total phenolics, color, and energy consumption //Journal of Food Process Engineering. 2022. vol. 45. no. 6. pp. e13861.

20 Petrov D. V., Musina Yu. S. Improvement of equipment for the production of strong alcoholic beverages // Innovations in food biotechnology. 2019. pp. 118-119. (in Russian).

Сведения об авторах

Дмитрий А. Казарцев д.т.н., доцент, заведующий кафедрой технологии виноделия, бродильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, kda_79@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6597-2327

Андрей И. Ключников д.т.н., доцент, заведующий кафедрой технологии виноделия, бродильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, kaivanov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8161-0040

Олег Ю. Востриков аспирант, кафедра технологии виноделия, бродильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, ctg@bk.ru

Кристина В. Назина студент, кафедра технологии виноделия, бродильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, cvetkovav234@gmail.com

Ярина А. Деменкова студент, кафедра технологии виноделия, бродильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, demenkovastudy@gmail.com

Information about authors

Dmitriy A. Kazartsev Dr. Sci. (Engin.), Associate professor, head of the department of winemaking technology, fermentation production and chemistry named after G. G. Agabalyantsa, K. G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, kda_79@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6597-2327

Andrey I. Klyuchnikov Dr. Sci. (Engin.), Associate professor, department of winemaking technology, fermentation production and chemistry named after G.G. Agabalyantsa, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, kaivanov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8161-0040

Oleg Yu. Vostrikov graduate student, technology of winemaking, fermentation and chemistry named after G. G. Agabalyantsa department, K. G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, ctg@bk.ru

Kristina V. Nazina student, technology of winemaking, fermentation and chemistry named after G. G. Agabalyantsa department, K. G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, cvetkovav234@gmail.com

Yarina A. Demenkova student, technology of winemaking, fermentation and chemistry named after G. G. Agabalyantsa department, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, demenkovastudy@gmail.com

Вклад авторов

Дмитрий А. Казарцев консультация в ходе исследования
Андрей И. Ключников консультация в ходе исследования
Олег Ю. Востриков организовал производственные испытания
Кристина В. Назина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент
Ярина А. Деменкова написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Dmitriy A. Kazartsev consultation during the study
Andrey I. Klyuchnikov consultation during the study
Oleg Yu. Vostrikov organized production trials
Kristina V. Nazina review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment
Yarina A. Demenkova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/08/2024 **После редакции** 18/08/2024 **Принята в печать** 10/09/2024

Received 01/08/2024 **Accepted in revised** 18/08/2024 **Accepted** 10/09/2024

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-38-46 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.8.047 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Математическая интерпретация кинетических закономерностей сушки свекловичной стружки

Алексей В. Дранников [1] drannikov@list.ru 0000-0002-3060-8688
Николай Ю. Ситников [2] sit-work@yandex.ru 0000-0002-3690-6336
Алексей Р. Бубнов [1] alex.bubnov.97@mail.ru 0000-0001-6532-5509
Виталий Ю. Овсянников [1] ows2003@mail.ru 0000-0001-9388-6303
Константин К. Полянский [3] mto.vrn@mail.ru 0000-0002-8817-1466

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 ООО "РУСМИТ", 396350, Воронежская область, Каширский р-он, Каширское село, ул. Мира, д.20, офис 1
3 Воронежский филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, Карла Маркса. 67А. Воронеж, 394030, Россия

Аннотация. Статья посвящена исследованию кинетики тепло-массообмена при сушке свекловичной стружки в барабанной сушильной установке с канальной насадкой. Основное внимание уделено анализу влияния ключевых параметров процесса: температуры сушильного агента (403–413 К), расхода воздуха (0.312–0.437 м³/с), степени заполнения барабана (30–35%) и частоты его вращения (1–2 об/мин). Экспериментальные исследования проводились на разработанной установке, обеспечивающей герметичность, контроль параметров и отбор проб без разгерметизации. Влажность продукта определялась методом высушивания при 378 К в соответствии с нормативом ТУ ОСТ 18–22–81. Для интенсификации процесса в сырую стружку вводили мучные отруби, абсорбирующие влагу и снижающие энергозатраты. Установлено, что повышение температуры воздуха с 403 до 413 К увеличивает скорость сушки на 15–20%, сокращая время обработки. Рост скорости воздушного потока и частоты вращения барабана также интенсифицирует процесс, тогда как увеличение степени заполнения усиливает гидродинамическое сопротивление, замедляя сушку. Кинетические кривые демонстрируют три характерных периода: прогрев, постоянная и убывающая скорость сушки. На основе экспериментальных данных разработаны критериальные уравнения теплообмена (Nu) для периодов постоянной (погрешность ≤17.5%) и убывающей скорости, учитывающие критерии Рейнольдса (Re), температурный симплекс и параметры влажности. Предложена инновационная двухсекционная барабанная сушилка, обеспечивающая раздельную обработку материала горячим воздухом и перегретым паром. Конструкция включает независимые секции с индивидуальным приводом, шнековый транспортер для предотвращения смешивания сушильных агентов и регулируемую заслонку для контроля конечной влажности (10–13%). Модернизация позволяет повысить интенсивность процесса на 25–30% и улучшить качество продукта за счет посекционной оптимизации температурного режима. Результаты работы могут быть применены при проектировании промышленных установок для переработки сельскохозяйственных отходов, сокращения энергопотребления и увеличения сроков хранения кормовых материалов.

Ключевые слова: сушка, интенсивность свекловичная стружка, мучные отруби, барабанная сушилка.

Mathematical interpretation of kinetic patterns of beet shavings drying

Alexey V. Drannikov [1] drannikov@list.ru 0000-0002-3060-8688
Nikolay Yu. Sitnikov [2] sit-work@yandex.ru 0000-0002-3690-6336
Alexey R. Bubnov [1] alex.bubnov.97@mail.ru 0000-0001-6532-5509
Vitaly Yu. Ovsyannikov [1] ows2003@mail.ru 0000-0001-9388-6303
Konstantin K. Polyansky [3] mto.vrn@mail.ru 0000-0002-8817-1466

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
2 LLC "RUSMIT", 396350, Voronezh region, Kashirsky district, Kashirskoe village, st. Mira, 20, office 1
3 Voronezh Branch of the Plekhanov Russian University of Economics

Abstract. The article investigates the heat and mass transfer kinetics during the drying of beet pulp in a drum dryer with a channel nozzle. The study focuses on analyzing the impact of key process parameters: drying agent (air) temperature (403–413 K), airflow rate (0.312–0.437 m³/s), drum fill level (30–35%), and rotation speed (1–2 rpm). Experimental research was conducted using a custom-designed setup ensuring hermetic sealing, real-time parameter control, and sampling without depressurization. Product moisture content was determined via drying at 378 K, following the TU OST 18–22–81 standard. To enhance efficiency, wheat bran was mixed with raw beet pulp to absorb moisture and reduce energy consumption. The results indicate that increasing air temperature from 403 to 413 K elevates drying speed by 15–20%, shortening processing time. Higher airflow rates and drum rotation speeds also intensify drying, while increased fill levels amplify hydrodynamic resistance, slowing the process. Kinetic curves reveal three distinct phases: heating, constant drying rate, and falling drying rate. Based on experimental data, criteria-based heat transfer equations (Nu) were derived for the constant (error ≤17.5%) and falling rate periods, incorporating the Reynolds criterion (Re), temperature simplex, and moisture parameters. An innovative two-section drum dryer is proposed, enabling sequential material treatment using hot air and superheated steam. The design features independent sections with individual drives, a screw conveyor to prevent mixing of drying agents, and an adjustable flap to regulate final moisture content (10–13%). The upgraded system enhances process intensity by 25–30% and improves product quality through section-specific temperature optimization. The findings are applicable to industrial plant design for agricultural waste processing, reducing energy consumption, and extending the shelf life of feed materials.

Keywords: drying, intensity beet chips, flour bran, drum dryer.

Для цитирования
Дранников А.В., Ситников Н.Ю., Бубнов А.Р., Овсянников В.Ю., Полянский К.К. Математическая интерпретация кинетических закономерностей сушки свекловичной стружки // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 38–46. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-38-46

For citation
Drannikov A.V., Sitnikov N.Yu., Bubnov A.R., Ovsyannikov V.Yu, Polyansky K.K. Mathematical interpretation of kinetic patterns of beet shavings drying. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 38–46. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-38-50

© 2025, Дранников А.В. и др. / Drannikov A.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Процесс сушки свекловичной стружки в барабанной сушильной установке имеет практический интерес с целью описания процесса тепло-массообмена при различных параметрах температуры сушильного агента (воздуха) на входе в сушильный барабан, расходе воздуха, степени заполнения сушильного барабана, частоты вращения барабана.

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.

Свекловичная стружка содержит большое количество клетчатки, углеводов, витаминов и минералов, необходимых для полноценного питания крупного рогатого скота. Она также улучшает пищеварение и предотвращает проблемы с желудочно-кишечным трактом у КРС.

Введение в состав свекловичной стружки мучных отрубей повышает ее питательность, уменьшает время сушки и затраты энергии. Мучные отруби – ценный продукт для корма КРС, улучшающий пищеварение, вкусовые качества и питательность корма, содержащий много клетчатки и витаминов.

Свекловичная стружка в сыром виде склонна к образованию плесени, с этой целью её следует высушивать в сушильных установках, что позволит увеличить срок хранения и упростит способ хранения.

Сушка свекловичной стружки в барабанной сушилке происходит подогретым воздухом с целью сохранить полезные свойства продукта.

Материалы и методы

Для изучения кинетических зависимостей процесса сушки свекловичной стружки разработана экспериментальная установка.

Исходными положениями при проектировании и изготовлении установки является надежная герметизация, возможность оперативного контроля и регулирования технологических параметров в широком диапазоне, надежность и безопасность в работе.

Исследования по кинетике сушки проводятся в непрерывном режиме на экспериментальной сушильной установке (Рисунок 1). При этом влажность продукта определяется методом отбора проб. Для этого изготовлено специальное устройство, которое позволяет отбирать пробы без разгерметизации установки. Причем отбор проб производится по средней длине сушильного барабана с целью определения равномерности сушки продукта. Окончательную влажность стружки определяем высушиванием продукта в сушильном шкафу при температуре 378 К согласно методике, предусмотренной ТУ ОСТ 18–22–81 «Жом сушеный», так как это самый близкий по свойствам продукт. [3]

Свекловичная стружка предварительно смешивалась с мучными отрубями, с целью абсорбции части влаги, так как отруби при сушке в барабанной сушилке уносятся горячим воздухом из сушилки, захватив с собой значительное количество влаги, что позволяет снизить время сушки.

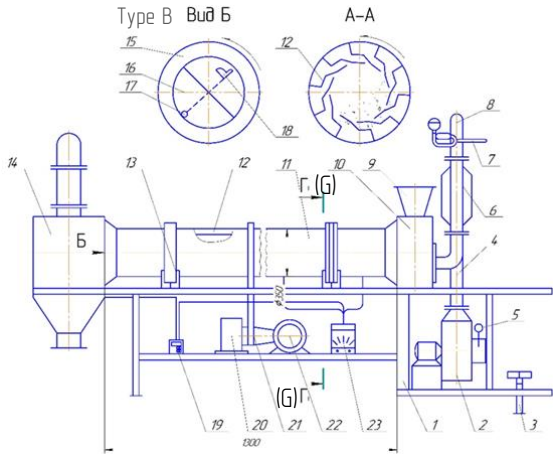


Рисунок 1. Принципиальная схема барабанной сушилки с канальной насадкой. 1 – рама; 2 – нагнетающий вентилятор; 3 – упорно-винтовое устройство; 4 – воздуховод; 5 – шибер; 6 – электрокалорифер; 7 – «сухой» термометр; 8 – «мокрый» термометр; 9 – патрубок для ввода влажного жома; 10 – загрузочная камера; 11 – барабан; 12 – канальная насадка; 13 – опорные ролики; 14 – камера выгрузки; 15 – подпорное кольцо; 16 разгрузочный фланец; 17 – хромель-копелевые термопары; 18 – уголок; 19 – измеритель-регулятор фирмы «ОВЕН»; 20 – редуктор; 21 – цепная передача; 22 – электродвигатель; 23 – термоанимометр

Figure 1. Schematic diagram of a drum dryer with a channel nozzle. 1 – frame; 2 – pressure fan; 3 – thrust-screw device; 4 – air duct; 5 – slide; 6 – electric heater; 7 – "dry" thermometer; 8 – "wet" thermometer; 9 – pipe for entering wet pulp; 10 – loading chamber; 11 – valve; 12 – channel nozzle; 13 – support rollers; 14 – discharge chamber; 15 – retaining ring; 16 – discharge flange; 17 – chromel–copel thermocouples; 18 – corner; 19 – «ОВЕН» measuring regulator; 20 – gearbox; 21 – chain transmission; 22 – electric motor; 23 – thermometer

Параметры процесса сушки в каждом опыте поддерживаются постоянными в интервале значений: температура сушильного агента (воздуха) на входе в сушильный барабан $T_в$ = 403–413 К, расход воздуха $υ_в$ = 0,312–0,437 м^3/с, степень заполнения сушильного барабана = 30–35%.,

частота вращения барабана n = 1–2 об/мин начальная влажность свекловичной стружки $W_н$ = 80–85%, [2,8]

Угол наклона сушильного барабана во всех опытах составляет примерно 3–5˚. [9]

Результаты

Кривые сушки, скорости сушки и кривые нагрева свекловичной стружки с предварительно смешанными мучными отрубями сушильным агентом (воздухом) при различных режимных параметрах процесса были представлены в статье «Кинетика процесса сушки свекловичной стружки в барабанной сушилке с канальной насадкой» [2]

Проанализировав их можно заметить, что:

1) Увеличение температуры воздуха от 403 до 413 К возрастанию скорости сушки, следовательно, к сокращению времени сушки. При увеличение скорости сушки период прогрева сокращается, а кривая выглядит менее пологой.

2) Увеличение скорости движение воздуха также ускоряет процесс высушивания, удаление влаги с поверхности материала проходит наиболее интенсивно.

3) При увеличении степени заполнения барабанной сушилки повышается сопротивление материала на поверхности канальной насадки, что замедляет процесс сушки.

4) Увеличение частоты оборотов сушильного барабана приводит к интенсификации процесса сушки свекловичной стружки.

5) Характер изменения кривых соответствует периодам прогрева, постоянной и убывающей скорости сушки. [2]

Процесс сушки свекловичной стружки в барабанной сушилке начинается с прогрева продукта, и всё тепло приходится на нагрев продукта, что видно на кривых нагрева, испарение основной влаги приходится на период постоянной скорости сушки.

На процесс сушки свекловичной стружки большое влияние оказывают разнообразные параметры. К таким параметрам следует отнести температуру сушильного агента (воздуха) на входе в сушильный барабан $T_в$, расход воздуха $υ_в$, степень заполнения сушильного барабана γ %, частота вращения барабана n об/мин начальная влажность свекловичной стружки $W_н$, %, рекомендуемая конечная влажность $W_к$ = 10–13% [3, 6, 7].

Результаты исследований, полученных на экспериментальной модели позволяют смоделировать их на промышленный объект при соблюдении гидродинамического и теплового подобия с учетом масштабных коэффициентов [3]. Поэтому можно рассматривать процесс сушки в экспериментальной и промышленной сушильной установке как один процесс с изменяющимися параметрами, отличающимися только масштабом [1].

Для описания процесса теплообмена вначале определяли интенсивность сушки при различных режимных параметрах по формуле:

$$j = \frac{NG_c}{100F} \quad (1)$$

где N – скорость сушки, % / с; G_c – масса абсолютно сухих веществ в стружке, кг; F – поверхность испарения влажной стружке, м^2.

При сушке в барабанной сушильной установке процесс испарения происходит по всей поверхности частиц стружки, поэтому поверхность испарения находили по формуле [4]:

$$F = \frac{6G}{\rho_м d_э} \quad (2)$$

где G – масса влажной стружки, загружаемой в экспериментальную сушильную установку, кг; $ρ_м$ – плотность свекловичной стружки, кг/м^3; $d_э$ – эквивалентный диаметр частиц стружки-пластины, м.

Эквивалентный диаметр для влажной стружки определяли, используя следующее выражение:

$$d_э = \sqrt[3]{\frac{6m}{\pi n \rho_м}} \quad (3)$$

где m – масса пробы, кг; n – число частиц в пробе, шт.

В результате анализа кривых интенсивности сушки свекловичной стружки при различных режимных параметрах процесса (рисунки 2–4) видно, что в периоде прогрева и постоянной скорости сушки интенсивность *j* линейно увеличивается с уменьшением влажности материала. Максимальная интенсивность сушки достигается при первом критическом влагосодержании, которое в зависимости отрежима сушки, составляет $W^c_{кр1}$ = 20–60%. Увеличение *j* объясняется тем, что в процессе сушки частицы стружки испытывают значительную усадку и, согласно формуле (2), уменьшается поверхность испарения частиц стружки. Но при этом во втором периоде скорость сушки остается постоянной, и в соответствии с формулой (1) наблюдается увеличение интенсивности сушки.

В периоде убывающей сушки происходит резкое снижение *j*, обусловленное уменьшением скорости сушки стружки.

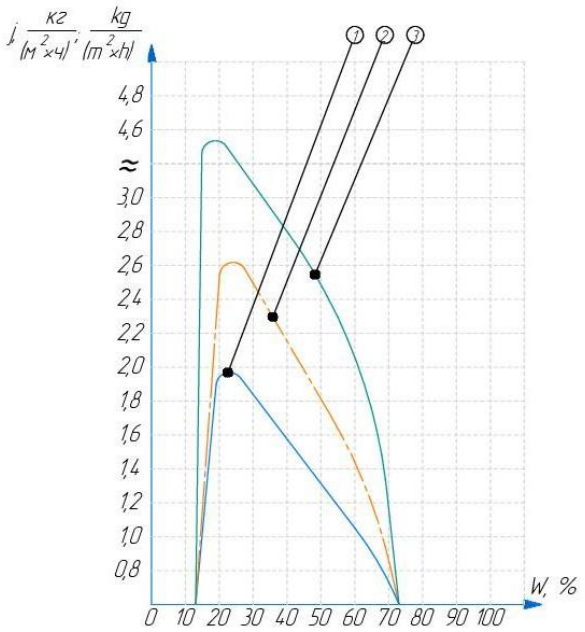


Рисунок 2. Кривые интенсивности сушки свекловичной стружки при различных температурных режимах сушки $T_в$, К, 1 – 383 К, 2 – 403 К, 3 – 423 К, при постоянных n = 1,5 об/мин, ɣ = 20%, ν = 0,37 м^3/с

Figure 2. Light jet intensity curves at various temperature conditions of T_v drying, K, 1–383K, 2 – 403 K, 3 – 423K, at constant N = 1.5 rpm, ɣ = 20%, v = 0.37 m^3/s.

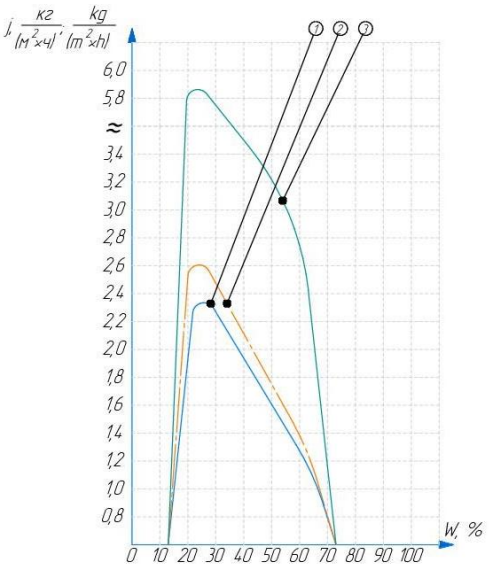


Рисунок 3. Кривые интенсивности сушки свекловичной стружки при различных показателях расхода воздуха ν, м^3/с, 1 – 0,43 м^3/с, 2 – 0,37 м^3/с, 3 – 0,31 м^3/с, при постоянных n = 1,5 об/мин, ɣ = 20%, $T_в$ = 408 К

Figure 3. Curves of the drying intensity of vitreous chips at different values of air flow v, m^3/s, 1–0.43 m^3/s, 2 – 0.37 m^3/s, 3 – 0.31 m^3/s, at constant n = 1.5 rpm, ɣ = 20%, T_v = 408 K.

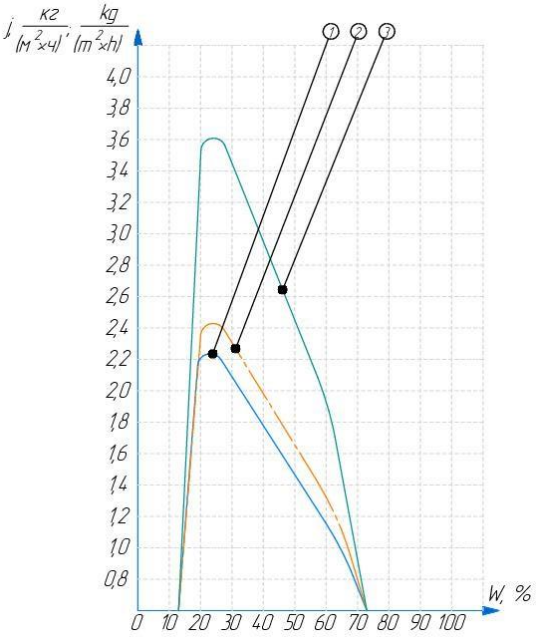


Рисунок 4. Кривые интенсивности сушки свекловичной стружки при различных показателях степени заполнения сушильного барабана ɣ, %, 1–10%, 2–20%, 3–30%, при постоянных n = 1,5 об/мин, ν = 0,37 м^3/с, $T_в$ = 408 К

Figure 4. Curves of the intensity of drying beet chips at various indicators of the degree of filling of the drying tank ɣ, %, 1–10%, 2–20%, 3–30%, at constant n = 1.5 rpm, v = 0.37 m^3/s, T_v = 408 K.

Процесс теплообмена характеризуется величиной коэффициента теплоотдачи (теплообмена) α, который вычисляли согласно экспериментальным данным по выражению:

$$\alpha = \frac{Q}{T_в - T_м} \quad (4)$$

где Q – общее количество принятого свекловичной стружкой тепла, Вт/м2; Тв, Тм – температура соответственно подогретого воздуха и материала, К.

Величину *Q* определяли по формуле:

$$Q = rj \quad (5)$$

где r – удельная теплота испарения влаги, кДж/кг.

Графические зависимости коэффициента α в периоде постоянной скорости сушки от режимных параметров процесса представлены на рисунках 5–7.

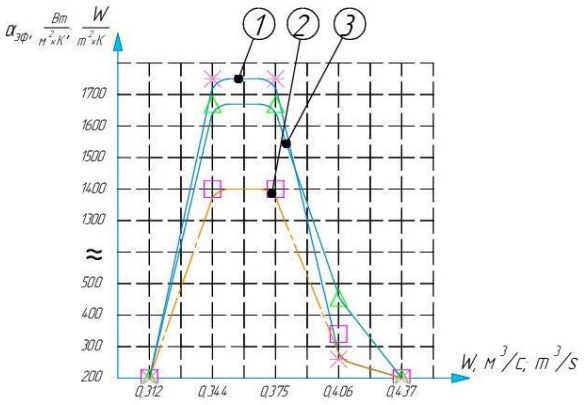


Рисунок 5. Зависимость коэффициента теплообмена от расхода сушильного агента поданного в сушильную камеру при различных показания температуры сушильного агента, К; 1 – 403 К, 2 – 408 К, 3 – 413 К, при n = 1,5 об/мин, ɣ = 20%

Figure 5. The dependence of the heat exchange coefficient on the flow rate of the drying agent supplied to the drying chamber at various temperatures of the drying agent, K; 1 – 403 K, 2 – 408 K, 3 – 413 K, at n = 1.5 rpm, ɣ = 20%.

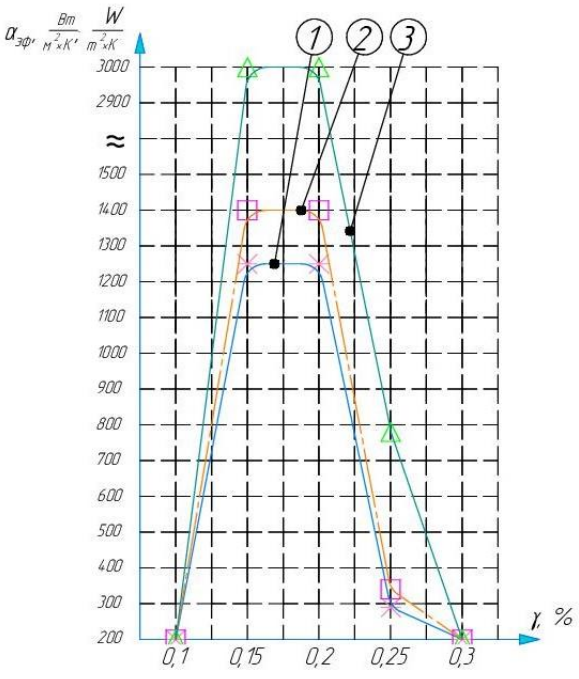


Рисунок 6. Зависимость коэффициента теплообмена от показаний температуры сушильного агента, при различных показаниях степени заполнения сушильной камеры; 1 – 10%, 1 – 20%, 1 – 30%, при n = 1,5 об/мин, ɣ = 20%, *v* = 0,375 м^3/с

Figure 6. The dependence of the heat exchange coefficient on the temperature readings of the drying agent, with different readings of the degree of filling of the drying chamber; 1 – 10%, 1 – 20%, 1 – 30%, at n = 1.5 rpm, ɣ = 20%, v = 0.375 m^3/s

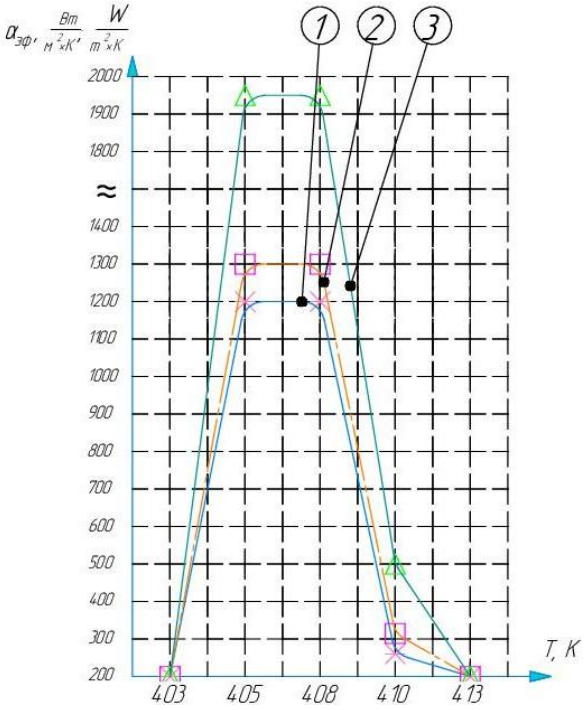


Рисунок 7. Зависимость коэффициента теплообмена от показаний степени заполнения сушильной камеры, при различных показаниях температуры сушильного агента; 1 – 10%, 2 – 20%, 3 – 30%, при n = 1,5 об/мин, Т = 403 К

Figure 7. The dependence of the heat transfer coefficient on the readings of the degree of filling of the drying chamber, at different readings of the temperature of the drying agent; 1 – 10%, 2 – 20%, 3 – 30%, at n = 1.5 rpm, T = 403 K

Рассчитанный коэффициент теплообмена α входит в критерий Нуссельта. В нашем случае обобщенное критериальное уравнение конвективного теплообмена между подогретым воздухом и свекловичной стружкой при периоде прогрева, периоде постоянной скорости сушки и периоде убывающей скорости сушки находится:

$$Nu = f\left(\mathrm{Re}, \frac{T_n}{T_м}, \frac{W}{W_{кр1}}, \gamma\right) \qquad (6)$$

где Re – критерий Рейнольдса, характеризующий соотношение сил инерции и трения в потоке теплоносителя; $T_n/T_м$ – температурный симплекс, характеризующий особенности теплообмена при углублении зоны испарения; $W/W_{кр1}$ – параметрический критерий, представляющий отношение средней влажности материала в период убывающей скорости сушки к первой критической влажности материала и учитывающий уменьшение влажности материала в периоде убывающей скорости сушки; ɣ – симплекс учитывающий толщину слоя, проходящего теплоносителем сквозь продукт.

В уравнении (6) не были учтены критерии Прандтля Pr и Грасгофа Gr. Это обусловлено тем, что критерий Прандтля является величиной постоянной, практически не зависящей от температуры и давления. Критерий же Грасгофа в рассматриваемом случае не актуально, так как движение воздуха является вынужденным.

Результаты

В результате математической обработки экспериментальных данных получены критериальные зависимости, описывающие процесс теплообмена при сушке свекловичной стружки с начальной влажностью 80–85% [5,6].

Для периода постоянной скорости сушки зависимость получена в виде:

$$Nu = 5,5\,\mathrm{Re}^{1,92}\left(\frac{T_n}{T_м}\right)^{1,5}\gamma^{0,1} \qquad (7)$$

Для периода убывающей скорости сушки:

$$Nu = 7,04\,\mathrm{Re}^{1,37}\left(\frac{T_n}{T_м}\right)^{1,37}\gamma^{0,07}\left(\frac{W}{Wкр1}\right)^{0,17} \qquad (8)$$

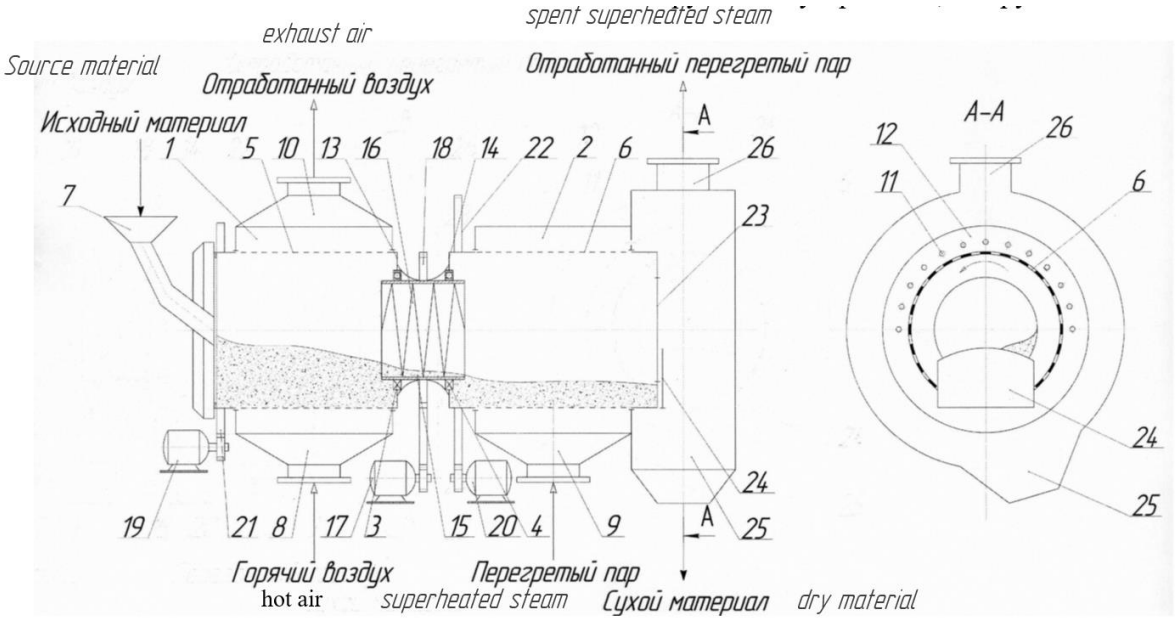


Рисунок 8. Двухсекционная барабанная сушилка
Figure 8. Two-section drum dryer

Формулы (7) и (8) справедливы в следующих интервалах изменения режимных параметров: температура сушильного агента (воздуха) на входе в сушильный барабан Тв = 403–413 К, расход воздуха υв = 0,312–0,437 м^3/с, степень заполнения сушильного барабана = 30–35%., частота вращения барабана n = 1–2 об/мин начальная влажность жома Wн = 80–85%, рекомендуемая конечная влажность Wк = 10–13%. Угол наклона сушильного барабана во всех опытах составляет примерно 3–5˚.

Отклонение результатов, полученных по формулам (7) и (8), от экспериментальных не превышает 17,5%.

При сравнении уравнений (7) и (8) можно отметить, что влияние режимных параметров на теплообмен в периоде постоянной и убывающей скорости сушки практически не меняется, что подтверждает ранее сделанные выводы при анализе кинетических закономерностей и правильность выполненных математических расчетов.

Данные уравнения можно использовать при проектировании полупромышленных и промышленных сушильных установок для свекловичной стружки при соблюдении гидродинамического, теплового подобия и с учетом масштабного перехода.

В результате математической обработки экспериментальных данных предложена двухсекционная сушильная установка содержащая загрузочное устройство, патрубок отвода сушильного агента, бункер для вывода высушенного материала, неподвижный цилиндрический кожух, снабженный патрубками подвода сушильного агента, и концентрично размещенный перфорированный барабан, перфорированный барабан в кожухе Кожух и выполнены двухсекционными, при этом каждая секция барабана установлена в подшипниках качения отдельно расположенных неподвижных кожухов, которые снабжены

патрубками подвода сушильных агентов, размещенными таким образом, что сушильные агенты проходят через слой дисперсного материала, находящегося внутри секций барабана, при этом в торцевой стенке на выходе из первой секции барабана и в торцевой стенке на входе второй секции барабана соосно установлен в подшипниках качения горизонтальный цилиндр, на внутренней поверхности которого закреплен шнек, причем независимое вращение цилиндра от дополнительного привода с помощью шнека обеспечивает перегрузку дисперсного материала из одной секции барабана в другую, предотвращая смешивание отработанных сушильных агентов.

Двухсекционная барабанная сушилка (рисунок 8) работает следующим образом:

Барабанная сушилка для свекловичной стружки имеет неподвижный цилиндрический кожух, включающий секции *1,2*. Концентрично секциям кожуха в подшипниках качения *3,4* установлены секции *5, 6* перфорированного барабана. Барабанная сушилка также содержит загрузочное устройство *7*, патрубок для подачи горячего воздуха *8* в секцию *5*, патрубок для подачи перегретого пара *9* в секцию *6*, размешенные таким образом, что сушильные агенты проходят через слой дисперсного материала, находящегося внутри секций барабана *5,6*, под углом естественного откоса в результате, патрубок для отвода отработанного воздуха К) и отверстия для отвода отработанного перегретого пара *11*, расположенные в верхней части торцевой стенки *12* секции *2* неподвижного кожуха.

На выходе из секции *5* перфорированного барабана в торцевой стенке *13* и на входе в секцию *6* перфорированного барабана в торцевой секции *14* соосно установлен в подшипниках качения *3,4* горизонтальный цилиндр *15*, на внутренней поверхности которого закреплен шнек *16*. Вращение цилиндра *15* вместе со шнеком *16* в подшипниках качения *3,4*, осуществляется с помощью электродвигателя *17* и зубчатой передачи *18*. Вращение секций *5,6* перфорированного барабана осуществляется с помощью соответственно электродвигателей *19, 20* и зубчатых передач *21,22*.

В барабанной сушилке предусмотрено отверстие *23* с заслонкой *24* для вывода высушенного жома из секции *6* перфорированного барабана в бункер для выгрузки материала *25*, который в свою очередь снабжен патрубком для отвода отработанного перегретого пара *26*.

Барабанная сушилка для свекловичного жома работает следующим образом.

Исходный материал через загрузочное устройство *7* поступает внутрь первой секции *5* вращающегося перфорированного барабана и подвергается сушке в пересыпающемся слое горячим воздухом, который подается через патрубок *8*. Отработанный воздух поступает в секцию *1* неподвижного цилиндрического кожуха и далее отводится из сушилки через патрубок К).

Подсушенный свекловичный жом направляется во вращающийся горизонтальный цилиндр *15* и перемещается внутри него с помощью шнека *16*, который жестко закреплен на внутренней поверхности цилиндра *15*, исключая смешивание сушильных агентов в секциях *5,6* перфорированного барабана.

Далее материал попадает во вторую секцию *6* перфорированного барабана, где осуществляется его сушка до конечной влажности перегретым паром, который подается через патрубок *9*. Сухой свекловичный жом через отверстие *23* поступает в бункер для выгрузки материала *25* и затем выводится сушилки. Причем время нахождения материала в сушилке, и, следовательно, его конечная влажность регулируется с помощью заслонки *24*.

Одна часть отработанного перегретого пара поступает в бункер *25* через отверстие *23*, а остальная его часть через отверстия *11*, расположенные в верхней части торцевой стенки *12* секции *2* неподвижного кожуха, после чего весь отработанный перегретый пар отводится из сушилки через патрубок *26*.

Таким образом, предлагаемая барабанная сушилка позволяет:

1) повысить качество готового материала, так как предусмотрен индивидуальный привод каждой секции перфорированного барабана и как следствие посекционная регулировка скорости вращения перфорированного барабана;

2) повысить интенсивность проведения процесса сушки свекловичного жома вследствие того, что обеспечивается посекционная сушка дисперсного материала сушильными агентами разного температурного потенциала, которые при этом не смешиваются и за счет возможности регулирования количества перегружаемого материала из одной секции барабана в другую[8].

Заключение

В результате математической обработки экспериментальных данных по сушке свекловичной стружки подогретым воздухом в условиях изменения теплового режима получены критериальные уравнения, адекватно описывающие процесс теплообмена в рассматриваемых интервалах изменения режимных параметров.

Литература

1 Арапов В.М. Моделирование конвективной сушки дисперсных продуктов на основе законов химической кинетики. Воронеж: ВГТА, 2002. 200 с.

2 Бубнов А.Р. Кинетика процесса сушки свекловичной стружки в барабанной сушилке с канальной насадкой // Материалы LX отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2021 год. Воронеж, 08–09 февраля 2022 г. С 50-51.

3 ГОСТ 34874–2022. Жом сушеный. Технические условия. М.: РУП «НПЦ НАН Беларуси по продовольствию», 2022. 12 с.

4 Singh P., Patel S. Optimization of drying parameters for agricultural products: A case study of beet pulp. Food Bioprod. Process. 2022. V. 105. P. 113–121. doi: 10.1016/j.fbp.2022.01.014.

5 Дранников А.В. Энергетический анализ технологических режимов жомосушильной установки в тепловой схеме сахарного завода // Известия вузов. Пищевая технология. 2011. № 4. С. 78–81.

6 Липин А.Г. Энергосбережение в сушильных установках: учеб. пособие. Иваново: ИГХТУ, 2012. 48 с. ISBN 978–5–9616–0433–4. URL: https://e.lanbook.com/book/4539 (дата обращения: 02.02.2025).

7 Липин А.Г. Интенсификация тепловых и массообменных процессов в гетерогенных средах: монография. Иваново: ИГХТУ, 2009. 164 с. ISBN 978–5–9616–0318–7. URL: https://e.lanbook.com/book/4475 (дата обращения: 02.02.2025).

8 Пат. № 2702939, RU, F26B 11/04. Барабанная сушилка / Дранников А.В., Шевцов А.А., Куцов С.В., Квасов А.В., Бубнов А.Р. № 2018126027; заявл. 16.07.2018; опубл. 14.10.2019. Бюл. № 29.

9 Остриков А.Н., Слюсарев М.И., Желтоухова Е.Ю. Расчет и проектирование сушильных аппаратов: учеб. пособие. 2-е изд., стер. СПб.: Лань, 2022. 352 с. ISBN 978–5–8114–1953–1. URL: https://e.lanbook.com/book/212867 (дата обращения: 02.02.2025).

10 Akpinar E.K., Toraman S. Heat Mass Trans. 2015. V. 8. №. 2. P. 110–123.

11 Waewsak J., Chindaruksa S., Punlek C. Mathematical modeling of hot air drying for some agricultural products. Thammasat Int. J. Sci. Tech. 2006. V. 11. № 1. P. 14–20.

12 Doymaz I. Energy Conv. Manag. 2012. V. 56. P. 199–205.

13 Asadi M. Sugar Beet Handbook. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2006.

14 Иващук О.С., Атаманюк В., Чижович Р., Болдырев С. Исследование кинетических закономерностей фильтрационной сушки свекловичной стружки // Вестник ВГУИТ. 2024. № 4. С. 179–185.

15 Петрова Н.А., Сидоров И.В. Влияние температуры сушильного агента на кинетику сушки свекловичной стружки // Вестник ВГУИТ. 2023. № 2. С. 45–50.

16 Иващук О.С., Атаманюк В., Чижович Р., Болдырев С. Исследование эффективности фильтрационной сушки свекловичной стружки // Экологические проблемы энергетики. 2024. Т. 9. № 4. С. 271–277.

17 Thompson L.T., Stokes K. Innovations in drying techniques for feed materials // Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering. 2021. P. 143–150. doi: 10.1007/978-3-030-28112-9_18.

18 Liu X. et al. Influence of drying temperature and air flow rate on the drying characteristics of beetroot slices // Energy in Agriculture. 2021. Vol. 28. P. 85–92. doi: 10.1016/j.enga.2021.02.004.

19 Smith J.L. Drying Technology in Agriculture and Food. 2nd ed. Elsevier, 2019.

20 Zhang H. et al. Influence of drying temperature on the drying kinetics of beetroot slices // Drying Technology. 2020. Vol. 38. No. 6. P. 1–8. doi: 10.1080/07373937.2019.1649336.

References

1 Arapov V.M. Modeling convective drying of dispersed products based on the laws of chemical kinetics. Voronezh, VGTA, 2002. 200 p. (in Russian)

2 Bubnov A.R. Kinetics of beet pulp drying in a drum dryer with a channel nozzle. Proc. of the LX Scientific Conf. of VSUET staff. Voronezh, February 8–9, 2022.pp. 50-51. (in Russian).

3 GOST 34874–2022. Dried pulp. Technical specifications. Minsk: RUE 'Scientific and Practical Center of NAS of Belarus for Food', 2022. 12 p. (in Russian).

4 Singh P., Patel S. Optimization of drying parameters for agricultural products: A case study of beet pulp. Food Bioprod. Process. 2022. vol. 105. pp. 113–121. doi: 10.1016/j.fbp.2022.01.014.

5 Drannikov A.V. Energy analysis of process modes of a beet pulp drying unit in the thermal scheme of a sugar plant. Food Technology. 2011. no. 4. pp. 78–81. (in Russian).

6 Lipin A.G. Energy saving in drying plants: textbook. Ivanovo: IGHTU, 2012. 48 p. ISBN 978–5–9616–0433–4. Available at: https://e.lanbook.com/book/4539 (accessed: 02.02.2025). (in Russian).

7 Lipin A.G. Intensification of heat and mass transfer processes in heterogeneous media: monograph. Ivanovo: IGHTU, 2009. 164 p. ISBN 978–5–9616–0318–7. Available at: https://e.lanbook.com/book/4475 (in Russian).

8 Drannikov A.V., Shevtsov A.A., Kutsov S.V., Kvasov A.V., Bubnov A.R. Drum dryer. Patent RF, no. 2702939, 14.10.2019. (in Russian).

9 Ostrikov A.N., Slyusarev M.I., Zheltoukhova E.Yu. Calculation and design of drying units: textbook. 2nd ed. SPb.: Lan, 2022. 352 p. ISBN 978–5–8114–1953–1. Available at: https://e.lanbook.com/book/212867 (accessed: 02.02.2025). (in Russian).

10 Akpinar E.K., Toraman S. Heat Mass Trans. 2015. vol. 8. no. 2. pp. 110–123.

11 Waewsak J., Chindaruksa S., Punlek C. Mathematical modeling of hot air drying for some agricultural products. Thammasat Int. J. Sci. Tech. 2006. vol. 11. no. 1. pp. 14–20.

12 Doymaz I. Energy Conv. Manag. 2012. vol. 56. pp. 199–205.

13 Asadi M. Sugar Beet Handbook. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2006.

14 Ivashchuk O.S., Atamanyuk V., Chizhovich R., Boldyrev S. Study of kinetic patterns of filtration drying of beet pulp. Proceedings of VSUET. 2024. no. 4. pp. 179–185. (in Russian).

15 Petrova N.A., Sidorov I.V. Influence of drying agent temperature on the kinetics of beet pulp drying. Proceedings of VSUET. 2023. no. 2. pp. 45–50. (in Russian).

16 Ivashchuk O.S., Atamanyuk V., Chizhovich R., Boldyrev S. Study of the efficiency of filtration drying of beet pulp. Ecological Problems of Energy. 2024. vol. 9. no. 4. pp. 271–277. (in Russian).

17 Thompson L.T., Stokes K. Innovations in drying techniques for feed materials. Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering. 2021. pp. 143–150. Springer. doi: 10.1007/978-3-030-28112-9_18.

18 Liu X. et al. Influence of drying temperature and air flow rate on the drying characteristics of beetroot slices. Energy in Agriculture. 2021. vol. 28. pp. 85–92. doi: 10.1016/j.enga.2021.02.004.

19 Smith J.L. Drying Technology in Agriculture and Food. 2nd ed. Elsevier, 2019.

20 Zhang H. et al. Influence of drying temperature on the drying kinetics of beetroot slices. Drying Technology. 2020. vol. 38. no. 6. pp. 1–8. doi: 10.1080/07373937.2019.1649336.

Сведения об авторах

Алексей В. Дранников д.т.н., декан, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, drannikov@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-3060-8688

Николай Ю. Ситников к.т.н., директор по комбикормовому производству, ГК РУСМИТ, ул. Мира, Каширское, Воронежская обл., 396350, Россия,), sit-work@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-3690-6336

Алексей Р. Бубнов аспирант, ассистент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, alex.bubnov.97@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6532-5509

Виталий Ю. Овсянников д.т.н., профессор,, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ows2003@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-9388-6303

Константин К. Полянский д.т.н., профессор, кафедра управления социально-экономическими системами и бизнес-процессами, Воронежский филиал Российского экономического, ул. Карла Маркса, 67А, Воронеж, 394030, Россия, mto.vrn@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8817-1466

Information about authors

Alexey V. Drannikov Dr. Sci. (Engin.), dean, machines and apparatuses of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, drannikov@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-3060-8688

Nikolay Yu. Sitnikov Cand. Sci. (Engin.), feed production director, GK RUSMIT, st. Mira, Kashirskoe, Voronezh region, 396350, Russia, sit-work@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-3690-6336

Alexey R. Bubnov graduate student, assistant, machines and apparatuses of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, alex.bubnov.97@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6532-5509

Vitaly Yu. Ovsyannikov Dr. Sci. (Engin.), professor, machines and apparatuses of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ows2003@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-9388-6303

Konstantin K. Polyansky Dr. Sci. (Engin.), professor, management of socio-economic systems and business processes, 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

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 24/12/2024	**После редакции** 14/01/2025	**Принята в печать** 24/01/2025

Received 24/12/2024	**Accepted in revised** 14/01/2025	**Accepted** 24/01/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-47-53 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.8.047:536.24 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Исследование влияния основных факторов на производительность распылительной сушки экстракта солодкового корня

Елена В. Соколова [1] k_sokolova93@mail.ru 0000-0003-2663-1786
1 Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия

Аннотация. Распылительная сушка жидких материалов растительной природы, в том числе экстрактов, позволяет получать тонкодисперсные порошки качественной конечной продукции, исключая при этом перегрев высушиваемого материала при высокой интенсивности протекания тепломассообменных процессов. Солодка на сегодняшний день имеет широкую сферу использования в производстве различных продуктов пищевой промышленности. Для внедрения в производственную практику распылительной сушки экстракта солодкового корня требуется выполнение комплексных экспериментально – аналитических исследований по статике, кинетике и моделированию процесса распылительной сушки. Цель исследования состоит в изучении влияния основных факторов: начальной влажности и температуры сушильного агента на производительность распылительной сушки экстракта солодкового корня. Экспериментальные исследования выполнялись по многофакторному полному плану, а для обработки результатов был использован статистический метод. Для совершенствования процесса распылительной сушки удельная производительность рабочего объема сушильной камеры по экстракту солодкового корня (исходному экстракту) была принята как целевая функция, поскольку она соответствует массе исходного экстракта, сушку которого проводили до принятой конечной влажности, в единице рабочего объема сушильной камеры в единицу времени. При организации непрерывного процесса распылительной сушки на установке YC-015 была определена эмпирическая зависимость для вычисления объема сушильной камеры, задействованного в момент проведения процесса сушки, при различных комбинациях факторов, имеющих влияние на процесс. Результаты позволили определить экспериментальное время сушки до влажности $W_к$=0,05кг/кг и численные значения рассчитанных параметров процесса распылительной сушки экстракта солодкового корня. Анализ полученных результатов вычислений и их графической интерпретации показывает, что повышение значений температуры сушильного агента обусловливает рост значений целевой функции по причине интенсификации процессов влагоудаления из диспергированных капель экстрактного раствора солодкового корня.

Ключевые слова: экстракт солодкового корня, растительное сырье, распылительная сушка, производительность распылительной сушки, интенсификация сушки.

Study on the influence of main factors on the performance of spray drying of licorice root extract

Elena V. Sokolova [1] k_sokolova93@mail.ru 0000-0003-2663-1786
1 Astrakhan State Technical University, st. Tatishcheva, building 16/1, Astrakhan, 414056, Russia

Abstract. Spray drying of liquid plant materials, including extracts, allows obtaining fine powders of high-quality final products, while eliminating overheating of the dried material at high intensity of heat and mass transfer processes. Today, licorice has a wide range of applications in the production of various food products. To implement spray drying of licorice root extract in production practice, it is necessary to perform complex experimental and analytical studies on statics, kinetics and modeling of the spray drying process. The purpose of the study is to study the influence of the main factors: initial humidity and temperature of the drying agent on the productivity of spray drying of licorice root extract. Experimental studies were carried out according to a multifactorial complete plan, and a statistical method was used to process the results. To improve the spray drying process, the specific productivity of the working volume of the drying chamber for the licorice root extract (initial extract) was adopted as the target function, since it corresponds to the mass of the initial extract, which was dried to the adopted final moisture content, in a unit of the working volume of the drying chamber per unit of time. When organizing a continuous spray drying process on the YC-015 unit, an empirical dependence was determined for calculating the volume of the drying chamber involved at the time of the drying process, with various combinations of factors affecting the process. The results made it possible to determine the experimental drying time to a moisture content of $W_к$=0.05 kg/kg and the numerical values of the calculated parameters of the spray drying process of the licorice root extract. Analysis of the obtained calculation results and their graphical interpretation shows that an increase in the temperature of the drying agent causes an increase in the values of the target function due to the intensification of the processes of moisture removal from the dispersed droplets of the licorice root extract solution.

Keywords: licorice root extract, plant material, spray drying, spray drying performance, drying intensification.

Введение

Распылительная сушка жидких материалов растительной природы, в том числе экстрактов, позволяет получать тонкодисперсные порошки качественной конечной продукции, исключая при этом перегрев высушиваемого материала при высокой интенсивности протекания тепломассообменных процессов, что подтверждается многочисленными современными исследованиями [1–3] и отмечается в классических работах по теории сушки И.А. Рогова, А.В. Лыкова, А.С. Гинзбурга, Г.К. Филоненко.

Солодка является одним из самых коммерчески ценных растений в мире и имеет широкую сферу использования в производстве различных продуктов пищевой промышленности [4].

Для организации процессов жидких материалов растительной природы, в том числе экстракта солодкового корня, используются

Для цитирования
Соколова Е.В. Исследование влияния основных факторов на производительность распылительной сушки экстракта солодкового корня // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 47–53. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-47-53

For citation
Sokolova E.V. Study on the influence of main factors on the performance of spray drying of licorice root extract. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 47–53. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-47-53

© 2025, Соколова Е.В. / Sokolova E.V.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

различные виды сушки. В частности, в технологии получения сухого порошка экстракта солодкового корня известно применение микроволновой [5, 6], вакуумной [5], ультразвуковой [6], сублимационной сушки [7].

Известен способ получения порошка корня солодки [5], полученного методом электромагнитного пиролиза с использованием микроволновой и вакуумной сушки. Метод включает в себя несколько технологических этапов. Первый этап включает в себя нарезку, предварительную обработку корня, помещение в высокочастотное переменное электромагнитное поле для электромагнитной крекинг-обработки с целью достижения молекулярного нагрева до 100–110 ℃ и крекинг корня солодки и в завершении сушка материала до содержания влаги менее 10%. На втором этапе происходит подготовка к экстракции, а именно измельчение материла до размера частиц 0.177–0.178 мм, добавление 15–30% по весу этанола и перемешивание на протяжении 1–3 часов. На третьем этапе предлагаемого способа полученную смесь подвергают ультразвуковой экстракции, далее полученный материал подвергается разделению на пульпу, а полученную пульпу концентрируют, сушат и измельчают для получения электромагнитного крекирующего порошка солодки. В данном методе сушка на первом технологическом этапе может осуществляться различными способами, но предпочтение отдается микроволновой сушке. На третьем же технологическом этапе сушка выполняется с использованием вакуумного сушильного бака для сушки материала до содержания влаги 10% или менее. Преимуществом данного способа является экономия времени, снижение количества используемого растворителя и потребления энергии, а также значительное снижение себестоимости продукции. Однако вышеописанный метод является довольно сложным, поскольку экстракция проводится специфическим методом, который состоит из электромагнитного крекинга в сочетании с ультразвуковой экстракцией и дополняется.

В способе низкотемпературной ультразвуковой экстракции полисахарида солодки [6] главной задачей было интенсифицировать процесс экстракции полисахарида солодки и повысить чистоту экстракции. В данном изобретении под низкотемпературной экстракцией понимается экстракция при температуре 50–70 ℃с применением ультразвука для повышения эффективности процесса получения экстракта, также с помощью ультразвука происходит сушка при низком давлении и температуре 40–60 °С в ультразвуковой машине. Сушка с помощью микроволнового излучения также является преимуществом, поскольку данная технология позволяет интенсифицировать процесс влагоудаления, что позволяет повысить эффективность при получении полисахарида солодки.

С целью получения функциональных компонентов из солодки предложен комбинированный метод экстракции, в котором одной из технологических операций является вакуумная сублимационная сушка [7]. Метод включает последовательное замачивание корня солодки в виде порошка с размером частиц 0,5–3,0 мм. в воде от 30 минут до 2 часов и настаивание в воде при температуре 95–100 °С на протяжении 1–2 часов для получения водного экстракта, количество замачиваний в воде составляет 2–3 раза; проведение спиртового осаждения водной вытяжки на протяжении 10–12 часов с получением спиртовой осадочной жидкости и спиртового осадительного продукта. Последующая обработка включает первую последующую обработку с помощью сушки или вторую последующую обработку с последовательным восстановлением и вакуумной сублимационной сушкой. Преимущество данного метода в синхронном и эффективном извлечении глицирризиновой кислоты высокой чистоты и глицирризинового полисахарида. Массовая доля глицирризиновой кислоты в экстракте солодки, полученном по предложенному способу, составляет 7,3–7,9%.

Однако вышеописанный метод имеет ряд недостатков, среди которых продолжительность проведения процесса экстракции.

Одним из наиболее распространенных способов сушки растительных экстрактов является распылительная сушка. Используемая ранее в молочной промышленности, в данный момент распылительная сушка получила широкое распространение во всей пищевой промышленности. Например, с помощью распылительной сушки сушат мёд [8, 9], эмульсии рыбьего жира в воде [10], рыбные бульоны [11], производят мясные порошки [12, 13], растительные экстракты [1–3, 14, 15].

Для внедрения в производственную практику распылительной сушки экстракта солодкового корня требуется выполнение комплексных экспериментально – аналитических исследований по статике, кинетике и моделированию процесса распылительной сушки.

Цель работы – исследование влияния начальной влажности и температуры сушильного агента, которые являются основными факторами,

на производительность распылительной сушки экстракта солодкового корня.

Объекты и методы исследования

При исследовании процесса сушки использовались экстракт солодкового корня (*Glycyrrhiza glabra*), выращенного в Красноярском районе Астраханской области. Экстракт солодкового корня получен в научно-исследовательской лаборатории «Пищевые системы и биотехнологии» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет».

Объект сушки – экстракт солодкового корня с начальной влажностью $W_н$ = 0,85–0,95 кг/кг, которая достигается в результате вакуум-выпаривания. Диапазон варьирования исходной влажности обоснован в результате выполнения предварительных постановочных экспериментов по распылительной сушке и выбран из условия качественного распыления экстракта в объем рабочей камеры сушилки.

Влажность высушенного экстракта (порошок) $W_к \leq$ 0,045–0,05 кг/кг обоснована при исследовании гигроскопических характеристик.

Изучение кинетики процесса сушки экстракта солодкового корня выполнено с использованием распылительной сушилки модели YC-15.

Результаты и обсуждение

При выполнении постановочных предварительных исследований по сушке экстракта солодкового корня установлены основные факторы (начальная влажность $W_н$ = 0,85–0,95 кг/кг и температура сушильного агента $Tc.a.$ = 403–423 К), которые могу оказывать воздействие на то, насколько эффективно протекает процесс, а также характер протекания данного процесса.

На основе исследований и полученных выводов, описанных в работе [16], ряд факторов было принято считать постоянными.

В ходе проведенных исследований конвективная распылительная сушка экстракта солодкового корня выполнялась при заданных параметрах режима:

– Средний диаметр распыленных частиц продукта 5–15 мкм;

– Начальная влажность экстракта солодкового корня: $W_н$ = 0,85–0,95 кг/кг (уровни варьирования: 0,85 кг/кг, 0,9 кг/кг, 0,95 кг/кг) и исходная температура $T_{прод}$ = 313–323 К;

– Конечная влажность сухого экстракта солодкового корня (порошок) $W_к \leq$ 0,045–0,05 кг/кг, температура 323 ± 5 К, средний диаметр частиц 1–5 мкм;

– Характеристики конвективного энергоподвода: температура нагретого воздуха $Tc.a.$ = 403 – 423 К (исходный сушильный агент) при удельном расходе воздуха $Qc.a. \geq$ 100 кг/кг на 1 кг испаренной влаги (уровни варьирования: 403 К, 413 К, 423 К), температура воздуха на выходе сушилки 343 ± 5 К. (отработавший сушильный агент).

Экспериментальные исследования выполнялись по многофакторному полному плану, а для обработки результатов использован статистический метод.

Получение экспериментальных кривых сушки экстракта солодкового корня $W(\tau)$ (в качестве примеров, представлены на рисунках 1–3), где τ – время процесса, проводилось по лабораторной методике А.С. Гинзбурга путем измерения массы проб, отобранных из зоны сушки на определенных участках, до и после их высушивания и расчета текущей влажности проб. Участки отбора проб соответствуют определенному времени пребывания высушиваемых частиц экстракта в сушильной камере и воздуховодов.

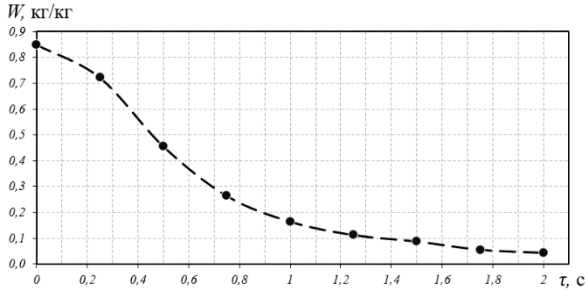


Рисунок 1. Кривая сушки экстракта солодкового корня $W_н$ = 0,85 кг/кг, $Tc.a.$ = 403 К

Figure 1. Drying curve of licorice root extract $W_н$ = 0.85 kg/kg, $Tc.a.$ = 403 K

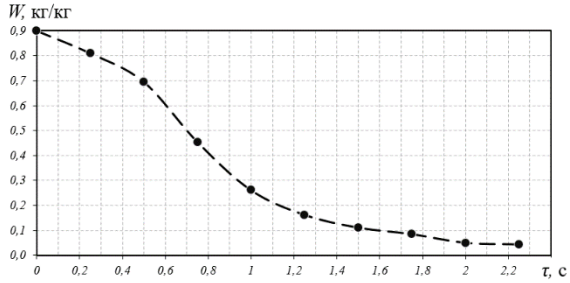


Рисунок 2. Кривая сушки экстракта солодкового корня $W_н$ = 0,9 кг/кг, $Tc.a.$ = 413 К

Figure 2. Drying curve of licorice root extract $W_н$ = 0.9 kg/kg, $Tc.a.$ = 413 K

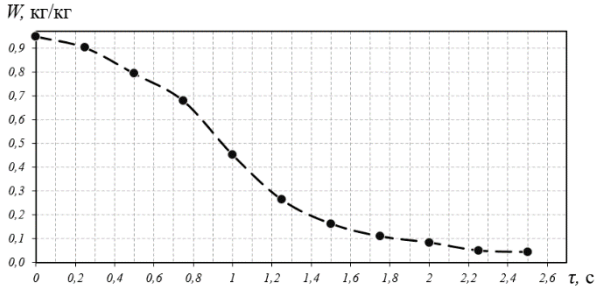


Рисунок 3. Кривая сушки экстракта солодкового корня *Wн* = 0,95 кг/кг, *Тс.а.* = 423 К

Figure 3. Drying curve of licorice root extract W*н* = 0.95 kg/kg, *Тс.а.* = 423 K

На кривых сушки экстракта солодкового корня (рисунки 1–3) четко наблюдаются два характерных участка. На начальной стадии сушки до точки перегиба при влажности экстракта 0,2–0,3 кг/кг, отмечается интенсивное влагоудаление при всех исследуемых режимах и повышении скорости до максимума, причем для данного периода характерно удаление преимущественно свободной влаги при отсутствии значительного нагрева материала. На второй стадии, которая именуется периодом падающей скорости сушки, обезвоживание рабочего материала осуществляется за счет удаления связанной влаги, в большей части, полимолекулярной адсорбционно-связанной влаги.

На основе проведенного поисково-аналитического исследования и дальнейшего анализа главных постулатов ряда научно-исследовательских работ [9, 11, 17] для улучшения процесса распылительной сушки удельная производительность рабочего объема сушильной камеры по экстракту солодкового корня (исходному экстракту) *P*, кг/(м^3·ч) была принята как целевая функция, поскольку она соответствует массе исходного экстракта, сушку которого проводили до принятой конечной влажности, в единице рабочего объема сушильной камеры в единицу времени:

$$P = Q/V, \quad (1)$$

где Q – массовый расход исходного экстракта, кг/ч; V – задействованный рабочий объем камеры для достижения конечной влажности экстракта, м^3.

Затрачиваемое на сушку материала время должно количественно соответствовать тому времени, которое распыленные частицы материала находятся в рабочем объеме сушильной камеры.

Время, на протяжении которого распыленные частицы экстракта солодкового корня находятся в рабочем объеме сушильной камеры, зависит от ряда факторов: скорости, температуры, влагосодержания и других параметров потока сушильного агента; параметров распыления экстракта; переменной в процессе обезвоживания скорости витания частиц экстракта; условий активного аэродинамического взаимодействия продукта и сушильного агента и других факторов.

При организации непрерывного процесса распылительной сушки на установке YC-015 была определена эмпирическая зависимость для вычисления объема сушильной камеры, задействованного в момент проведения процесса сушки, *V*, м^3 при различных комбинациях факторов, имеющих влияние на процесс:

$$V = 0,0204 \cdot \tau_c, \quad (2)$$

Для того чтобы сделать выводы о том, насколько различные режимы сушки экстракта солодкового корня эффективны и рациональны необходимо брать в расчет зависимость удельной производительности по высушенному продукту (порошок) *П*, кг / (м^3·ч) и удельной влагонапряженности рабочего объема сушильной камеры *B*, кг / (м^3·ч):

$$П = Q_{Wк}/V, \quad (3)$$

где $Q_{Wк}$ – производительность по высушенному продукту, кг/ч.

Учитывая взаимосвязь удельной производительности и влагонапряженности получена следующая зависимость:

$$B = P - П = П \cdot (W_н - W_к)/(1 - W_н), \quad (4)$$

Результаты исследований позволили определить экспериментальное время сушки τ_c с помощью кривых сушки до влажности *Wк* = 0,05 кг/кг и численные значения рассчитанных параметров процесса распылительной сушки экстракта солодкового корня, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры процесса распылительной сушки экстракта солодкового корня

Table 1.

Parameters of Spray Drying Process of Licorice Root Extract

№ эксп. Experiment number	*Tc.a.*, K *Tc.a.*, K	*Wн*, кг/кг *Wн*, kg/kg	τ_c, с τ_c, s	*V*, м^3 *V*, m^3	*П*, кг / (м^3·ч) *P*, kg / (m^3 h)	*B*, кг / (м^3·ч) V, kg / (m^3 h)	*P*, кг / (м^3·ч) *WV*, kg / (m^3 h)
1	403	0,85	1,9	0,0388	2,037	10,863	12,900
2	413	0,85	1,7	0,0347	2,276	12,141	14,418
3	423	0,85	1,7	0,0347	2,276	12,141	14,418
4	403	0,9	2,1	0,0428	1,229	10,443	11,671
5	413	0,9	2	0,0408	1,290	10,965	12,255
6	423	0,9	1,9	0,0388	1,358	11,542	12,900
7	403	0,95	2,5	0,0510	0,516	9,288	9,804
8	413	0,95	2,4	0,0490	0,537	9,675	10,212
9	423	0,95	2,2	0,0449	0,586	10,554	11,141

Применяя математический метод точного попадания в узловые точки и после математических преобразований установлены функциональные зависимости целевой функции, влагонапряженности и удельной производительности и с целью анализа построены поля значений данных параметров процесса сушки экстракта солодкового корня (рисунки 4–6).

$$П(Wн, Tc.a.) = (-0,22519538 \cdot Wн^2 + 0,418701183 \cdot Wн - 0,1943904763) \cdot Tc.a.^2 + \\ +(186,52483138 Wн^2 - 346,856014545 \cdot Wн + 161,0650607369) \cdot Tc.a. + \\ +(-38576,6115540203 \cdot Wн^2 - 71732,4748657355 \cdot Wн - 33308,0379429518) \quad (5)$$

$$B(Wн, Tc.a.) = \frac{(Wн - Wк)}{(1 - Wн)} \cdot П(Wн, Tc.a.) \quad (6)$$

$$P(Wн, Tc.a.) = П(Wн, Tc.a.) + B(Wн, Tc.a.) \quad (7)$$

Размерность эмпирических коэффициентов определяется как отношение размерности функции к размерности аргумента (или произведения аргументов).

Аналитическое исследование полученных результатов вычислений и их графическое выражение (рисунки 4–6) позволяет сделать ввод, что повышение значений температуры сушильного агента *Tc.a.* обусловливает рост значений целевой функции *P* по причине интенсификации процессов влагоудаления из диспергированных капель экстрактного раствора солодкового корня. Рост значений целевой функции *P* при уменьшении начальной влажности экстрактного раствора *Wн* также очевиден, вследствие уменьшения общего количества удаляемой при сушке влаге. При увеличении *P*, соответственно, отмечается увеличение значений, ее составляющих – удельной производительности по высушенному продукту *П* и влагонапряженности *B*.

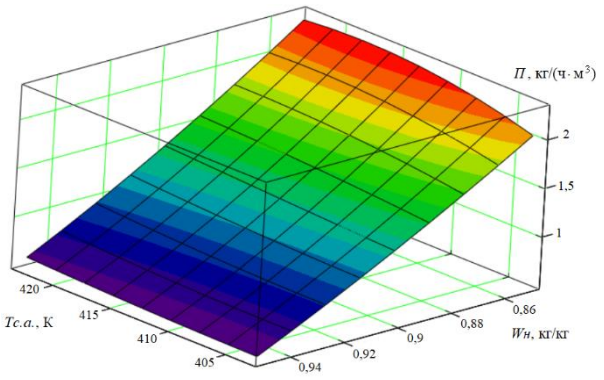


Рисунок 4. Поле значений удельной производительности рабочего объема сушильной камеры по значениям высушенного продукта при сушке экстракта солодкового корня

Figure 4. Field of values of specific productivity of the working volume of the drying chamber according to the values of the dried product when drying licorice root extract

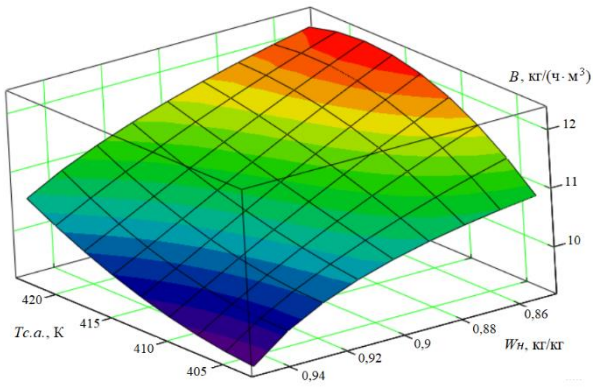


Рисунок 5. Поле значений влагонапряженности рабочего объема сушильной камеры при сушке экстракта солодкового корня

Figure 5. Field of moisture tension values of the working volume of the drying chamber during drying of licorice root extract

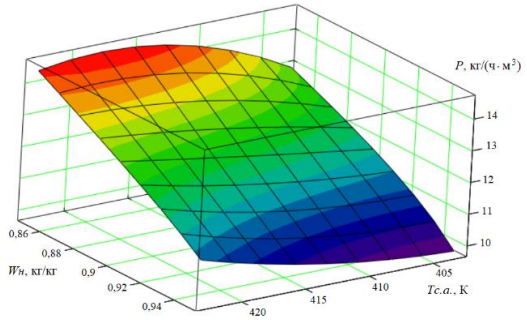


Рисунок 6. Поле значений удельной производительности рабочего объема сушильной камеры по количественным значениями исходного экстракта солодкового корня

Figure 6. Field of values of specific productivity of the working volume of the drying chamber according to quantitative values of the initial licorice root extract

Изменение начальной температуры сушильного агента в диапазоне $Tc.a$ = 403–423 К, который определен в ходе предварительных экспериментов, и регистрации на выходе из сушилки температуры сушильного агента равной 343 ± 5 К, позволяет получать сухую форму экстракта солодкового корня (тонкодисперсный порошок) требуемого качества и без перегрева материала при сушке выше 328 ± 5 К.

С учетом ряда рекомендаций [11, 16, 17], а также, учитывая свойства экстрактного раствора и подходы к организации процесса его вакуум-выпаривания перед сушкой, принят диапазон варьирования начальной влажности $W_н$ = 0,85–0,95 кг/кг.

В обозначенных диапазонах изменения $Tc.a.$ = 403–423 К и $W_н$ = 0,85–0,95 кг/кг при сушке экстрактного раствора солодкового корня достигаются значения производительности, которые соответствуют производительности промышленных распылительных сушильных установок при сушке жидких пищевых систем.

На основе выполненных исследований и используя полученные аппроксимирующие зависимости (5), (6) и (7) был сделан вывод о том, что практическая реализация разработанных режимов для распылительной сушки экстракта солодкового корня даст возможность получения сухого экстракта, характеризующегося значениями параметрами удельной производительности $П$ = 0,516–2,306 кг/(м^3·ч); влагонапряженности сушильной камеры B = 9,804–12,301 кг/(м^3·ч); удельной производительности по исходному экстракту P = 9,288–14,607 кг/(м^3·ч).

Заключение

Установленные аппроксимирующие зависимости рекомендуется применять для расчета производительности промышленных распылительных сушильных установок для различных технологических режимов на производстве сухого экстракта солодкового корня.

Литература

1 Аванесов В.М., Плаксин Ю.М., Стрелюхина А.Н., Ларин В.А. Производство дисперсных растительных продуктов методом распылительной сушки // Хранение и переработка сельхозсырья. 2016. № 5. С. 9–13.

2 Myriam C. Rojas Salas, Héctor J. Ciro Velásquez, Jesús H. Gil Gonzalez. Spray drying of sisal liquids extracts (Furcraea spp.): Overall performance of the drying process // Powder Technology. 2017. Т. 321. С. 163–172. doi: 10.1016/j.powtec.2017.08.005.

3 Магомедов М.Г., Чусова А.Е., Полянский К.К., Пронина О.В., Романова О.Н. Технология и аппаратурное оформление распылительной сушки растворов стевии // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. Т. 81. № 3 (81). С. 81–85. doi: 10.20914/2310–1202–2019–3–81–85.

4 Wahab S., Annadurai S., Abullais S.S., Das G., Ahmad W., Ahmad M.F., Kandasamy G., Vasudevan R., Ali M.S., Amir M. Glycyrrhiza glabra (Licorice): A Comprehensive Review on Its Phytochemistry, Biological Activities, Clinical Evidence and Toxicology // Plants. 2021. Т. 10. С. 2751. doi: 10.3390/plants10122751.

5 CN104352551 Licorice root powder obtained through electromagnetic pyrolysis and preparation method and application of licorice root powder : заявл. 11.05.2023 : опубл. 08.08.2023 / Chen Jianle, Wang Qi, Ye Xingqian, Kwak Dong-Ki, Cheng Huan, Chen Shiguo.

6 CN111253499 Method for low-temperature ultrasonic extraction of glycyrrhiza polysaccharide : заявл. 06.04.2020 : опубл. 09.06.2020 / Lai Zuogang, Song Fei.

7 CN116554257 Combined extraction method for functional factors of liquorice : заявл. 11.05.2023 : опубл. 08.08.2023 / Chen Jianle, Wang Qi, Kwak Dong-Ki, Cheng Huan, Chen Shiguo.

8 Jedlińska A., Samborska K., Wieczorek A., Wiktor A., Ostrowska-Ligęza E., Jamróz W., и др. Применение осушенного воздуха при распылительной сушке рапса и меда падевого — характеристики процесса и свойства порошков // Journal of Food Engineering. 2019. Т. 245. С. 80–87. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.10.017.

9 Жунева Л.С., Семченко М.В., Асякина Л.К. Анализ процесса получения сухого меда // Хранение и переработка сельхозсырья. 2019. № 2. С. 8–23. doi: 10.36107/spfp.2019.69.

10 Wang Q., Xie Y., Xiong Z., Gu X., Nie X., Lan Y., Chen B. Structural and physical properties of spray-dried fish oil microcapsules via pea protein isolate based emulsification or complex coacervation with sugar beet pectin // Journal of Food Engineering. 2022. Т. 335. С. 111173. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2022.111173.

11 Максименко Ю.А., Коннова О.И., Алексанян И.Ю., Мемедейкина Н.П. Перспективные конструкторские решения для сушки жидких пищевых систем // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2024. № 1. С. 116–122. doi: 10.24143/2073–5529–2024–1–116–122.

12 Long Jade M., Mohan A. Development of meat powder from beef byproduct as value-added food ingredient // LWT. 2021. Т. 146. С. 111460. doi: 10.1016/j.lwt.2021.111460.

13 Gagneten M., Corfield R., Gómez Mattson M., Sozzi A., Leiva G., Salvatori D., Schebor C. Spray-dried powders from berries extracts obtained upon several processing steps to improve the bioactive components content // Powder Technology. 2019. Т. 342. С. 1008–1015. doi: 10.1016/j.powtec.2018.09.048.

14 Новикова И.В., Агафонов Г.В., Коротких Е.А., Магомедов М.Г., Голубева Л.В. Математическое моделирование процесса распылительной сушки солодовых экстрактов // Хранение и переработка сельхозсырья. 2014. № 11. С. 44–48.

15 Gagneten M., Corfield R., Gómez Mattson M., Sozzi A., Leiva G., Salvatori D., Schebor C. Spray-dried powders from berries extracts obtained upon several processing steps to improve the bioactive components content // Powder Technology. 2019. Т. 342. С. 1008–1015. doi: 10.1016/j.powtec.2018.09.048.

16 Шевцов А.А., Дерканосова А.А., Коротаева А.А., Муравьев А.С. Моделирование процесса распылительной сушки суспензии протеинового зеленого концентрата (ПЗК) // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 1 (63). С. 51–57.

17 Moradi Maryamnegari S., Ashrafizadeh A., Baake E., Guglielmi M. Effects of thermal boundary conditions on the performance of spray dryers // Journal of Food Engineering. 2023. Т. 338. С. 111250. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2022.111250.

References

1 Avanesov V.M., Plaksin Yu.M., Strelyukhina A.N., Larin V.A. Production of dispersed plant products by spray drying. Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya. 2016. no. 5. pp. 9–13. (in Russian)

2 Rojas Salas M.C., Ciro Velásquez H.J., Gil Gonzalez J.H. Spray drying of sisal liquids extracts (Furcraea spp.): Overall performance of the drying process. Powder Technology. 2017. vol. 321. pp. 163–172. doi: 10.1016/j.powtec.2017.08.005.

3 Magomedov M.G., Chusova A.E., Polyansky K.K., Pronina O.V., Romanova O.N. Technology and apparatus design of spray drying of stevia solutions. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy. 2019. vol. 81. no. 3(81). pp. 81–85. doi: 10.20914/2310–1202–2019–3–81–85. (in Russian)

4 Wahab S., Annadurai S., Abullais S.S., Das G., Ahmad W., Ahmad M.F. et al. Glycyrrhiza glabra (Licorice): A comprehensive review on its phytochemistry, biological activities, clinical evidence and toxicology. Plants. 2021. vol. 10. 2751. doi: 10.3390/plants10122751.

5 CN104352551. Licorice root powder obtained through electromagnetic pyrolysis and preparation method and application of licorice root powder. Decl. 11.05.2023. Publ. 08.08.2023 / Chen, J., Wang, Q., Ye, X., Kwak, D.K., Cheng, H., Chen, S.

6 CN111253499. Method for low-temperature ultrasonic extraction of glycyrrhiza polysaccharide. Decl. 06.04.2020. Publ. 09.06.2020 / Lai, Z., Song, F.

7 CN116554257. Combined extraction method for functional factors of liquorice. Decl. 11.05.2023. Publ. 08.08.2023 / Chen, J., Wang, Q., Kwak, D.K., Cheng, H., Chen, S.

8 Jedlińska A., Samborska K., Wieczorek A., Wiktor A., Ostrowska-Ligęza E., et al. The application of dehumidified air in rapeseed and honeydew honey spray drying – Process performance and powders properties considerations. Journal of Food Engineering. 2019. vol. 245. pp. 80–87. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.10.017.

9 Zhuneva L.S., Semchenko M.V., Asyakina L.K. Analysis of the process of obtaining dry honey. Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya. 2019. no. 2. pp. 8–23. doi: 10.36107/spfp.2019.69. (in Russian)

10 Wang Q., Xie Y., Xiong Z., Gu X., Nie X. et al. Structural and physical properties of spray-dried fish oil microcapsules via pea protein isolate based emulsification or complex coacervation with sugar beet pectin. Journal of Food Engineering. 2022. vol. 335. pp. 111173. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2022.111173.

11 Maksimenko Yu.A., Konnova O.I., Aleksanyan I.Yu., Memedeykina N.P. Promising engineering solutions for drying of liquid food systems. Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoye khozyaystvo. 2024. no. 1. pp. 116–122. doi: 10.24143/2073–5529–2024–1–116–122. (in Russian)

12 Long J.M., Mohan A. Development of meat powder from beef byproduct as value-added food ingredient. LWT. 2021. vol. 146. pp. 111460. doi: 10.1016/j.lwt.2021.111460.

13 Kurozawa L.E., Park K.J., Hubinger M.D. Effect of maltodextrin and gum arabic on water sorption and glass transition temperature of spray dried chicken meat hydrolysate protein. Journal of Food Engineering. 2009. vol. 91. no. 2. pp. 287–296. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.09.006.

14 Novikova I.V., Agafonov G.V., Korotkikh E.A., Magomedov M.G., Golubeva L.V. Mathematical modeling of the spray drying process of malt extracts. Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya. 2014. no. 11. pp. 44–48. (in Russian)

15 Gagneten M., Corfield R., Gómez Mattson M., Sozzi A., Leiva G. et al. Spray-dried powders from berries extracts obtained upon several processing steps to improve the bioactive components content. Powder Technology. 2019. vol. 342. pp. 1008–1015. doi: 10.1016/j.powtec.2018.09.048.

16 Shevtsov A.A., Derkanosova A.A., Korotaeva A.A., Muravyov A.S. Modeling of spray drying process of protein green concentrate suspension. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy. 2015. no. 1(63). pp. 51–57. (in Russian)

17 Moradi Maryamnegari S., Ashrafizadeh A., Baake E., Guglielmi M. Effects of thermal boundary conditions on the performance of spray dryers. Journal of Food Engineering. 2023. vol. 338. 111250. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2022.111250.

Сведения об авторах

Елена В. Соколова ассистент, кафедра технологические машины и оборудование, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия, k_sokolova93@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-2663-1786

Information about authors

Elena V. Sokolova assistant, Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University, st. Tatishcheva, building 16/1, Astrakhan, 414056, Russia, k_sokolova93@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-2663-1786

Вклад авторов

Елена В. Соколова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

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

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Поступила 31/01/2025	**После редакции** 05/02/2025	**Принята в печать** 11/02/2025
Received 31/01/2025	**Accepted in revised** 05/02/2025	**Accepted** 11/02/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-54-63 Оригинальная статья/Research article
УДК 625.3 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Исследование показателей качества жирных кислот, полученных при переработке соапстоков по трехстадийной технологии

Александр Н. Остриков	[1]	ostrikov27@yandex.ru	0000-0002-2335-0017
Максим В. Копылов	[1]	kopylov-maks@ya.ru	0000-0003-2678-2613
Наталия И. Цапкина	[1,2]	eco-agro12@mail.ru	.
Анастасия В. Терёхина	[1]	gorbatova.nastia@ya.ru	0000-0003-4433-9615
Виталий Н. Василенко	[1]	vvn_1977@mail.ru	0000-0002-1547-9814

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 ООО "Синтез-Ойл", Воронежская область, Репьёвский район, село Репьёвка, Торговый пер., д.11а, 396370, Россия

Аннотация. Из соапстоков по комбинированной трехстадийной технологии, включающей три последовательных этапа: первый – омыление исходного сырья раствором гидроксида натрия, второй – высаливание хлоридом натрия; третий – двухэтапный гидролиз и разложение раствором сначала серной кислоты с концентрацией 10–12%, а затем серной кислотой с концентрацией 80–92%, были получены жирных кислот. Были определены органолептические, физико-химические и другие показатели качества полученных при выявленных рациональных условиях жирных кислот. Установлено, что фракционный состав полученных жирных кислот соответствовал характеристикам жирных кислот светлых масел первого сорта, что свидетельствует о их высоком качестве. Жирные кислоты имеют следующие показатели: массовая доля влаги и летучих веществ – 1,8%, массовая доля общего жира – 97,1%, глубина расщепления олеиновой кислоты – 64,3%. Сравнительный анализ физико-химических показателей жирных кислот, полученных тремя способами: разложением серной кислотой, омылением и разложением серной кислотой и омылением, высаливанием и разложением серной кислотой показал, что концентрации основных жирных кислот (стеариновой, олеиновой, линолевой) кислоты, полученные третьим способом (омылением, высаливанием и разложением серной кислотой), были выше, чем полученные первыми двумя способами.

Ключевые слова: соапстоки, жирные кислоты, омыление, высаливание, разложение, жирные кислоты, показатели качества, технология.

Study of quality indicators of fatty acids obtained during soapstock pro-cessing by three-stage technology

Aleksandr N. Ostrikov	[1]	ostrikov27@yandex.ru	0000-0002-2335-0017
Maksim V. Kopylov	[1]	kopylov-maks@ya.ru	0000-0003-2678-2613
Natalia I. Tsapkina	[1,2]	eco-agro12@mail.ru	.
Anastasia V. Terekhina	[1]	gorbatova.nastia@ya.ru	0000-0003-4433-9615
Vitalii N. Vasilenko	[1]	vvn_1977@mail.ru	0000-0002-1547-9814

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
2 LLC"Sintez-Oil", 396370, Voronezh Region, Repyevka District, Repyovka Village, Torgovy Lane, 11a

Abstract. Fatty acids were obtained from soapstocks by a combined three-stage technology, which includes three consecutive stages: the first is saponification of the feedstock with a sodium hydroxide solution, the second is salting out with sodium chloride; the third is a two-stage hydrolysis and decomposition with a solution of sulfuric acid with a concentration of 10–12%, and then with sulfuric acid with a concentration of 80–92%. The organoleptic, physicochemical and other quality indicators of the fatty acids obtained under the rational conditions identified were determined. It was found that the fractional composition of the fatty acids obtained corresponded to the characteristics of fatty acids in first-grade light oils, indicating their high quality. The fatty acids have the following indicators: mass fraction of moisture and volatile substances – 1.8%, mass fraction of total fat – 97.1%, depth of oleic acid cleavage – 64.3%. Comparative analysis of the physicochemical indicators of fatty acids obtained by three methods: decomposition with sulfuric acid, saponification and decomposition with sulfuric acid and saponification, salting out and decomposition with sulfuric acid showed that the concentrations of the main fatty acids (stearic, oleic, linoleic acid) obtained by the third method (saponification, salting out and decomposition with sulfuric acid) were higher than those obtained by the first two methods.

Keywords: soapstocks, fatty acids, saponification, salting out, decomposition, fatty acids, quality indicators, technology.

Для цитирования
Остриков А.Н., Копылов М.В., Цапкина Н.И., Терёхина А.В., Василенко В.Н. Исследование показателей качества жирных кислот, полученных при переработке соапстоков по трехстадийной технологии // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 54–63. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-54-63

For citation
Ostrikov A.N., Kopylov M.V., Tsapkina N.I., Terekhina A.V., Vasilenko V.N. Study of quality indicators of fatty acids obtained during soapstock pro-cessing by three-stage technology. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 54–63. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-54-63

© 2025, Остриков А.Н. и др. / Ostrikov A.N. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Технологии переработки соапстоков растительных масел занимают большое внимание ученых, занимающихся проблемой комплексной переработки такового важного отхода масложировой промышленности, как соапстоки, так как именно они определяют эффективность производства и качество получаемого жирных кислот.

В работе [1] исследовали условия разложения хлопкового соапстока серной кислотой с предварительным гидролизом соапстока.

В работе [7] представлены результаты исследования трех способов получения жирных кислот из соапстока: обработка серной кислотой; омыление и кислотная обработка; омыление, промывка раствором хлорида натрия и кислотная обработка.

Недостатком исследования является отсутствие данных о влиянии параметров обработки соапстока на выход и качество жирных кислот, так как показатели жирных кислот влияют не только на качество и выход сложных эфиров, но и на рентабельность производства биодизельного топлива из жирных кислот. Кислотное расщепление соапстока в конце этапа нейтрализации позволяет извлекать свободных жирных кислот из мыл и способствует частичному гидролизу масла, тем самым увеличивая количество свободных жирных кислот в конечных кислых маслах, но все еще оставляя непрореагировавшие триглицериды.

В работе [12] исследован двухстадийный способ получения жирных кислот из соапстока с использованием омыления раствором едкого натра и разложения серной кислотой. Особенностью работы является изучение влияния условий омыления соапстока на основные показатели эффективности извлечения жирных кислот: выход и число нейтрализации. Образец соапстока получен в результате щелочной нейтрализации подсолнечного масла. Определены рациональные условия омыления: продолжительность 85 мин. и концентрация раствора едкого натра 45%. После омыления соапстока его подвергали разложению серной кислотой при следующих условиях: температура 90 °С, продолжительность 40 мин. При рациональных условиях омыления определяли выход жирных кислот 91,8% и число нейтрализации 187,1 мг КОН/г. Использование стадии омыления соапстока перед разложением приводит к улучшению качественных показателей и увеличению числа нейтрализации жирных кислот на 4%, выхода – на 16,2% Результаты исследования позволяют получать жирные кислоты из соапстока по двухстадийной технологии с высоким выходом и числом нейтрализации.

Хамданов М.Б. [3] предложил технологию производства жирных кислот из хлопковых соапстоков. Предварительно хлопковый соапсток подогревается и перемешивался с водой. Затем вводилось в зависимости от содержания мыла в соапстоке необходимое количество концентрированной серной кислоты. После достижения необходимой глубины разложения полученная масса разделялась на слои при отстаивании. Отделенный слой жировой смеси подвергается обработке серной кислотой. При этом образовавшийся соапсточный жир подвергался двухстадийному расщеплению с отделением кислых вод после каждой стадии расщепления. В результате были получены жирных кислот с глубиной расщепления 94,8–95,6%, кислотным числом 168,3–175,0 мг КОН и содержанием влаги 0,35–0,51%.

В работе [13] исследуется получение жирных кислот из соапстока с использованием разложения серной кислотой. Определены рациональные условия обработки соапстока: температура 90–95 °С, продолжительность 40 мин. При этих условиях выход жирных кислот составляет 79,0%, число нейтрализации – 180,0 мг КОН/г. Но в работе рассматривается только один способ получения жирных кислот, данные о способах увеличения выхода жирных кислот отсутствуют.

Согласно [8], наиболее приемлемым способом удаления жирных кислот из соапстока является обработка серной кислотой.

В [10] представлены научные результаты по этерификации жирных кислот, полученных из соапстока, в котором содержание жирных кислот составило 65,5%, а содержание серной кислоты 10400 мг/кг. Для снижения содержания серной кислоты соапсток предварительно промывали раствором едкого натра, что увеличило выход и улучшило качество метиловых эфиров. Однако не показано влияние условий обработки соапстока раствором щелочи на качество и выход жирных кислот, а также на эксплуатационные характеристики метиловых эфиров.

Авторы [9] исследовали соапстоки, полученные при рафинации пальмового масла, в качестве сырья для получения этиловых эфиров. Сначала липидную часть соапстока омыляли 50% раствором гидроксида натрия, после чего натриевые соли использовали в производстве эфиров. Недостатком исследования является отсутствие данных о влиянии омыления соапстока на эффективность получения жирных кислот (выход и качество).

В [4] приведены данные о получении метиловых эфиров жирных кислот из соевого соапстока. Наиболее эффективным методом является полное омыление соапстока с последующей кислотной обработкой. Это позволяет получать жирные кислоты с концентрацией около 90%. Однако отсутствуют данные о влиянии условий омыления соапстока на качество жирных кислот и информация о подсолнечном соапстоке.

Перспективным является предварительное омыление соапстока с целью повышения эффективности извлечения жирных кислот. Однако отсутствуют данные о рациональных условиях проведения этого процесса, которые позволят получать жирные кислоты с максимальным выходом и улучшенным качеством. Поэтому нерешенным вопросом является определение рациональных условий двухстадийной переработки соапстока с использованием омыления, а также влияние предварительного омыления соапстока на качество и выход жирных кислот.

Перспективной технологией является переработка мыльного сырья в жирные кислоты путем омыления и последующего высаливания для повышения эффективности извлечения жирных кислот. Согласно литературным данным [5, 6, 7, 11, 13], имеется мало информации взаимосвязи между условиями высаливания омыленного мыльного сырья и выходом и качеством жирных кислот. Таким образом, исследование по определению рациональных условий получения жирных кислот из мыльного сырья, включая стадии омыления, высаливания и разложения серной кислотой, является актуальной научной задачей.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования использовался соапсток из растительных (подсолнечного и рапсового) масел, который имел следующий состав: массовая доля общего жира 8–50%, в т. ч. мыл. 8–30%, нейтральный жир 1–20%, вода и различные нежировые компоненты, в том числе небольшие количества, не прореагировавшего NaOH, NaCI, красящих веществ, фосфатидов, белков и углеводов.

Соапсток по органолептическим и физико-химическим показателям соответствовал требованиям ГОСТа 30266–2017, приведенным в таблице 1.

В разработанной трехстадийной технологии переработки соапстоков использовались следующие вспомогательные материалы:

– гидрооксид натрия (NaOH – каустическая сода) для щелочного омыления гидратированного растительного масла;

– хлорид натрия (NaCl) для высаливания полученной после щелочного омыления массы в качестве выводящего агента;

– кислота серная техническая ($H_2 SO_4$) для кислотного гидролиза мыльной сердцевины.

Таблица 1.

Характеристика соапстока

Table 1.

Characterization of the soapstock

Показатель	Характеристика Characteristic
Цвет | Color	От желтого до темно-коричневого с оттенком цвета исходного масла | Yellow to dark brown with a hint of the color of the original oil
Прозрачность | Transparency	Не прозрачное | Not transparent
Запах Smell	Специфический, свойственный соапстоку, полученному из различных масел и жиров; допускается слабый запах продуктов разложения органических веществ | Specific, characteristic of soapstock obtained from various oils and fats; A faint smell of decomposition products of organic substances is allowed
Консистенция при 20 °С | Consistency at 20 °С	Жидкая и мазеобразная | Liquid and ointment-like
Кислотное число, мг КОН/г, не менее Acid number, mg KOH/g, not less than	80–180
Цветное число, мг йода, не более Colored number, mg iodine, not more than	60–90
Массовая доля общего жира, % не менее Mass fraction of total fat, % not less than	96
Массовая доля нейтрального жира, %, не менее Mass fraction of neutral fat, %, not less than	15,0
Массовая доля влаги и летучих веществ, %, не более Mass fraction of moisture and volatile substances, %, not more than	3
Температура застывания, °С, не выше Pour point, °С, not higher than	16
Массовая доля нежировых примесей, %, не более Mass fraction of non-fat impurities, %, not more than	1
Массовая доля сводных жирных кислот, %, не менее Mass fraction of consolidated fatty acids, %, not less than	40–90
Содержание серы, ppm, не более Sulphur content, ppm, not more than	100
Содержание фосфора, ppm, не более Phosphorus content, ppm, not more than	130

Используемые реагенты соответствовали требованиям ГОСТов: гидроксид натрия (каустическая сода) (NaOH) – ГОСТ 11078–78, хлорид натрия (NaCI) – ГОСТ Р 51574–2000, серная кислота ($H_2 SO_4$) – ГОСТ 2184–77.

Для проведения исследований использовались следующие реагенты и материалы: спирт этиловый ректификованный, дистиллированная вода, гидроксид натрия, фенолфталеин, метиловый оранжевый, серная кислота, этиловый эфир, хлористый натрий.

Органолептические показатели жирных кислот, массовую долю влаги определяли стандартными методами. Были изучены физико-химические характеристики соапстоков: содержание мыла и жирных кислот в исходном соапстоке определяли по ГОСТ 5480–59, кислотное число – по ГОСТ 31933–2012, содержание неомыляемых веществ ГОСТ 5479–64, число омыление ГОСТ 5478–2014, перекисное число ГОСТ Р51487–99, концентрацию водородных ионов измерили с помощью иономера марки И-160МИ, массовую долю жирных кислот определяли методом жидкостной хроматографии. Соапстоки имели следующие показатели: цвет – от темно-коричневого до светло-коричневого, консистенция при 20 °С – текучая маслообразная жидкость тёмного цвета со специфическим запахом. При этом технические характеристики соапстока были следующие: кислотное число, мг КОН/г – от 60 до 170; средний состав жирных кислот соапстока: C_{14}–1,62%, C_{16}–46,8%, C_{18}–21,4%; средняя молекулярная масса 276; титр – от 0 до 10° С; массовая доля неомыляемых веществ – 2,0%; содержание свободных жирных кислот (в пересчёте на олеиновую кислоту) – 46,82%.

Массовая доля общего жира, массовая доля жирных кислот определяются стандартными методами согласно ТУ 10–04–02–80–9.

Число нейтрализации НЧ рассчитывается по формуле:

$$НЧ = \frac{V \cdot 28,05 \cdot K}{P}, \qquad (1)$$

где V – количество $см^3$ 0,5 Н. раствора гидроксида калия, используемого для титрования; 28.05 – титр ровно 0,5 Н раствора КОН, умноженный на 1000; K – поправка к титру 0,5 н. раствора гидроксида калия; P – доля жирных кислот, г.

Качественные показатели соапстока приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Качественные показатели соапстока

Table 2.

Qualitative indicators of soapstock

Показатель Index	Характеристики Characteristics
Цвет | Color	Коричневый | Brown
Консистенция при температуре 20 °С | Consistency at 20 °С	Пастообразная | Paste-like
Запах | Smell	Характерный для соапстока подсолнечного масла | Characteristic of sunflower oil soapstock
Массовая доля влаги и летучих веществ, % Mass fraction of moisture and volatile substances, %	15.4
Массовая доля общего жира, % | Mass fraction of total fat, %	71,9
Массовая доля жирных кислот, % | Mass fraction of fatty acids, %	64,5
Массовая доля нейтральных жиров, % | Mass fraction of neutral fats, %	7,4

Исследование химического состава исходного соапстока проводили в соответствие с ГОСТ 31663–2012 (Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров жирных кислот), который соответствует международному стандарту ISO 5508:1990 Animal and vegetable fats and oils — Analysis by gas chromatography of methyl esters offайу acids.

Результаты

Для снижения потерь жирных кислот и сокращение количества сточных вод, была разработана трехстадийная технология получения жирных кислот из соапстоков (рисунок 1) включающая в свой состав [2]:

– щелочное омыление гидратированного растительного масла раствором гидроксида натрия концентрацией 30–45% в течение 240 мин при температуре 90–95 °С до pH 10–11 при перемешивании до получения мыльного клея с содержанием щелочи 0,2–0,3%;

– высаливание полученной массы хлоридом натрия концентрацией 16–20% в течение 75–80 мин и последующее разделение путем отстаивания полученной массы в течение 2 часов для разделения на три слоя – нижний – мыльная щелочь, средний – клеевое мыло, верхний – мыльная сердцевина;

– кислотный гидролиз мыльной сердцевины в два этапа:

а) на первом этапе – серной кислотой с концентрацией 10–12% при температуре гидролиза 110–115 °С в течение 40 мин;

б) на втором этапе – серной кислотой с концентрацией 80–92% при температуре разложения

90 °С в течение 85 мин до pH 2,0–2,5 при перемешивании массы до полного разложения мыла,

– отстаивание в течение 2 часов для отделения второй сульфатной воды;

– полученные жирные кислоты промывают водным конденсатом и подвергают дистилляции до полного отсутствия серной кислоты и сульфата натрия.

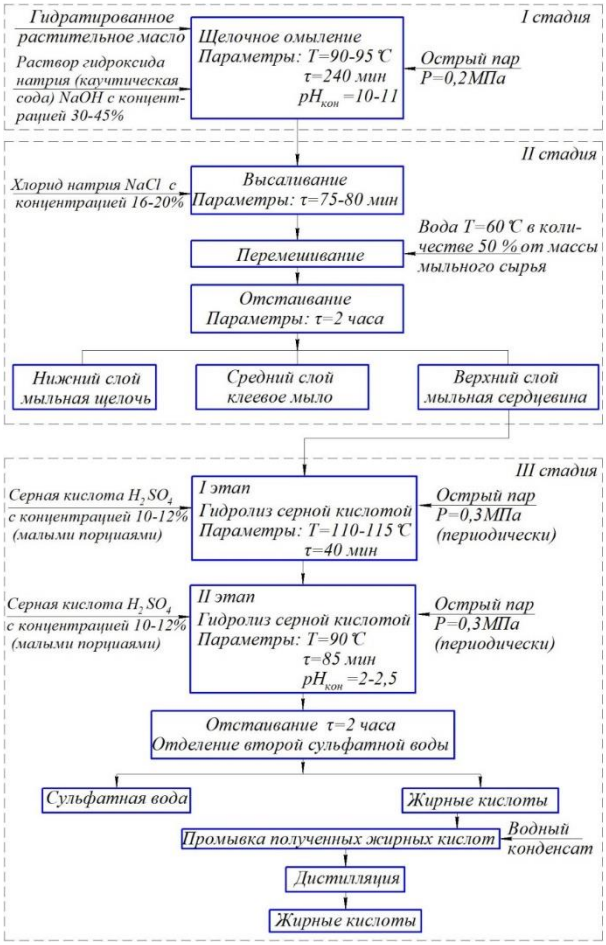


Рисунок 1. Трехстадийная технология получения жирных кислот из соапстоков

Figure 1. Three-stage technology of fatty acids production from soapstocks

Отличительными признаками способа являются последовательность стадий технологии и технологические режимы процессов.

Жирно-кислотный состав подсолнечного и рапсового соапстока представлен в таблицах 3 и 4.

Определены органолептические и физико-химические показатели жирных кислот (таблица 5).

Определены качественные показатели жирных кислот, полученных при установленных рациональных условиях (таблица 6).

Фракционный состав жирных кислот растительных масел выполнен испытательной лабораторией ООО «ИЛ Тест-Пущино» приведен (Приложение 1) и приведен в таблица 7.

Таблица 3.

Жирно-кислотный состав подсолнечного соапстока

Table 3.

Жирно-кислотный состав подсолнечного соапстока

Жирная кислота Fat acid	Массовая доля жирной кислоты, (% к сумме жирных кислот) Mass fraction of fatty acid, (% of total fatty acids)
C14:0 миристиновая myristic	До 0,2
C16:0 пальмитиновая palmitic	5,0–7,6
C16:1 пальмитолеиновая palmitoleic	До 0,3
C18:0 стеариновая stearin	2,7–6,5
C18:1 олеиновая | oleic	14,0–39,4
C18:2 линолевая | linoleic	48,3–77,0
C18:3α линоленовая linolenic	До 0,3
C20:0 арахиновая pearichine	До 0,5
C20:1 гондоиновая gondoin	До 0,3
C22:0 бегеновая | begen	0,3–1,5
C24:0 лигноцериновая lignocerin	До 0,5

Таблица 4.

Жирно-кислотный состав рапсового соапстока (% к сумме жирных кислот) из семян с низким и высоким содержанием эруковой кислоты

Table 4.

Fatty acid composition of rapeseed soapstock (% to the sum of fatty acids) from seeds with low and high erucic acid content

Жирная кислота | Fat acid	Массовая доля жирных кислот в маслах, % Mass fraction of fatty acid, %	
	с массовой долей эруковой кислоты до 5%	с массовой долей эруковой кислоты, более 5%
1	**2**	**3**
C14:0 миристиновая | myristic	До 0,3	–
C16:0 пальмитиновая | palmitic	2,5–6,5	1–6,5
C16:1 пальмитолеиновая | palmitoleic	до 0,6	До 2,5
C18:0 стеариновая | stearin	0,8–2,5	До 2,5
C18:1 олиновая | oliin	50,0–65,0	7,5–60,0
C18:2 линолевая | linoleic	15,0–25,0	11,0–23,0
C18:3 линоленовая | linolenic	7,0–15,0	5,0–12,0
C20:0 арахиновая | pearichine	0,1–2,5	До 3,0
C20:1 гондоиновая | gondoin	0,1 – 4,0	3,5–6,0

Продолжение таблицы 4 | Continuation of table 4

1	2	3
C20:2 Эйкозадиеновая | eicozadiene	до 1,0	0,5–1,0
C22:0 бегеновая | begen	до 1,0	0,6–2,5
C22:1 эруковая | erucic	до 5,0	Св. 5,0 – 60,0
C22:2 Докозадиеновая | docosadiene	до 0,5	0,6 – 2,5
C24:0 лигноцериновая | tetracosan lignocerin	до 0,2	до 2,0
C24:1 селахолеиновая | selacholeic	до 0,5	До 3,5

Таблица 5.

Органолептические и физико-химические показатели жирных кислот

Table 5.

Organoleptic and physicochemical parameters of fatty acids

Показатель Index	Характеристика Characteristic
Прозрачность | Transparency	Не прозрачное Not transparent
Запах | Smell	Специфический резкий, свойственный данному продукту Specific sharp, inherent in this product
Кислотное число, мг КОН/г, не менее | Acid number, mg KOH/g, not less than	80–180
Цветное число, мг йода, не более | Colored number, mg iodine, not more than	60–90
Массовая доля общего жира, % не менее | Mass fraction of total fat, % not less than	96
Массовая доля влаги и летучих веществ, %, не более Mass fraction of moisture and volatile substances, %, not more than	3
Температура застывания, °С, не выше | Pour point, °С, not higher than	16
Массовая доля нежировых примесей, %, не более Mass fraction of non-fat impurities, %, not more than	1
Массовая доля сводных жирных кислот, %, не менее Mass fraction of consolidated fatty acids, %, not less than	40–90
Содержание серы, ppm, не более | Sulphur content, ppm, not more than	100
Содержание фосфора, ppm, не более | Phosphorus content, ppm, not more than	130
Холодный тест | Cold test	не нормируется

Таблица 6.

Качественные показатели полученных жирных кислот

Table 6.

Qualitative parameters of the obtained fatty acids

Показатель | Index	Знач. | Value
Массовая доля влаги и летучих веществ, % | Mass fraction of moisture and volatile substances, %	1,8
Массовая доля общего жира, % | Mass fraction of total fat, %	97,0
Глубина расщепления, % олеиновой кислоты | Depth of cleavage, % oleic acid	64,5
Наличие минеральных кислот | Presence of mineral acids	нет

Таблица 7.

Фракционный состав жирных кислот растительных масел

Table 7.

Fractional composition of fatty acids of vegetable oils

Показатель Index	Содержание	Показатель Index	Содержание
С 4:0 масляная к-та, % C 4:0 oil content, %	<0,05	С 20:1 n9 cis гондоиновая к-та, % C 20:1 n9 cis gondoin acid, %	0,14
С 6:0 капроновая к-та, % C 6:0 nylon acid, %	<0,05	С 20:1 n11 cis гадолеиновая к-та, % C 20:1 n11 cis gadoleic acid, %	<0,05
С 8:0 каприловая к-та, % C 8:0 caprylic acid, %	0,17	С 20:1 cis сумма цис-изомеров, % C 20:1 cis sum of cis-isomers, %	0,14
С 10:0 каприновая к-та, % C 10:0 capric acid, %	0,19	С 20:2 n6 эйкозадиеновая к-та, % C 20:2 n6 eicosadiene acid, %	<0,05
С 10:1 деценовая / капролеиновая к-та, % C 10:1 decene/caproleic acid, %	<0,05	С 20:3 n3 cis 11,14,17 – эйкозатриеновая к-та, % C 20:3 n3 cis 11,14,17 – eicosatriene acid, %	<0,05
С 12:0 лауриновая к-та, % C 12:0 lauric acid, %	3,25	С 20:3 n6 cis дигомо-гамма-линоленовая к-та, % C 20:3 n6 cis dihomo-gamma-linolenic acid, %	<0,05
С 14:0 миристиновая к-та, % C 14:0 myristic acid, %	1,71	С 20:3 cis сумма цис-изомеров, % C 20:3 cis sum of cis-isomers, %	<0,05
С 14:1 миристолеиновая к-та, % C 14:1 myristoleic acid, %	<0,05	С 20:4 n3 cis 8,11,14,17 – эйкозатетраеновая к-та, % C 20:4 n3 cis 8,11,14,17 – eicosatetraene acid, %	<0,05
С 15:0 пентадекановая к-та, % C 15:0 pentadecanic acid, %	<0,05	С 20:4 n6 cis арахидоновая к-та, % C 20:4 n6 cis arachidonic acid, %	<0,05
С 15:1 цис-10-пентадеценовая к-та, % C 15:1 cis10pentadecene value, %	<0,05	С 20:4 cis сумма цис-изомеров, % C 20:4 cis sum of cis-isomers, %	<0,05
С 16:0 пальмитиновая к-та, % C 16:0 palmitic acid, %	23,45	С 20:5 n3 эйкозапентаеновая к-та, % C 20:5 n3 eicosapentaenoic acid, %	<0,05

Показатель Index	Содержание	Показатель Index	Содержание
С 16:1 пальмитолеиновая к-та, % C 16:1 palmitoleic acid, %	0,14	С 20:4 бегеновая к-та, % C 20:4 begen acid, %	0,44
С 17:0 маргариновая к-та, % C 17:0 margarine acid, %	0,09	С 22:1 n9 cis эруковая к-та, % C 22:1 n9 cis erucic acid, %	<0,05
С 17:1 гептадеценовая к-та, % C 17:1 heptadecene acid, %	<0,05	С 22:1 n11 cis цетолеиновая к-та, % C 22:1 n11 cis cetoleic acid, %	<0,05
С 18:0 стеариновая к-та, % C 18:0 stearic acid, %	5,45	С 22:1 cis сумма цис-изомеров, % C 22:1 cis sum of cis-isomers, %	<0,05
С 18:1 n9 cis олеиновая к-та, % C 18:1 n9 cis oleic acid, %	27,73	С 22:2 n6 докозадиеновая к-та, % C 22:2 n6 docosadiene acid, %	<0,05
С 18:1 trans сумма транс-изомеров, % C 18:1 trans sum of trans isomers, %	0,72	С 22:4 n6 докозатетраеновая к-та, % C 22:4 n6 docosatetetraene acid, %	<0,05
С 18:1 сумма цис- и транс-изомеров, % C 18:1 sum of cis- and trans-isomers, %	28,45	С 22:5 n3 докозапентаеновая к-та, % C 22:5 n3 docosapentaenoic acid, %	0,07
С 18:2 n6 cis линолевая к-та, % C 18:2 n6 cis linoleic acid, %	34,33	С 22:6 n3 докозагексаеновая к-та, % C 22:6 n3 docosahexaenoic acid, %	<0,05
С 18:2 n6 trans сумма транс-изомеров, % C 18:2 n6 trans sum of trans isomers, %	0,24	С 24:0 лигноцериновая к-та, % C 24:0 lignoceric acid, %	0,25
С 18:2 сумма цис- и транс-изомеров, % C 18:2 sum of cis- and trans-isomers, %	34,57	С 24:1 n9 нервоновая к-та, % C 24:1 n9 nerve acid, %	<0,05
С 18:3 n3 cis альфа-линоленовая к-та, % C 18:3 n3 cis alpha-linolenic acid, %	1,00	Суммарное содержание насыщенных жирных кислот, % Total content of saturated fatty acids, %	35,39
С 18:3 n6 cis гамма-линоленовая к-та, % C 18:3 n6 cis gamma-linolenic acid, %	<0,05	Суммарное содержание мононенасыщенных жирных кислот, % Total content of monounsaturated fatty acids, %	28,73
С 18:3 cis сумма цис-изомеров, % C 18:3 cis sum of cis-isomers, %	1,00	Суммарное содержание полиненасыщенных жирных кислот, % Total content of polyunsaturated fatty acids, %	35,64
С 18:3 trans сумма транс-изомеров, % C 18:3 trans sum of trans isomers, %	<0,05	Суммарное содержание транс-изомеров жирных кислот, % Total content of trans isomers of fatty acids, %	0,96
С 18:3 сумма цис- и транс-изомеров, % C 18:3 sum of cis- and trans-isomers, %	1,00	Суммарное содержание омега-3 жирных кислот, % Total content of omega3 fatty acids, %	1,07
С 18:4 n3 стеаридоновая к-та, % C 18:4 n3 stearidonic acid, %	<0,05	Суммарное содержание омега-6 жирных кислот, % Total content of omega6 fatty acids, %	34,33
С 20:0 арахиновая к-та, % | C 20:0 arachine acid, %	0,38	Другие жирные кислоты, % | Other fatty acids, %	0,10

Сравнительный анализ физико-химических показателей жирных кислот, полученных тремя способами, а именно жирных кислот, полученных разложением серной кислотой; жирные кислоты, полученные омылением и разложением серной кислотой; жирные кислоты, полученные омылением, высаливанием и разложением серной кислотой (таблица 8) показал, что концентрации основных жирных кислот (стеариновой, олеиновой, линолевой) кислоты, полученные третьим способом (омылением, высаливанием и разложением серной кислотой), были выше, чем полученные первыми двумя способами.

Таблица 8.

Сравнительный анализ содержания жирных кислот

Table 8.

Comparative analysis of fatty acid content

Жирная кислота Fatty acid Пальмитиновая С16: Palmitic C16:	Массовая доля жирной кислоты, % | Mass fraction of fatty acid, %		
	Жирные кислоты, полученные разложением серной кислотой Fatty acids obtained by decomposition of sulfuric acid	Жирные кислоты, полученные омылением и разложением серной кислотой Fatty acids obtained by saponification and decomposition with sulfuric acid	Жирные кислоты, полученные омылением, высаливанием и разложением серной кислотой Fatty acids obtained by saponification, precipitation and decomposition with sulfuric acid
Пальмитолеиновая С16:1 Palmitoleic C16:1	0	1,0	1,2
Стеариновая С18:0 Stearic S18:0	0,7	0,4	0,4
Олеиновая С18:1 | Oleic C18:1	6,9	6,0	5,5
Линолевая С18:2 | Linole C18:2	37,4	35,4	33,5
Линоленовая С18:3 | Linolenic C18:3	51,2	54,8	57
Арахиновая С20:0 | Arachinovaya S20:0	0	0	0
Гадолеиновая С20:1 Gadoleic C20:1	0,4	0,4	0,4
Бегеновая С22:0 | Begenova S22:0	0,8	0,3	0,3
Лигноцериновая С24:0 Lignoceric C24:0	1,2	0,9	0,9
Миристиновая С14:0 Myristic C14:0	0,4	0,3	0,3
Итого | Total	1,0	0,5	0,5
Жирная кислота | Fatty acid	100,0	100,0	100,0

Заключение

1. Фракционный состав жирных кислот полученных растительных масел соответствуют характеристикам жирных кислот светлых масел первого сорта показывают высокое качество выделенных жирных кислот. Жирные кислоты имеют следующие показатели: массовая доля влаги и летучих веществ – 1,8%, массовая доля общего жира – 97,1%, глубина расщепления олеиновой кислоты – 64,3%. Жирные кислоты соответствуют жирным кислотам первого сорта, полученным без омыления в соответствии с ГОСТ 5479–64. Масла растительные и натуральные жирные кислоты. Метод определения неомыляемых веществ.

2. Сравнительный анализ физико-химических показателей жирных кислот, полученных тремя способами, показал, что концентрации основных жирных кислот (стеариновой, олеиновой, линолевой) кислоты, полученные по трехстадийной технологии (омылением, высаливанием и разложением серной кислотой) были выше, чем полученные первыми двумя способами.

Литература

1 Абдикамалова А.Б., Шарипова А.Ш., Артикова Г.Н., Сейтназарова О.М., Исмайлов Б.М. Способы выделения жирных кислот из мыла // Современные инновации. 2016. № 6(8). С. 12–14.

2 Патент № 2836916. РФ, МПК C11B 11/00. Способ получения жирных кислот из соапстоков растительных масел / Остриков А.Н., Копылов М.В., Цапкина Н.И.; заявитель ФГБОУ ВО «ВГУИТ». № 2024125531; Заявл. 30.08.2024; Опубл. 24.03.2025. Бюл. № 9.

3 Хамдамов М.Б. Исследование возможности совершенствования технологии производства жирных кислот из хлопковых соапстоков // Multidisciplinary Scientific Journal. 2022. Т. 1. № 2. С. 385–388.

4 Alishahi A., Golmakani M., Niakousari M. Feasibility study of microwave assisted biodiesel production from vegetable oil refinery waste // European Journal of Lipid Science and Technology. 2021. Vol. 123. No. 9. P. 2000377.

5 Barbusinski K., Fajkis S., Szeląg B. Optimization of soapstock splitting process to reduce the concentration of impurities in wastewater // Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 280. P. 124459.

6 Casali B., Brenna E., Parmeggiani F., Tessaro D., Tentori F. Enzymatic methods for the manipulation and valorization of soapstock from vegetable oil refining processes // Sustainable Chemistry. 2021. Vol. 2. No. 1. P. 74–91.

7 Demidov I., Sytnik N., Mazaeva V. Sunflower and problem alternative fuel in Ukraine // Naukovo-tekhnichnyi Biuleten Instytutu Oliynykh Kultur NAAN. 2014. № 21. С. 137–146.

8 Dunn R.O. Correlating the cloud point of biodiesel with its fatty acid methyl ester composition: Multiple regression analyses and the weighted saturation factor (wSF) // Fuel. 2021. Vol. 300. P. 120820.

9 Ferrero G.O., Faba E.M.S., Eimer G.A. Biodiesel production from alternative raw materials using a heterogeneous low ordered biosilicified enzyme as biocatalyst // Biotechnology for Biofuels. 2021. Vol. 14. No. 67. 11 p. https://doi.org/10.1186/s13068-021-01917-x

10 Mashhadi F., Habibi A., Varmira K. Enzymatic production of green epoxides from fatty acids present in soapstock in a microchannel bioreactor // Industrial Crops and Products. 2018. Vol. 113. P. 324–334.

11 Pantoja S., Mescouto V., Costa C., Zamian J., Rocha Filho G., Nascimento L. High-quality biodiesel production from Buriti (Mauritia flexuosa) oil soapstock // Molecules. 2018. Vol. 24. No. 1. P. 94.

12 Sytnik, N., Kunitsia, E., Kalyna, V. et al. Technology development of fatty acids obtaining from soapstok using saponification // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 5. No.6. P. 16–23.

13 Sytnik, N., Kunitsia, E., Mazaeva, V. et. al. Rational conditions of fatty acids obtaining by soapstock treatment with sulfuric acid // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 4. No.6. P. 6–13.

14 Kalyna, V., Koshulko, V., Ilinska, O. et. al. Development of soapstock processing technology to ensure waste-free and safe production // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 6. No. 10(114). P. 23–29. doi: 10.15587/1729-4061.2021.245094

15 Haas M. J. Improving the economics of biodiesel production through the use of low value lipids as feedstocks: vegetable oil soapstock // Fuel processing technology. 2005. Vol. 86. No. 10. P. 1087-1096.

16 Корчагин В.И., Протасов А.В., Мельнова М.С., Черкасова Т.Ю., Кобзарева В.Ю. Лимитирующие факторы при получении прооксидантов с использованием смеси жирных кислот, выделенных из соапстока // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2017. Т. 79. № 1. С. 222–226. doi: 10.20914/2310-1202-2017-1-222-226

17 Birta G., Levoshko N., Knysh V. et. al. Identifying rational conditions for etherification of sunflower soapstock fatty acids // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2025. Vol. 2. No. 6(134). P. 6. doi: 10.15587/1729-4061.2025.326031

18 Shamuratov S.K.U., Karimov S.K., Baltaev U.S., Achilova S.S., Abdullayeva G.U.Q. Research into the study of saponification kinetics in the extraction of fatty acids from soapstock. Academic Research in Educational Sciences. 2022. No. 4. P. 807-811. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/research-into-the-study-of-safonification-kinetics-in-the-extraction-of-fatty-acids-from-soapstock. (дата обращения: 04.06.2025).

19 Терёхина А.В., Щербаков М.Н. Исследование жирнокислотного состава растительных масел // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2023. Т. 85. № 1. С. 111–117. doi: 10.20914/2310-1202-2023-1-111-117

20 Хамдамов М.Б. Исследование возможности совершенствования технологии производства жирных кислот из хлопковых соапстоков // Research and Education. 2022. Т. 1. № 2. С. 385–388.

21 Панина Е.В., Королькова Н.В., Сорокина И.А., и др. Ресурсосберегающие технологии при производстве растительного масла // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2020. № 1. С. 74–81.

22 Буклагин Д.С. Глубокая переработка масличных культур // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК. 2021. С. 42–48.

References

1 Abdikamalova A.B., Sharipova A.Sh., Artikova G.N., Seitnazarova O.M., Ismailov B.M. Methods of isolating fatty acids from soap. Sovremennye Innovatsii. 2016. no. 6(8). pp. 12–14. (in Russian).

2 Ostrikov A.N., Kopylov M.V., Tsapkina N.I. Method for obtaining fatty acids from vegetable oil soapstocks. Patent RU 2836916. 2025. Bulletin no. 9. Application no. 2024125531, filed 30.08.2024, published 24.03.2025. (in Russian).

3 Khamdamov M.B. Study of the possibilities of improving the technology for fatty acids production from cotton soapstocks. Multidisciplinary Scientific Journal. 2022. vol. 1. no. 2. pp. 385–388. (in Russian).

4 Alishahi A., Golmakani M., Niakousari M. Feasibility study of microwave assisted biodiesel production from vegetable oil refinery waste. European Journal of Lipid Science and Technology. 2021. vol. 123. no. 9. p. 2000377.

5 Barbusinski K., Fajkis S., Szeląg B. Optimization of soapstock splitting process to reduce the concentration of impurities in wastewater. Journal of Cleaner Production. 2021. vol. 280. p. 124459.

6 Casali B., Brenna E., Parmeggiani F., Tessaro D., Tentori F. Enzymatic methods for the manipulation and valorization of soapstock from vegetable oil refining processes. Sustainable Chemistry. 2021. vol. 2. no. 1. pp. 74–91. doi: 10.3390/suschem2010006.

7 Demidov I., Sytnik N., Mazaeva V. Sunflower and problem alternative fuel in Ukraine. Naukovo-tekhnichnyi Biuleten Instytutu Oliynykh Kultur NAAN. 2014. no. 21. pp. 137–146.

8 Dunn R.O. Correlating the cloud point of biodiesel with its fatty acid methyl ester composition: Multiple regression analyses and the weighted saturation factor (wSF). Fuel. 2021. vol. 300. p. 120820.

9 Ferrero G.O., Faba E.M.S., Eimer G.A. Biodiesel production from alternative raw materials using a heterogeneous low ordered biosilicified enzyme as biocatalyst. Biotechnology for Biofuels. 2021. vol. 14. no. 1.

10 Mashhadi F., Habibi A., Varmira K. Enzymatic production of green epoxides from fatty acids present in soapstock in a microchannel bioreactor. Industrial Crops and Products. 2018. vol. 113. pp. 324–334.

11 Pantoja S., Mescouto V., Costa C., Zamian J., Rocha Filho G., Nascimento L. High-quality biodiesel production from Buriti (Mauritia flexuosa) oil soapstock. Molecules. 2018. vol. 24. no. 1. p. 94.

12 Sytnik N., Kunitsia E., Kalyna V., Petukhova O., Ostapov K., Ishchuk V., Saveliev D., Kovalova T., Kostyrkin O., Petrova O. Technology development of fatty acids obtaining from soapstock using saponification. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. vol. 5. no. 6(113). pp. 16–23. doi: 10.15587/1729-4061.2021.241942.

13 Sytnik N., Kunitsia E., Mazaeva V., Kalyna V., Chernukha A., Vazhynskyi S., Yashchenko O., Maliarov M., Bogatov O., Bolibrukh B. Rational conditions of fatty acids obtaining by soapstock treatment with sulfuric acid. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. vol. 4. no. 6(112). pp. 6–13. doi: 10.15587/1729-4061.2021.236984.

14 Kalyna V., Koshulko V., Ilinska O., Tverdokhliebova N., Tolstousova O., Bliznjuk O., Gavrish T., Stankevych S., Zabrodina I., Zhulinska O. Development of soapstock processing technology to ensure waste-free and safe production. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. vol. 6. no. 10(114). pp. 23–29. doi: 10.15587/1729-4061.2021.245094.

15 Haas M.J. Improving the economics of biodiesel production through the use of low value lipids as feedstocks: vegetable oil soapstock. Fuel Processing Technology. 2005. vol. 86. no. 10. pp. 1087–1096.

16 Korchagin V.I., Protasov A.V., Melnova M.S., Cherkasova T.Yu., Kobzareva V.Yu. Limiting factors in obtaining prooxidants using a mixture of fatty acids extracted from soapstock. Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta Inzhenernykh Tekhnologiy. 2017. vol. 79. no. 1. pp. 222–226. doi: 10.20914/2310-1202-2017-1-222-226. (in Russian).

17 Birta G., Levoshko N., Knysh V., Usenko S., Shostia A., Ovsiannikova T., Falalieieva T., Marushko L., Semenko Y., Zygin S. Identifying rational conditions for etherification of sunflower soapstock fatty acids. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2025. vol. 2. no. 6(134). p. 6. doi: 10.15587/1729-4061.2025.326031.

18 Shamuratov S.K.U., Karimov S.K., Baltaev U.S., Achilova S.S., Abdullayeva G.U.Q. Research into the study of saponification kinetics in the extraction of fatty acids from soapstock. Academic Research in Educational Sciences. 2022. no. 4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/research-into-the-study-of-safonification-kinetics-in-the-extraction-of-fatty-acids-from-soapstock. (accessed 04.06.2025).

19 Teryokhina A.V., Shcherbakov M.N. Study of fatty acid composition of vegetable oils. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 111–117. doi: 10.20914/2310-1202-2023-1-111-117. (in Russian).

20 Khamdamov M.B. Study of the possibility of improving the technology of fatty acid production from cotton soapstocks. Research and Education. 2022. vol. 1. no. 2. pp. 385–388. (in Russian).

21 Panina E.V., Korolkova N.V., Sorokina I.A., et al. Resource-saving technologies in vegetable oil production. Tekhnologii i Tovarovedenie Sel'skokhozyaistvennoi Produktsii. 2020. no. 1. pp. 74–81. (in Russian).

22 Buklagin D.S. Deep processing of oil crops. Nauchno-informatsionnoe Obespechenie Innovatsionnogo Razvitiya APK. 2021. pp. 42–48. (in Russian).

Сведения об авторах

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

Максим В. Копылов к.т.н., доцент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kopylov-maks@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-2678-2613

Наталия И. Цапкина аспирант, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, eco-agro12@mail.ru
.

Анастасия В. Терёхина к.т.н., доцент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, gorbatova.nastia@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-4433-9615

Виталий Н. Василенко д.т.н., профессор, зав. кафедрой, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-тРеволюции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, vvn_1977@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1547-9814

Information about authors

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

Maksim V. Kopylov Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kopylov-maks@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-2678-2613

Natalia I. Tsapkina graduate student, technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, eco-agro12@mail.ru
.

Anastasia V. Terekhina Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gorbatova.nastia@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-4433-9615

Vitalii N. Vasilenko Doc. Sci. (Engin.), professor, head of the department, machines and apparatuses of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vvn_1977@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1547-9814

Вклад авторов

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

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 11/01/2025	**После редакции** 04/03/2025	**Принята в печать** 18/03/2025

Received 11/01/2025	**Accepted in revised** 04/03/2025	**Accepted** 18/03/2025

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-64-69 Оригинальная статья/Research article
УДК 338.4:658.512 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Управление сырьевыми инновациями в бродильной промышленности в аспекте расширения потребительского спроса

Ирина П. Богомолова [1] uopioe@yandex.ru 0000-0001-5883-1294
Даниил Р. Кулигин [1] kuligin470@gmail.com 0009-0007-3133-4467
Александр С. Муравьев [1] hntrun@mail.ru 0000-0002-5989-0752

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

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы внедрения инновационных сырьевых решений в бродильной промышленности с целью расширения потребительского спроса. Авторы фокусируются на разработке технологии производства безглютенового пива на основе зерна киноа. Исследование подтверждает наличие устойчивого спроса на продукцию для людей с непереносимостью глютена и показывает, что отечественные пивоваренные предприятия обладают необходимым оборудованием для переработки нового сырья. Пивоварение с использованием киноа демонстрирует высокую социально-экономическую целесообразность, так как готовый продукт отличается высокой пищевой ценностью, уникальным вкусовым профилем и полным отсутствием глютена. Экспериментальная часть работы включает анализ технологического процесса производства пивного солода из киноа, где оптимизированы параметры замачивания, проращивания и сушки зерна. Для компенсации низкой ферментативной активности солода из киноа применяются внешние ферментные препараты. Проведённые физико-химические исследования двух образцов пива (смешанный и полностью безглютеновый вариант) продемонстрировали удовлетворительные органолептические показатели, а содержание глютена в конечном продукте составило менее 20 мг/кг, что соответствует международным стандартам. Анализ рынка выявил рост интереса к безглютеновым продуктам, что создаёт новые ниши для отечественных производителей. Экономические расчёты показали высокую рентабельность инновационного продукта (34%) и короткий срок окупаемости инвестиций (0,5 года). Внедрение этой технологии позволит предприятиям не только диверсифицировать ассортимент, но и повысить конкурентоспособность на внутреннем и международном рынке. Таким образом, использование киноа в пивоварении открывает стратегические перспективы для развития отрасли, отвечая современным трендам здорового питания и устойчивого производства.

Ключевые слова: киноа; инновационное сырье; производство безглютенового пива; маркетинговое исследование; конкурентоспособность.

Management of raw material innovations in the fermentation industry in the aspect of expanding consumer demand

Irina P. Bogomolova [1] uopioe@yandex.ru 0000-0001-5883-1294
Daniil R. Kuligin [1] kuligin470@gmail.com 0009-0007-3133-4467
Alexander S. Muravyev [1] hntrun@mail.ru 0000-0002-5989-0752

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

Abstract. The article discusses the prospects for the introduction of innovative raw materials solutions in the fermentation industry in order to expand consumer demand. The authors focus on developing a technology for the production of gluten-free beer based on quinoa grains. The study confirms the steady demand for products for people with gluten intolerance and shows that domestic breweries have the necessary equipment for processing new raw materials. Brewing using quinoa demonstrates high socio-economic feasibility, as the finished product is characterized by high nutritional value, a unique flavor profile and a complete absence of gluten. The experimental part of the work includes an analysis of the technological process of beer malt production from quinoa, where the parameters of soaking, germination and drying of grain are optimized. External enzyme preparations are used to compensate for the low enzymatic activity of malt from quinoa. The physico-chemical studies of two beer samples (mixed and completely gluten-free version) demonstrated satisfactory organoleptic characteristics, and the gluten content in the final product was less than 20 mg/kg, which corresponds to international standards. Market analysis revealed a growing interest in gluten-free products, which creates new niches for domestic producers. Economic calculations have shown a high profitability of the innovative product (34%) and a short payback period (0.5 years). The introduction of this technology will allow enterprises not only to diversify their product range, but also to increase their competitiveness in the domestic and international markets. Thus, the use of quinoa in brewing opens up strategic prospects for the development of the industry, responding to modern trends in healthy nutrition and sustainable production.

Keywords: quinoa; innovative raw materials; production of gluten-free beer; marketing research; competitiveness.

Для цитирования
Богомолова И.П., Кулигин Д.Р., Муравьев А.С. Управление сырьевыми инновациями в бродильной промышленности в аспекте расширения потребительского спроса // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 64–69. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-64-69

For citation
Bogomolova I.P., Kuligin D.R., Muravev A.S. Management of raw material innovations in the fermentation industry in the aspect of expanding consumer demand. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 64–69. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-64-69

©2025, Богомолова И.П.. и др. / Bogomolova I.P. et al.
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 ищут новые сырьевые и продуктовые решения и технологии [1-2, 5–6]. В последнее время наблюдается значительный рост населения с целиакией или непереносимостью белковой фракции глютена [3]. К категории здоровых продуктов относится и пиво, содержание глютена в котором равно или меньше 20 мг на кг продукта. Для создания безглютенового пива используются различные методы, такие как химическая обработка сырья, фильтрация на фильтр-прессах, использование безглютенового сырья [7].

В процессе исследования применен метод использования безглютенового сырья – киноа. По мнению учёных и практиков, киноа, обладающая высоким содержанием белка, витаминов и минералов, представляет собой ценное растительное сырье для производства пива. Проведение исследования в данной области является актуальным, так как позволяет расширить ассортимент продукции бродильной промышленности и привлечь новую аудиторию потребителей за счет создания уникального для здоровья продукта.

Цель работы – создание безглютенового пива и анализ стратегических перспектив отрасли для внедрения инновационных подходов в производство и диверсификации ассортимента продукции с целью повышения конкурентоспособности предприятий бродильной отрасли.

Материалы и методы

Для проведения исследования использован комплекс методов, включающий анализ научной литературы, сбор и обработку статистических данных о потребительском спросе на пиво. Изучение технологических процессов производства пива из киноа позволит установить основные тенденции в развитии данного сегмента рынка.

Результаты

Исследование показало, что производство пива из киноа имеет значительный потенциал с целью расширения потребительского спроса на этот вид напитка. В химическом составе киноа присутствует огромное количество макро- и микроэлементов: в 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 [1, 12–13]. Пиво из киноа обладает рядом преимуществ, таких как высокая питательная ценность, отсутствие глютена, что необходимо для людей, имеющих целиакию (численность людей на территории России от региона к региону варьируется от 3–6%), а также оно имеет уникальный вкусовой профиль, соответствующий данному сырью. Эти характеристики делают продукт привлекательным для широкой аудитории, включая людей с особыми пищевыми предпочтениями [8].

Технология производства солода из киноа состоит из следующих этапов: первый этап – промывание зерна киноа проточной водой для смывания с поверхности зерен слоя пыли и сапонитов. Второй этап – замачивание, происходит в воде температурой 4–8 °С в течение 24 часов. Третий этап – проращивание, которое ведется при температуре – 4–8 °С в течение 72 часов, периодически перемешивая зерна. Четвертый этап – сушка, проводится при температуре около 60–70 °С до влажности 2–3%. Пятый этап – сушка и отлежка [17–20].

После анализа полученного солода выяснилось, что его ферментативная способность в 40–45 раз меньше, чем в ячменном солоде. Таким образом, приготовление пива из солода из киноа невозможно без внесения ферментов извне.

Для исследования разными методами были приготовлены два образца пивного сусла. Первый образец – 75% солода из киноа и 25% ячменного солода; второй образец – 100% солода из киноа с добавлением ферментного препарата.

Процесс приготовления пивного сусла начинается с дробления исследуемого солода до размеров частиц 0,2–0,4 мм. После готовится затор при гидромодуле 1:4. При приготовлении второго образца добавлялся комплексный ферментный препарат Церемикс Plus MG по норме 0,4 кг/т зернопродуктов.

Далее выдерживаются температурные паузы: белковая пауза при 50–52 °С в течение 15 минут, мальтозная при температуре 60-65 °С в течение 30 минут и пауза осахаривания при температуре 70–72 °С в течение 30 минут. После их прохождения проверяется полнота осахаривания по йодной пробе. Затем производится фильтрация затора и промывание дробины водой. Получается сусло с массовой долей сухих веществ (СВ) – 11–11,5%. Кипятится сусло с хмелем в течение часа. Берутся два сорта хмеля: горький – Magnum (0,35 г/л), который добавляется в начале кипячения и ароматный – Citra (0,18 г/л) – за 10 минут до конца кипячения. Далее сусло охлаждается до температуры 5–10 °С и проводится фильтрация от выпавшего белка. Содержание СВ в сусле – 11,5–12%.

Следующий этап – брожение, для чего использовали пивоваренные лагерные дрожжи W-34/70. Расход дрожжей на 1 л сусла – 0,8 г. Брожение ведется при температуре 6–8 °С до содержания СВ 60% от начальных значений.

Дображивание осуществлялось при температуре 4 °С в течение 3–4 недель, после чего получали готовое нефильтрованное пиво [4]. Физико-химические показатели образцов представлены в таблице 1 [16].

Таблица 1.

Физико-химические показатели пива

Table 1.

Physico-chemical parameters of beer

Показатели | Indicators	Образец 1 | Sample 1	Образец 2 | Sample 2
Экстрактивность начального сусла % | Extractivity of wort%	11,6	12,1
Видимый экстракт | Visible extract	3,11	4,19
Цвет, ед. ц | Color, units	11,6	13
Кислотность, ед. к | Acidity, units.k	2,5	2,5
pH	4,8	4,8
Объёмная доля спирта, % | Volume fraction of alcohol, %	4,63	4,53
Содержание глютена, мг/кг | Gluten content, mg/kg	270	<20

Примечание: Пиво соответствует ГОСТ 31711–2012 «Пиво. Общие технические условия».

При изучении процессов и разработке линии для производства пива из киноа было выявлено, что в стадии измельчения зерна классическая вальцовая дробилка не подходит из-за присущей ей степени измельчения.

При анализе оборудования для осуществления измельчения солода из растительного сырья было выявлено, что наибольшее распространение получили аппараты вальцовые и молотковые дробилки. Однако вальцовые дробилки имеют недостаток, связанный с размером измельчаемого солода, и поэтому для размера солода из киноа было предложено использовать молотковые дробилки, позволяющие более эффективно проводить процесс измельчения за счет использования молотков вместо вальцов и повысить качественный состав помола, необходимый для процесса затирания [14].

При изучении марок молотковых дробилок было выявлено, что лучшей по показателям состава помола является молотковая дробилка «Multimpact», которая обеспечивает повышение показателя пропускной способности для производства широкого спектра продуктов с эффективными характеристиками размола и гранулированием по размеру частиц – от грубого до мелкого. Большая площадь экрана, ударная пластина, прерыватели потока секционный ротор, кластерные молотки, воздухоструйная конструкция и оптимизированная скорость наконечника обеспечивают высокую производительность при низком выделении тепла.

Аппарат спроектирован для непрерывной работы с большой нагрузкой. Все быстроизнашивающиеся детали изготовлены из износостойкой стали (AR).

Поэтому для производства пива из инновационного сырья необходимо будет заменить или докупить дополнительную дробильную установку.

Исследуя внутренний рынок по продажам пива, можно сказать, что прирост продаж слабоалкогольных напитков в первом квартале 2024 г. составил 8,2% по сравнению с прошлым годом (рисунок 1).

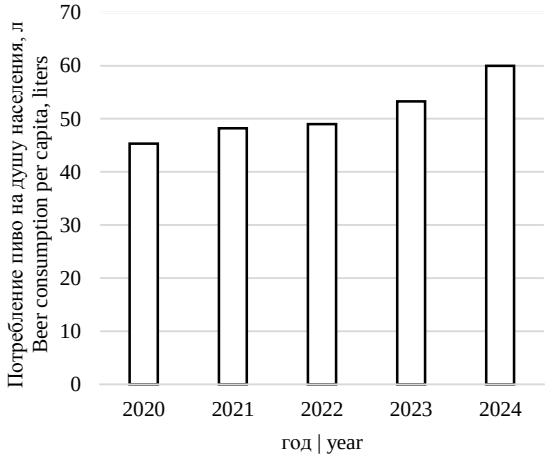


Рисунок 1. Динамика объема потребления пива в России на душу населения

Figure 1. Dynamics of beer consumption in Russia per capita

Данные рисунка свидетельствуют о том, что спрос на данную продукцию возрастает, и с каждым годом динамика увеличения потребления сохраняется.

Результат успешного маркетингового исследования употребления безглютенового пива в России графически представлен на рисунке 2. Оно подтверждает, что доля населения, готовая купить безглютеновое пиво, резко возросла, и на сегодняшний день составляет 23% [10–11].

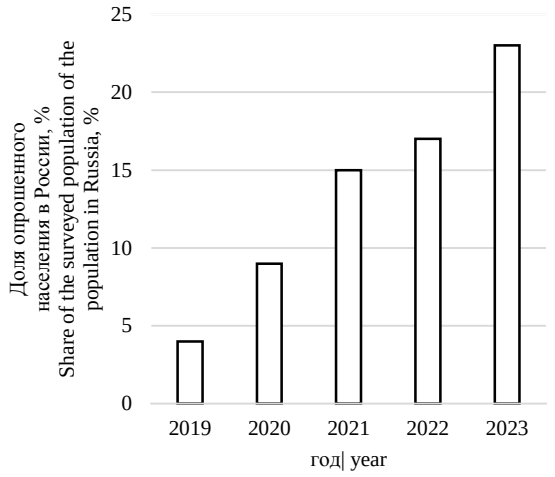


Рисунок 2. Динамика спроса на безглютеновое пиво в России

Figure 2. Dynamics of demand for gluten-free beer in Russia

Действительно, сегодня проблема заболевания целиакией является актуальной, так как растет количество людей, имеющих данное заболевание. Если в 2014 г. таких людей было 3,6%, то сегодня их доля увеличилась более чем в 10 раз [9].

Выполнение расчетной части данного исследования позволяет определить сумму полной себестоимости продукта в размере 290 р. за бутылку 0,5 дм^3. Но если оценить стоимость продукта с похожими свойствами, то действительная цена будет значительно больше – 380 р. за бутылку 0,5 дм^3. Сравнительный расчет рентабельности продукции показывает, что экономическая эффективность производства продукта с использованием инновационного сырья составляет 34% в сравнении с похожим продуктом конкурента, экономическая эффективность производства составляет 13%.

Таблица 2.

Экономические показатели

Table 2.

Economic indicators

Показатели	Исследуемый продукт «Безглютеновое пиво» Investigated product “Gluten-free beer”	Продукт конкурента с похожими свойствами Competitor's product with similar properties
Полная себестоимость продукта, руб. | Total cost of the product, RUB	290	380
Рентабельность продукции, % | Product profitability, %	34	13
Срок окупаемости капитальных вложений, годы Payback period of investments, years	0,5	-

Заключение

Проведенный анализ доказывает наличие спроса на продукцию с использованием киноа, необходимое сырье имеется в полном объёме, у пивоваренных предприятий есть необходимое оборудование, которое позволит перерабатывать новое сырье.

Проведенные сравнительные аналитические расчеты подтверждают социально – экономическую целесообразность, необходимость и возможность внедрения инновационного мероприятия на региональных пивоваренных предприятиях.

Следовательно это открывает стратегические перспективы для отечественных предприятий отрасли, в том числе они могут не только внедрить инновационные подходы и дифференцировать ассортимент продукции, но и повысить свою конкурентоспособность не только на внутреннем, но и на внешнем мировом отраслевом рынке.

Литература

1 Абдулаев М.С., Надточий Л.А. Оценка пищевой ценности культуры киноа // Символ науки: международный научный журнал. 2016. №1-2. С. 9 – 11.

2 Богомолова И.П., Шатохина Н.М. Диверсификация как инструмент повышения эффективности деятельности предприятий агропродовольственного комплекса России // Островские чтения. 2015. №1. С. 172 – 176.

3 Бурак Л.Ч. Перспективы производства пива с функциональными свойствами // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. № 2. С. 79 – 88.

4 Kordialik-Bogacka E., Bogdan P., Pielech-Przybylska K., Michałowska D. Suitability of unmalted quinoa for beer production //Journal of the Science of Food and Agriculture. 2018. V. 98. №. 13. P. 5027-5036.

5 Кулигин Д.Р., Чусова А.Е., Новикова И.В., Коротких Е.А. Особенности технологии безглютенового пива с использованием различных штаммов дрожжей. // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2024. Т. 86. № 3(101). С. 116-121. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-116-121

6 Жукова Ю.С. Исторические аспекты развития пивоваренной промышленности в контексте современного состояния отрасли: региональный аспект // Вектор экономики. 2021. № 7. С.14.

7 Оводенко Д.В. Инновации в пищевой промышленности: риски и перспективы, развитие производственных компетенций // Естественно-гуманитарные исследования. 2020. №6 (44). С. 230-234.

8 Казаджам М.Д. Перспективы использования киноа на Российском рынке // Международная науч. конф. молодых ученых и специалистов отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук. Москва. 2022. С. 132 – 135.

9 Кокорева Л.А., Домрачева К.С. Целиакия как проблема современности // Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании: мат. VI международн. науч. – практ. конф. Екатеринбург, 2019. Изд – во Урал. гос. экон. ун-та. 2019. С. 63 – 67.

10 Мизанбекова С.К., Богомолова И.П. Перспективы использования цифровых и инновационных технологий в управлении конкурентоспособностью предприятий // Техника и технологии пищевых производств. 2020. №2. С. 372 – 382.

11 Макаров В.А. Маркетинг и управление спроса на продукты бродильной промышленности // Сибирская научная книга. 2017. 280 с.

12 Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года. Министерство сельского хозяйства РФ. 2022. 40 с.

13 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. V. 124. P. 166-174. doi: 10.15405/epsbs.2022.02.21

14 Рогожникова О.В., Ансфондьярова И.В. Инновации в сфере пивоварения и оценка качества пива // Неделя науки СПБПУ: Мат. науч. конф. с международным участием. Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли. 2018. Т. 3. С. 66 – 68.

15 Росстат: Продажа алкогольных напитков и пива: офиц. сайт. URL: https://rosstat.gov.ru.

16 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 международн. науч. – практ. конф. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2023. С. 34 – 39.

17 Maldonado-Alvarado P., Pavón-Vargas D. J., Abarca-Robles J., Valencia-Chamorro S. et al. Effect of germination on the nutritional properties, phytic acid content, and phytase activity of quinoa (Chenopodium quinoa Willd) //Foods. 2023. V. 12. №. 2. P. 389.

18 Guardianelli L. M., Salinas M. V., Brites C., Puppo M. C. Germination of white and red quinoa seeds: improvement of nutritional and functional quality of flours // Foods. 2022. V. 11. №. 20. P. 3272.

19 Cela N., Condelli N., Perretti G., Di Cairano M. et al. Gluten reduction in beer: Effect of sorghum: quinoa ratio and protein rest time on brewing parameters and consumer acceptability //Journal of Cereal Science. 2023. V. 109. P. 103607.

20 Rapers R., Fisher S. The production of gluten – free bear: 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.

References

1 Abdulaev M.S., Nadtochiy L.A. Evaluation of the nutritional value of quinoa culture // Symbol of Science: International Scientific Journal. 2016. pp. 9 -11. (in Russian).

2 Bogomolova, I.P., Shatokhina N. M. Diversification as a tool to improve the efficiency of enterprises of the agro-food complex of Russia // Ostrovskie readings. 2015. no. 1. pp. 172 – 176. (in Russian).

3 Burak L. Ch. Perspectives of beer production with functional properties // Technologies of food and processing industry AIC – products of healthy nutrition. 2021. no. 2. pp. 79 – 88. (in Russian).

4 Kordialik-Bogacka E., Bogdan P., Pielech-Przybylska K., Michałowska D. Suitability of unmalted quinoa for beer production //Journal of the Science of Food and Agriculture. 2018. vol. 98. no. 13. pp. 5027-5036.

5 Kuligin D.R., Chusova A.E., Novikova I.V., Korotkov E.A. Features of gluten-free beer technology using various yeast strains // Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2024. vol. 86. no. 3(101). pp. 116-121. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-116-1 (in Russian).

6 Zhukova Yu.S. Historical aspects of the development of the brewing industry in the context of the current state of the industry: a regional aspect // Vector of Economics. 2021. no. 7. pp. 14. (in Russian).

7 Ovodenko D.V. Innovations in the food industry: risks and prospects, development of production competencies. Natural sciences and humanities research. 2020. no. 6 (44). pp. 230-234. (in Russian).

8 Kazajam 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).

9 Kokoreva L.A., Domracheva K.S. Celiac disease as a problem of our time // Innovative technologies in food industry and catering. Ekaterinburg. 2019. pp. 63 – 67. (in Russian).

10 Mizanbekova S.K., Bogomolova I.P. Prospects for the use of digital and innovative technologies in the management of competitiveness of enterprises // Technics and technologies of food production. 2020. №2. pp.372 – 382. (in Russian).

11 Makarov V.A. Marketing and demand management for fermentation industry products. Siberian scientific book. 2017. 280 p. (in Russian).

12 Ministry of Agriculture of the Russian agro-industrial complex. Program of development of the agro-industrial complex of Russia. Ministry of Agriculture of the Russian Federation. 2022. 40 p. (in Russian).

13 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. vol. 124. pp. 166-174. doi:10.15405/epsbs.2022.02.21

14 Rogozhnikova O.V., Ansfondyarova I.V. Innovation in brewing and beer quality assessment // Week of Science SPbPU: Proceedings of the scientific conference with international participation. St. Petersburg. 2018. vol. 3. pp. 66– 68. (in Russian).

15 Rosstat: Sale of alcoholic beverages and beer: official. URL: https://rosstat.gov.ru (in Russian).

16 Fedoseeva K.V., Agaselimova S.S. The use of alternative raw materials in the production of beer and its impact on the quality of finished products // Actual issues of modern scientific research. Penza. 2023. pp. 34 – 39. (in Russian).

17 Maldonado-Alvarado P., Pavón-Vargas D. J., Abarca-Robles J., Valencia-Chamorro S. et al. Effect of germination on the nutritional properties, phytic acid content, and phytase activity of quinoa (Chenopodium quinoa Willd) // Foods. 2023. vol. 12. no. 2. pp. 389.

18 Guardianelli L. M., Salinas M. V., Brites C., Puppo M. C. Germination of white and red quinoa seeds: improvement of nutritional and functional quality of flours // Foods. 2022. vol. 11. no. 20. pp. 3272.

19 Cela N., Condelli N., Perretti G., Di Cairano M. et al. Gluten reduction in beer: Effect of sorghum: quinoa ratio and protein rest time on brewing parameters and consumer acceptability //Journal of Cereal Science. 2023. vol. 109. pp. 103607.

20 Rapers R., Fisher S. The production of gluten – free bear: 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.

Сведения об авторах

Ирина П. Богомолова д.э.н., профессор, кафедра управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, uopioe@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-5883-1294

Даниил Р. Кулигин студент, кафедра технологии бродильных и сахарист производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kuligin470@gmail.com
https://orcid.org/0009-0007-3133-4467

Александр С. Муравьев к.т.н., доцент, кафедра машины и аппараты 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

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 P. Bogomolova Cand. Sci. (Econ.), professor, management, production organization and sectoral economics department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, uopioe@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-5883-1294

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

Alexander S. Muravyev Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, food processing machines and apparatuses departament, Voronezh State University of Engineering Technologies , Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hntrun@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5989-0752

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 04/02/2025	**После редакции** 24/02/2025	**Принята в печать** 06/03/2025

Received 04/02/2025	**Accepted in revised** 24/02/2025	**Accepted** 06/03/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-70-76 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.65 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Прогнозирование обеспеченности зерноперерабатывающих предприятий Красноярского края зерном основных злаковых культур

Марина А. Янова [1] yanova.m@mail.ru 0000-0003-4262-7015
Юрий Ф. Росляков [2] lizaveta_ros@mail.ru 0000-0003-1431-4804
Анастасия В. Шаропатова [1] sharopatova@ya.ru 0000-0003-0763-974X
Марина Н. Куприна [1] kuprina07@inbox.ru 0009-0006-0518-6715

1 Красноярский государственный аграрный университет, пр т Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Россия
2 Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия

Аннотация. Для обоснования рационального размещения новых производственных предприятий зерноперерабатывающей отрасли в Красноярском крае разработана многомерная статистическая модель, позволяющая рассчитать прогнозные значения количественно-качественных показателей зерна в различных природно-климатических зонах региона. При проведении численного эксперимента доказано, что исследованные показатели имеют различные количественно-качественные значения по зонам Красноярского края и при замене значений получаются разные результаты по обеспеченности зерноперерабатывающих предприятий зерновым сырьем, учитывая их специализацию. Комплексная оценка зернового сырья для зерноперерабатывающих производств, с помощью разработанной многомерной статистической модели позволяет прогнозировать рациональное размещение в регионе производственных предприятий по выпуску новых видов муки, крупы и других зернопродуктов, с учетом показателей качества имеющегося сырья и производственной базы. В основу расчетов многомерной статистической модели положено использование метода парных сравнений и ранжирование степени соответствия количества и качества зерна, производимого в различных зонах Красноярского края, характеристикам зерноперерабатывающих предприятий этих зон: производительности и коэффициенту использования производственных мощностей. Использование метода парных сравнений доказывает целесообразность группировки количественно-качественных показателей по зонам, так как специализация основных зерноперерабатывающих заводов Красноярского края между собой различаются больше, чем внутри зон. Модель позволяет оценить в статике и динамике обеспеченность зерноперерабатывающих предприятий зерновым сырьем, коэффициент использования производственных мощностей внутри каждой зоны. Приведенный в статье метод позволяет прогнозировать рациональное размещение в Красноярском крае предприятий зерноперерабатывающей отрасли, с учетом характеристик имеющихся в регионе мукомольных, крупяных заводов, количественно-качественных характеристик зерна основных злаковых культур, а также соответствия между ними.

Ключевые слова: зерно злаковых культур, прогнозирование, моделирование, количественно-качественные показатели зерна, зерноперерабатывающие предприятия, рациональное размещение.

Forecasting the supply of milling and groats enterprises of the Krasnoyarsk region raw materials of the major cereal crops

Marina A. Yanova [1] yanova.m@mail.ru 0000-0003-4262-7015
Yuriy F. Roslyakov [2] lizaveta_ros@mail.ru 0000-0003-1431-4804
Anastasia V. Sharopatova [1] sharopatova@ya.ru 0000-0003-0763-974X
Marina N. Kuprina [1] kuprina07@inbox.ru 0009-0006-0518-6715

1 Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira Av., 90 Krasnoyarsk, 660049, Russia
2 Kuban State Technological University, Revolution Av., 2, Krasnodar,350072, Russia

Abstract. To justify the rational location of new production enterprises of grain processing industry in Krasnoyarsk region a multivariate statistical model has been developed, which allows to calculate the forecast values of quantitative and qualitative indicators of grain in different natural and climatic zones of the region. At carrying out of numerical experiment it is proved that the investigated indicators have different quantitative-qualitative values on zones of Krasnoyarsk territory and at replacement of values different results on provision of grain-processing enterprises with grain raw materials, taking into account their specialization are received. The complex assessment of grain raw materials for grain processing industries, with the help of the developed multivariate statistical model allows to predict the rational placement of production enterprises in the region for the production of new types of flour, groats and other grain products, taking into account the quality indicators of available raw materials and production base. The calculations of the multivariate statistical model are based on the use of the method of pairwise comparisons and ranking of the degree of correspondence of the quantity and quality of grain produced in different zones of Krasnoyarsk region to the characteristics of grain processing enterprises of these zones: productivity and capacity utilization factor. The use of the method of pairwise comparisons proves the expediency of grouping quantitative and qualitative indicators by zones, since the specialization of the main grain-processing enterprises in the Krasnoyarsk region. values of quantitative and qualitative indicators of grain of different climatic zones of the Krasnoyarsk territory to justify the rational placement of new production enterprises of the grain processing industry. During the numerical experiment, it is proved that the studied indicators have different values and when replacing these values, different results are obtained on the provision of grain processing enterprises with grain raw materials and their specialization. Comprehensive assessment of quantitative and qualitative indicators of grain raw materials for grain processing industries, allows you to predict the rational placement in the

Для цитирования
Янова М.А., Росляков Ю.Ф., Шаропатова А.В., Куприна М.Н. Прогнозирование обеспеченности зерноперерабатывающих предприятий Красноярского края зерном основных злаковых культур // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 70–76. doi: 10.20914/2310-1202-2025-1-70-76

For citation
Yanova M.A., Roslyakov Y.F., Sharopatova A.V., Kuprina M.N Forecasting the supply of milling and groats enterprises of the Krasnoyarsk region raw materials of the major cereal crops. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 70–76. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-70-76

© 2025, Янова М.А. и др. / Yanova M.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

region of production enterprises for the production of new types of flour and cereals, taking into account the quality of existing raw materials and production base with the developed multidimensional statistical model. The calculations of the multidimensional statistical model are based on the ranking of the degree of compliance of the quantity and quality of grain produced in different regions of the Krasnoyarsk territory, productivity and utilization of production capacities of grain processing enterprises using the method of paired comparisons. The use of the method of pair comparisons proves: the expediency of grouping by zones, since the specialization of the main plants of the zone differ more than within. The model makes it possible to estimate in statics and dynamics the availability of grain processing enterprises with grain raw materials, the utilization rate of production capacities within each zone. This approach with the ranking of the above features, taking into account the assessment of compliance between them, allowed to predict the rational placement in the region of production enterprises of the grain processing industry, taking into account the assessment of quantitative and qualitative characteristics of raw materials.

Keywords: grain of cereals, forecasting, modeling, quantitative and qualitative indicators of grain, grain processing enterprises, rational placement.

Введение

Внедрение прогрессивных технологических процессов при переработке зерна в современных условиях повышает эффективность использования сырья в зерноперерабатывающей промышленности. При этом обеспечение мукомольных и крупяных предприятий качественным зерном основных злаковых культур имеет большое значение для технологического процесса [1–5].

Стремительный прогресс научных вычислений с применением методов математического моделирования играет ключевую роль в пищевой индустрии, в таких областях как зерноперерабатывающая промышленность и очевиден потенциальный вклад разработанных моделей во многих других направлениях [3, 9, 12]. Учитывая низкий уровень использования производственных мощностей зерноперерабатывающих предприятий в Красноярском крае, эффективность использования сырья из основных злаковых культур имеет важное хозяйственное значение [7, 8, 10, 11, 16]. Технологические свойства зерна влияют на процесс его переработки и качество получаемой из него продукции, это следует учитывать при выборе направления использования сырья [6, 13–15].

При прогнозировании обеспеченности зерноперерабатывающих предприятий сырьем совершенствование методологии математической оценки количественно-качественных показателей перерабатываемого сырья заключается в исследовании потенциальных свойств зерна: физико-химических свойств, а также анализе технологий производства, учитывающих минимальное количество параметров [3, 11, 17, 19].

Анализ современных технологий зерноперерабатывающих производств, их технической поддержки и обеспеченности качественным сырьем важен с точки зрения возможности и целесообразности создания современных эффективных систем промышленного производства и переработки зерна основных злаковых культур в продукты питания [12, 13, 18, 20].

Цель работы – разработка математической модели для прогнозирования обеспеченности мукомольных и крупяных предприятий Красноярского края зерном основных злаковых культур.

Материалы и методы

В ходе численного эксперимента проведена оценка соответствия имеющихся мощностей переработки зерна в муку и крупу в различных зонах Красноярского края потребностям производителей зерна на двух уровнях:

– статистическом (по определенным статистическим данным);

– динамическом (по фактическим данным функционирования системы).

Механизм моделирования включает ранжирование степени соответствия агрегатных моделей: <культура (пшеница, ячмень, овес)/зона (центральная, западная, восточная, южная, северная) > – < пищевая цель переработки (мука, крупа) > с использованием метода парных сравнений; расчет фактического индекса обеспечения региона (группы зон) по характеристикам имеющейся производственной базы; расчет оптимального с точки зрения статистических моделей культур индекса обеспеченности по видам перерабатывающего оборудования для регионов [3].

Известна статическая модель структуры формирования количественно-качественных показателей по зерновым культурам с привязкой к региональным условиям [9], настоящие исследования дополнены данными по наличию производственных мощностей предприятий по переработке зерна, а также прогнозом изменения количественных и качественных параметров производства зерна (с фильтрацией данных и выделением трендов, построением доверительных интервалов для средних значений параметров на уровне районов и зон края).

В результате реализации данного подхода были поставлены две задачи:

– прямая задача: насколько существующие в зоне мощности (отдельно по муке и крупе) соответствуют количеству произведенного зерна в зоне;

– обратная задача: для существующего уровня производства зерна (с учетом имеющихся тенденций развития) определить необходимую производительность зерноперерабатывающих производств и их размещение в пределах зоны.

Отметим, что несмотря на кажущуюся простоту оценки соответствия по равенству производительностей суммарных по видам

производства и переработки зерна, как первая, так и вторая задачи осложняются наличием неопределенных и случайных факторов.

Например, можно вести расчеты по среднему значению, или по наибольшему возможному, или по наиболее вероятному объему производства, суммарному в данной зоне (с возможным учетом притока сырья на переработку из соседних зон). Оценка соответствия мощностей мукомольных предприятий возможным поставкам сырья показано на примере предприятий западной зоны Красноярского края (рисунок 1).

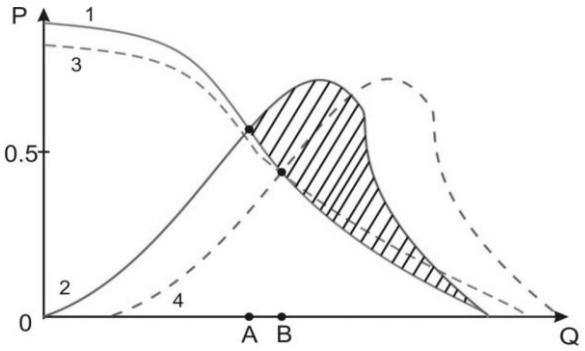


Рисунок 1. Соответствие мощности по выпуску муки объему поставок зерна, тыс. тонн: 1 – объем производства муки; 2 – объем производства зерна; 3 – прогнозируемый объем производства муки; 4 – прогнозируемый объем производства зерна

Figure 1. Correspondence of flour production capacity to the volume of grain supplies, thousand tons: 1 – flour production volume; 2 – grain production volume; 3 – projected flour production volume; 4 – projected grain production volume

На рисунке 1 показано соответствие мощности по выпуску муки Ачинского зерноперерабатывающего комбината (1) объему поставок зерна (2) из Ужурского и Назаровского районов Красноярского края (западная зона).

Динамическая модель функционирования системы «сельхозтоваропроизводитель» – «зерноперерабатывающие предприятия» подчинена параметрам количества и качества производимого в сельскохозяйственных предприятиях сырья для зерноперерабатывающих производств, параметрам зерноперерабатывающих предприятий, находящихся в зоне доступности и, что не менее важно, степени соответствия первых двух параметров между собой. Таким образом, выделяем две группы параметров (назовем их первичными x и вторичными y), а третью группу составляют параметры соответствия между x и y, которую обозначим через z и назовем потенциальной интенсивностью возможных потоков x→y, которая в зависимости от дополнительных параметров (расстояние, скорость доставки, время, стоимость переработки, стоимость хранения, цена реализации) преобразуется в матрицу интенсивных переходов из x в y, обозначим ее через a_{xy}.

Учитывая, что для реальной функционирующей системы параметры y зафиксированы, а параметры x определяются полностью начальным состоянием зерновых потоков x(0), можно упростить модель функционирования и представить ее в виде системы уравнений Колмогорова – Чапмена:

$$\frac{d}{dt}P(t) = A^T P(t), \tag{1}$$

$$P(0) = E, \tag{2}$$

где входной вектор x(t), представляющий собой стационарный Марковский процесс x(t) (принимает значения их множества состояний S), задается неявно через матрицу переходных вероятностей:

$$P(t) = \{P_{xy}(t)\}$$
$$P_{xy}(t) = P\left\{x(t) = \frac{y}{x(0)} = x_0\right\}. \tag{3}$$

Решением системы уравнений К-Ч является:

$$P(t) = \exp(At) \tag{4}$$

где x – заявки ЗТ, y – заявки ЗП; t – время (в сутках) от начала уборочного периода до окончания послеуборочной обработки зерна, t = 0; 100.

Между x и y могут существовать отношения нескольких видов:

– партнерские, в виде долгосрочных договоров на поставку – переработку фиксированного (или ориентированного) объема зерна определенного (в диапазоне) качества;

– случайное обслуживание (при возможности приема на переработку со стороны ЗП, – сигнал y; при возможности поставки со стороны ЗТ – сигнал x, при условии соответствия сигнала x сигналу y).

Входной сигнал (вектор x) представляет Марковский процесс x(t) со множеством возможных состояний S. Он связан с выходным сигналом y(t) посредством матрицы переходных вероятностей (3).. Поэтому, учитывая, что наибольший интерес представляют стационарные режимы динамики функционирования системы ЗТ-ЗП, будем моделировать не x(t)→y(t), а опосредованно – через матрицу P_{xy}, в виде системы уравнений К-Ч (1)–(2). Учитывая, что вектор y(t) характеризуется значительно большей стационарностью и эргодичностью по сравнению с x(t), главную роль в этой системе играют устойчивые распределения стационарных вероятностей $\{P_x\}$. При этом дифференциальные уравнения (1) приходят к однорядному виду:

$$A^T P_x = 0, \quad (5)$$

где A^T – транспонированная матрица перехода $A = \{a_{xy}\}$ марковского процесса x. Значения ее элементов в конкретных момент t зависит от текущего состояния системы {x(t), y(t)}

$$\begin{cases} 1, \text{ если } x \in A_y \text{ (условие договора)}; \\ \alpha r_{xy}, \text{ если } y \in B_x \text{ (условие "входа")}; \\ -\rho(x) - \alpha S(x), \text{ если } y \sim x \begin{pmatrix} \text{условие} \\ \text{"выхода"} \end{pmatrix}; \\ 0, \text{ при всех остальных случаях} \end{cases} \quad (6)$$

Условие «входа» заключается в наличии свободной мощности зерноперерабатывающего предприятия (ЗП) для принятия дополнительных заказов (вне условия «договора»); условие «выхода» – это поступление сигнала от сельхозтоваропроизводителей (ЗТ) (вне условия «договора»).

Тогда стационарная составляющая динамической модели принимает вид:

$$\begin{cases} \sum P_i = 1; \\ \sum P_y + ZP_y \alpha r_{yx} = \left(\rho(x) + \alpha S(x)\right) P_x; \\ x \in A_y \end{cases} \quad (7)$$

в котором первое равенство определяет условие нормирования, а второе выражает баланс между возможностью приема зерна на обработку и возможным получением зерна от зернопроизводителей зон края.

Эта модель была реализована для пяти зон края отдельно для переработки зерна на муку (з→м), зерна на крупу (з→к) и зерна на комбикорм (з→кмб).

$$\begin{cases} g(x); \\ \{R = r_{xy}\}; \\ \mathrm{S(x)} = \sum r_{xy}. \end{cases} \quad (8)$$

Модель позволяет определить потери вследствие несоответствия сельхозтоваропроизводителей – зерноперерабатывающему предприятию (ЗТ→ ЗП). Введено понятие условной вероятности потерь

$$\beta_x = \frac{S^*(x) - S(x)}{S^*(x)}. \quad (9)$$

и полной вероятности потерь

$$\beta = \sum_{x \in S} \beta_x P_x, \quad (10)$$

где S – множество возможных событий системы (x, y).

Результаты и обсуждение

Для простоты иллюстраций рассмотрим малую систему с двумя сельхозтоваропроизводителями (ЗТ) и одним зерноперерабатывающим предприятием (ЗП). Множество возможных событий будет задаваться следующим множеством подмножеств:

$$\begin{cases} XY = \{x_1 = \{0\}; \\ x_2 = \{1 \vee 2\}; \\ x_3 = \{3\}; \\ x_4 = \{1 \& 2\}; \\ x_5 = \{(1 \& 3) \vee (2 \& 3)\}; \\ x_6 = \{1 \& 2 \& 3\} \end{cases} \quad (11)$$

Здесь под 1 и 2 обозначены заявки от ЗТ 1 и ЗТ 2, а под 3 – возможность принятия этих заявок от ЗП 3.

Тогда система принимает вид:

$$\begin{cases} 2\alpha P_1 = P_2 P_3; \\ 2\alpha P_1 + 2P_4 + P_5 = (2\alpha + 1) P_2; \\ (2\alpha + 1) P_3 = P_5; \\ (2\alpha + 2) P_4 = \alpha P_2 + P_6; \\ (\alpha + 2) P_5 = \alpha P_2 + 2\alpha P_3 + 2P_6; \\ 3P_6 = 2\alpha P_4 + \alpha P_5 \end{cases} \quad (12)$$

Без учета нормирующего условия одним из решений этой системы является:

$$\begin{cases} \mathbf{P_1 = 5\alpha^2 + 7\alpha + 3}; \\ \mathbf{P_2 = 6\alpha^3 + 11\alpha^2 + 6\alpha}; \\ \mathbf{P_3 = 3\alpha^2 + 4\alpha^3}; \\ \mathbf{P_4 = 2\alpha^4 + 4\alpha^3 + 3\alpha^2}; \\ \mathbf{P_5 = 8\alpha^4 + 10\alpha^3 + 3\alpha^2}; \\ \mathbf{P_6 = 4\alpha^5 + 6\alpha^4 + 3\alpha^3} \end{cases} \quad (13)$$

Отсюда

$\beta_5 = 0,5;\ \beta_6 = 1;\ \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0.$

Тогда общая вероятность потерь заказов на обработку зерна в этой системе:

$$\beta = \frac{1,5\alpha^2 + 8\alpha^3 + 10\alpha^4 + 4\alpha^5}{3 + 13\alpha + 25\alpha^2 + 27\alpha^3 + 16\alpha^4 + 4\alpha^5}. \quad (14)$$

Даже для потока с малой интенсивностью со средним значением 1 заявка в сутки (весь интервал времени взят 60 суток) получаем $\beta = 0,27$, то есть почти 1/3 не может быть реализована, следовательно 0,27 – это доля того объема зерна, который по своим параметрам может быть обработан на этих мощностях данного завода.

Рассчитанная многомерная статистическая модель, в основу которой положен метод парных сравнений количественно-качественных показателей сырья и производственных характеристик зерноперерабатывающих предприятий, показывала оптимальное соответствие показателей производства и поставок сырья мукомольным предприятиям и их производственной мощности в западной зоне Красноярского края. В остальных зонах нет соответствия между объемом и качеством зерна, который по своим параметрам может быть обработан на мощностях зерноперерабатывающих заводов регионов.

Заключение

Оценка в статике и динамике обеспеченности наиболее востребованными мощностями внутри каждой земледельческой зоны Красноярского края позволила спрогнозировать размещение в регионе производственных предприятий зерноперерабатывающей отрасли с учетом формирования количественно-качественных характеристик сырья. Согласно проведенным расчетам, целесообразным является строительство мукомольных предприятий мощностью 100 тонн в сутки на границе центральной и западной зон и в южной зоне крае мощностью 50 тонн в сутки. Основные потоки сырья оптимального качества для крупяной промышленности расположены в восточной зоне и на юге Красноярского края, способные обеспечить сырьем новые крупяные заводы производительностью 50 тонн в сутки.

Таким образом, разработанный механизм прогнозирования обеспеченности мукомольных и крупяных предприятий Красноярского края зерном основных злаковых культур, позволил обосновать размещение в регионе производственных предприятий по выпуску новых видов муки и крупы с учетом имеющегося сырья и производственной базы.

Литература

1 Долгосрочная стратегия развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года. URL: https://fsvps.gov.ru/sites/default/files/npafiles/2021/09/14/33_rasporyazhenie_pravitelstva_rf_ot_10_08_2019_n_1796-r.pdf

2 Лесникова Н.А., Кокорева Л.А., Пищиков Г.Б., Протасова Л.Г. Перспективы применения нетрадиционного растительного сырья для создания новых продуктов питания // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. Т. 81. №4. С. 89-97. doi:10.20914/2310-1202-2019-4-89-97

3 Карачанская Т.А., Красина И.Б., Фадеева А.А. Использование математических методов планирования эксперимента при выявлении факторов, влияющих на потребительские свойства заварных пряников // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2016. № 1. С. 107 – 110.

4 Goriely A. The mathematics and mechanics of biological growth. Springer. 2017. 646 p.

5 Мизанбекова С. К., Богомолова И.П., Джумабаева А.М. Комбикормовая промышленность: ориентиры, потенциальные возможности // Проблемы агрорынка. 2023. № 2. С. 127-135. doi:10.46666/2023-2.2708-9991.12

6 Першукевич П.М., Тю Л.В., Быков А.А., Стенкина М.В. Перспективы усиления экспортной ориентации развития зернового комплекса Сибирского федерального округа // АПК: экономика, управление. 2020. № 9. С. 62-70. doi:10.33305/209-62

7 Паршуков Д. В. Стратегические приоритеты и перспективные направления развития Южного агропромышленного территориального кластера Красноярского края // Социально-экономический и гуманитарный журнал. 2024. № 2(32). С. 3-17. doi:10.36718/2500-1825-2024-2-3-17

8 Янова М.А., Росляков Ю.Ф. Моделирование структуры количественно-качественных показателей зерна основных злаковых культур с учетом региональных условий // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2019. № 2–3. С. 96–99.

9 Yanova M.A., Silin V.E. Analysis of raw materials of grain processing production in the Krasnoyarsk region // The Bulletin of KrasGAU. 2016. № 5. P. 149–154.

10 Бундина О. И. Формирование зерновых кластеров России: синергетическая технология // Пищевая промышленность. 2023. № 6. С. 27-29. doi:10.52653/PPI.2023.6.6.008

11 Codină G.G., Dabija A. Innovative Grain Processing: Trends and Technologies. Appl. Sci. 2024. V. 14. P. 10954. doi:10.3390/app142310954

12 Lima R. E., Coradi P. C., Nunes M. T., Bellochio S. D. C. et al. Mathematical modeling and multivariate analysis applied earliest soybean harvest associated drying and storage conditions and influences on physicochemical grain quality //Scientific Reports. 2021. V. 11. №. 1. P. 23287.

13 Dauletbakov B., Sultangaliyeva A., Abitova A., Primzharova K. Improvement of the methodology for grain quality assessment // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2016. V. 92. № 1. P. 144–153.

14 Panfilov V.A., Andreev S.P. Engineering of complex technological systems in the agroindustrial complex // Foods and Raw Materials. 2018. V. 6. №. 1 P. 23–29.

15 Зюкин Д. А. Развитие инфраструктуры хранения зерна как направление оптимизации процессов межрегионального обмена // Региональный вестник. 2019. № 23(38). С. 67-69.

16 Алтухов А. И. Пространственное развитие зернового хозяйства в условиях нового административно-территориального деления страны // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 8. С. 44-52.

17 Sadenova M. A., Beisekenov N. A., Rakhymberdina M. Y., Varbanov P. S. et al. Mathematical modelling in crop production to predict crop yields //Chemical Engineering Transactions. 2021. V. 88. P. 1225-1230.

18 Ye H., Wang Y., Zhang Y., Hu. X. et al. Digital transformation of agriculture: A new integrated modeling framework for arable farm enterprises // Computers and Electronics in Agriculture. 2023. V. 212. P. 108041.

19 Matvienko E., Aygumov T., Zolkin A., Tormozov V. et al. Resource-saving technologies in storage and processing of agricultural products // E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2023. V. 390. P. 02003.

20 Bharatkumar D. P., Khatun P., Kumar C., Yadav A.K. Role of agriculture processing in export growth of agricultural products //Journal of Current Research in Food Science. 2023. V. 4. №. 1. P. 49-56.

1

References

1 Long-term strategy for the development of the grain complex of the Russian Federation until 2035. Available at: https://fsvps.gov.ru/sites/default/files/npafiles/2021/09/14/33_rasporyazhenie_pravitelstva_rf_ot_10_08_2019_n_1796-r.pdf

2 Lesnikova N.A., Kokoreva L.A., Pishchikov G.B., Protasova L.G. Prospects for the use of non-traditional vegetable raw materials for the creation of new food products. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2019. vol. 81. no. 4. pp. 89-97 doi:10.20914/2310-1202-2019-4-89-97

3 Karachanskiy T.A., Krasina I.B., Fadeeva A.A. Use of mathematical methods of experiment planning in identifying the factors influencing consumer properties of custard cakes // News of higher educational institutions. Food technology. 2016. no. 1. pp. 107–110.

4 Goriely A. The mathematics and mechanics of biological growth. Springer. 2017. 646 p.

5 Mizanbekova S. K., Bogomolova I.P., Dzhumabaeva A.M. Compound feed industry: benchmarks, potential opportunities // Problems of agro-market. 2023. no. 2. pp. 127-135. doi 10.46666/2023-2.2708-9991.12

6 Pershukevich P.M., Ty L.V., Bykov A.A., Stenkina M.V. Prospects for strengthening the export orientation of the grain complex of the Siberian Federal District // Agroindustrial complex: economics, management. 2020. no. 9. pp. 62-70. doi:10.33305/209-62

7 Parshukov D. V. Strategic priorities and promising directions for the development of the Southern agro-industrial territorial cluster of the Krasnoyarsk Territory // Socio-economic and Humanitarian Journal. 2024. no. 2(32). pp. 3-17. doi:10.36718/2500-1825-2024-2-3-17

8 Yanova M.A., Roslyakov Yu.F. Modeling the structure of quantitative and qualitative indicators of grain of major cereal crops, taking into account regional conditions // News of higher educational institutions. Food technology. 2019. no. 2-3. pp. 96-99.

9 Yanova M.A., Silin V.E. Analysis of raw materials of grain processing production in the Krasnoyarsk region // The Bulletin of KrasGAU. 2016. no 5. pp. 149–154.

10 Bundina O. I. Formation of grain clusters in Russia: a synergetic technology // Food industry. 2023. no. 6. pp. 27-29. doi:10.52653/PPI.2023.6.6.008

11 Codină G.G., Dabija A. Innovative Grain Processing: Trends and Technologies. Appl. Sci. 2024. vol. 14. pp. 10954. doi:10.3390/app142310954

12 Lima R. E. Coradi, P. C., Nunes, M. T., Bellochio, S. D. C et al. Mathematical modeling and multivariate analysis applied earliest soybean harvest associated drying and storage conditions and influences on physicochemical grain quality //Scientific Reports. 2021. vol. 11. no. 1. pp. 23287.

13 Dauletbakov B., Sultangaliyeva A., Abitova A., Primzharova K. Improvement of the methodology for grain quality assessment // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2016. vol. 92. no. 1. pp. 144–153.

14 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. 23–29.

15 Zyukin D. A. Development of grain storage infrastructure as a direction for optimizing inter-regional exchange processes // Regional bulletin. 2019. no. 23(38). pp. 67-69.

16 Altukhov A. I. Spatial development of grain farming in the context of a new administrative-territorial division of the country // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2020. no. 8. pp. 44-52.

17 Sadenova M. A., Beisekenov N. A., Rakhymberdina M. Y., Varbanov P. S et al. Mathematical modelling in crop production to predict crop yields //Chemical Engineering Transactions. 2021. vol. 88. pp. 1225-1230.

18 Ye H., Wang Y., Zhang Y., Hu. X. et al. Digital transformation of agriculture: A new integrated modeling framework for arable farm enterprises // Computers and Electronics in Agriculture. 2023. vol. 212. pp. 108041.

19 Matvienko E., Aygumov T., Zolkin A., Tormozov V. et al. Resource-saving technologies in storage and processing of agricultural products // E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2023. vol. 390. pp. 02003.

20 Bharatkumar D. P., Khatun P., Kumar C., Yadav A.K. Role of agriculture processing in export growth of agricultural products //Journal of Current Research in Food Science. 2023. vol. 4. no. 1. pp. 49-56.

Сведения об авторах

Марина А. Янова д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Красноярский государственный аграрный университет, пр-т Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Россия, yanova.m@mail.ru

https://orcid.org/0000-0003-4262-7015

Юрий Ф. Росляков д.т.н., профессор, кафедра пищевой инженерии, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, lizaveta_ros@mail.ru

https://orcid.org/0000-0003-1431-4804

Information about authors

Marina A. Yanova Dr. Sci. (Engin.), professor, technologies of bakery, confectionery and pasta production department, Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira Av., 90, Krasnoyarsk, 660049, Russia, yanova.m@mail.ru

https://orcid.org/0000-0003-4262-7015

Yuriy F. Roslyakov Dr. Sci. (Chem.), professor, food engineering department, Kuban State Technological University, Revolution Av., 2, Krasnodar,350072, Russia, lizaveta_ros@mail.ru

https://orcid.org/0000-0003-1431-4804

Анастасия В. Шаропатова к.э.н., доцент, кафедра организации и экономики сельскохозяйственного производства, Красноярский государственный аграрный университет, пр-т Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Россия, sharopatova@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-0763-974X

Марина Н. Куприна к.с-х.н, доцент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Красноярский государственный аграрный университет, пр-т Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Россия, kuprina07@inbox.ru
https://orcid.org/0009-0006-0518-6715

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.

Anastasia V. Sharopatova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, department of organization and economics of agricultural production, Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira Av., 90, Krasnoyarsk, 660049, Russia, sharopatova@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-0763-974X

Marina N. Kuprina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technologies of bakery, confectionery and pasta production department, Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira Av., 90, Krasnoyarsk, 660049, Russia, kuprina07@inbox.ru
https://orcid.org/0009-0006-0518-6715

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 03/02/2025	**После редакции** 25/02/2025	**Принята в печать** 11/03/2025

Received 03/02/2025	**Accepted in revised** 25/02/2025	**Accepted** 11/03/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-77-85 Оригинальная статья/Research article
УДК 663.8 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Разработка технологии переработки топинамбура на олигофруктозный и фруктозо-глюкозный сиропы

Николай Д. Лукин	[1]	vniik@arrisp.ru	0000-0002-2142-1897
Татьяна С. Пучкова	[1]	puchkovats@ya.ru	0000-0002-7657-6730
Дмитрий А. Казарцев	[2]	kda_79@mail.ru	0000-0001-6597-2327
Андрей И. Ключников	[2]	kaivanov@mail.ru	0000-0002-8161-0040
Анатолий А. Славянский	[2]	a.slavyanskiy@mgutm.ru	0000-0002-0262-8841
Вера А. Грибкова	[2]	vera_gribkova@list.ru	0000-0002-5079-8132

1 Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Некрасова, д. 11, дп. Красково, г. о. Люберцы, Московская обл., 140051, Россия

2 Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Земляной вал, д. 73, г. Москва, 109004, Россия

Аннотация. На сегодняшний день объем мирового производства сахара остается значительным, превышая 180 млн. т в 2022/2023 гг. Избыточное потребление сахара связано с развитием таких заболеваний, как ожирение и сахарный диабет. Во многих странах, включая Европу, разрабатываются стратегии по снижению потребления добавленного сахара. Исследования показывают, что дети потребляют сахара больше, чем взрослые, и этот уровень значительно превышает рекомендации Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), согласно которым свободные сахара не должны составлять более 10 % от общей суточной калорийности. Таким образом, важной задачей является регулирование потребления сахара и поиск безопасных и эффективных заменителей сахара в продуктах питания. В настоящей работе рассматриваются вопросы получения олигофруктозного и фруктозо-глюкозного сиропов из клубней топинамбура и их применения в пищевой промышленности в качестве полифункционального ингредиента. Изложены оптимальные параметры технологического процесса переработки клубней топинамбура в сиропы, а также представлены процессуально-технологическая схема и характеристики получаемых сиропов по предлагаемой технологии. Существенными отличительными признаками разработанной технологии являются наличие процессов двухступенчатой мойки клубней топинамбура с обязательной рекуперацией отработанной воды, измельчения клубней с возможностью регулировки фракционного состава стружки, конвективной сушки стружки топинамбура и ее хранения с последующей переработкой, многостадийной очистки экстракта и сиропа, коагуляции, адсорбционной очистки, катионообменной и анионообменной обработки, ультрафильтрации. Несмотря на повышенное начальное содержание красящих, минеральных веществ и протеина в сиропах из топинамбура результаты исследований показали, что при совокупности вышеперечисленных процессов удается значительно сократить содержание этих примесей и получить сиропы с низкой калорийностью, представляющих собой натуральные подсластители с полезным углеводным профилем и пребиотическими свойствами. Очевидно, что с дальнейшим развитием биотехнологии пребиотические ингредиенты и натуральные сиропы из топинамбура будут все более востребованы в производстве продуктов питания и напитков.

Ключевые слова: сироп олигофруктозы, фруктозо-глюкозный сироп, топинамбур, технология переработки топинамбура, аппаратурное оформление.

Development of technology for processing jerusalem artichoke into oligofructose and fructose-glucose syrups

Nikolay D. Lukin	[1]	vniik@arrisp.ru	0000-0002-2142-1897
Tatyana S. Puchkova	[1]	puchkovats@ya.ru	0000-0002-7657-6730
Dmitriy A. Kazartsev	[2]	kda_79@mail.ru	0000-0001-6597-2327
Andrey I. Klyuchnikov	[2]	kaivanov@mail.ru	0000-0002-8161-0040
Anatoliy A. Slavyanskiy	[2]	a.slavyanskiy@mgutm.ru	0000-0002-0262-8841
Vera A. Gribkova	[2]	vera_gribkova@list.ru	0000-0002-5079-8132

1 All-Russian Research Institute of Starch and Starch-Containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, Nekrasova St., 11, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, 140051, Russia

2 K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy val st., 73, Moscow, 109004, Russia

Для цитирования

Лукин Н.Д., Пучкова Т.С., Казарцев Д.А., Ключников А.И., Славянский А.А., Грибкова В.А. Разработка технологии переработки топинамбура на олигофруктозный и фруктозо-глюкозный сиропы // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 77–85. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-77-85

For citation

Lukin N.D., Puchkova T.S. Kazartsev D.A Klyuchnikov A.I., Slavyanskiy A.A., Gribkova V.A. Development of technology for processing jerusalem artichoke into oligofructose and fructose-glucose syrups. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 77–85. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-77-85

© 2025, Лукин Н.Д. и др. / Lukin N.D. et al.

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

Abstract. To date, global sugar production remains significant, exceeding 180 million tons in 2022/2023. Excessive sugar consumption is associated with the development of diseases such as obesity and diabetes mellitus. In many countries, including Europe, strategies are being developed to reduce the consumption of added sugar. Studies show that children consume more sugar than adults, and this level significantly exceeds the recommendations of the World Health Organization (WHO), according to which free sugars should not account for more than 10% of the total daily calorie intake. Thus, an important task is to regulate sugar consumption and find safe and effective sugar substitutes in food. This paper discusses the production of oligofructose and fructose-glucose syrups from jerusalem artichoke tubers and their use in the food industry as a multifunctional ingredient. The optimal parameters of the technological process of processing jerusalem artichoke tubers into syrups are described, as well as the procedural and technological scheme and characteristics of the syrups obtained using the proposed technology are presented. The essential distinguishing features of the developed technology are the presence of two-stage jerusalem artichoke tubers washing with mandatory waste water recovery, crushing tubers with the ability to adjust the fractional composition of the chips, convective drying of jerusalem artichoke chips and their storage with subsequent processing, multi-stage purification of extract and syrup, coagulation, adsorption purification, cation and anion exchange treatment, ultrafiltration. Despite the increased initial content of coloring, minerals and protein in jerusalem artichoke syrups, the research results have shown that using the combination of the above processes, it is possible to significantly reduce the content of these impurities and obtain low-calorie syrups, which are natural sweeteners with a beneficial carbohydrate profile and prebiotic properties. It is obvious that with the further development of biotechnology, prebiotic ingredients and natural jerusalem artichoke syrups will be increasingly in demand in the food and beverage industry.

Keywords: oligofructose syrup, fructose-glucose syrup, Jerusalem artichoke, Jerusalem artichoke processing technology, equipment design.

Введение

Разработка натуральных подсластителей с пониженной калорийностью и пребиотическими свойствами открывает новые перспективы для создания продуктов здорового питания. Эти вещества могут стать эффективной альтернативой обычному сахару, способствуя улучшению состояния здоровья населения и снижая риски, связанные с избыточным потреблением сахара [1–4].

Производство и переработка топинамбура могут эффективно решать множество современных задач в сельском хозяйстве и пищевой индустрии, включая создание диетических, детских и функциональных продуктов питания. Ни одно другое растение в мире не производит столько полезных и востребованных продуктов, как топинамбур. Топинамбур является одной из самых продуктивных культур, достигая до 200 т/га зелёной массы и 150 т/га клубней. Химический состав топинамбура варьируется в зависимости от сортовых характеристик и условий роста, таких как агротехника и климат. Содержание сухих веществ колеблется: в надземной части – от 22 до 32%, в клубнях – от 19 до 30%. Топинамбур обладает уникальным углеводным составом, основанным на фруктозе и её полимерах, главным из которых является инулин – самый ценный углевод. Инулин присутствует преимущественно в клубнях, вместе с сахарами (от 13 до 20% по сырой массе). В стеблях его значительно меньше (2–4% от сырой массы), а в листьях он отсутствует, но зато содержится крахмал и небольшие количества моносахаров и дисахаров. Фруктоза – неотъемлемая часть топинамбура, её уровень меняется в зависимости от сбора и хранения. D-фруктоза, также называемая левулозой, является представителем кетозов и слаще сахарозы. Она легко растворяется в воде и образуется из инулина. Фруктоза более предпочтительна для диабетиков. Полисахариды клеточных оболочек клубней занимают второе место после фруктозанов по количеству [5–10].

Клубни и надземная часть топинамбура богаты клетчаткой, белками, незаменимыми аминокислотами, витаминами, а также важными макро- и микроэлементами, и органическими, и жирными кислотами. В сравнении с картофелем, морковью и свеклой, топинамбур обладает высоким содержанием магния, железа, кремния, цинка, а также витаминов группы В и С. К тому же его клубни не содержат солонин – алкалоид, который появляется при световой экспозиции в сыром картофеле. Топинамбур имеет уникальную способность накапливать инулин, который преобразуется в организме человека в фруктозу. Это особенно важно для людей, страдающих диабетом.

Для эффективной системы функционального питания рекомендуется использование специальных технологий, позволяющих сохранить все полезные свойства продуктов. При переработке этого корнеплода получается пектин, фруктозный сироп, кристаллическая фруктоза и диетическая клетчатка, а также разнообразные безалкогольные напитки функционального назначения. Благодаря высокому содержанию биологически активных веществ топинамбур представляет интерес как для диетического питания, так и для пищевой промышленности для создания эффективных добавок [11–12].

Целью работы – разработка рациональной технологии переработки топинамбура на олигофруктозный и фруктозно-глюкозный сиропы и изучение его углеводного состава с целью дальнейшего использования в различных отраслях пищевой промышленности.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись технология переработки топинамбура олигофруктозный и фруктозно-глюкозный сиропы.

Исследования проводились в условиях ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)», а также Всероссийском научно-исследовательском институте крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиале ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха» с учетом требований международной организации по стандартизации ISO (ИСО): определение массовой доли сухого вещества сиропа – на рефрактометре марки ИРФ-454Б2М (ГОСТ ISO 2173–2013); массовой доли золы – сжиганием в муфельной печи при температуре 650^0 С; массовой доли протеина по методу Кьельдаля – на приборе марки К-424 фирмы «BUCHI Labortecknik AG» (Германия); углеводный состав образцов – на жидкостном хроматографе углеводов с рефрактометрическим датчиком фирмы «Gilson» (Германия); величину pH сиропов – на pH-метре марки HI2210–02 фирмы «HANNA Instruments» (Швейцария); цветность на фотоэлектроколориметре марки КФК-3 при $\lambda = 420$ нм.

Результаты и обсуждение

На основании аналитического обзора, проведенных исследований в лабораториях «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)» и «ВНИИ крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья», а также подбора оптимальных технологических режимов, разработана технологическая схема переработки клубней топинамбура на олигофруктозный и фруктозно-глюкозный сиропы, которая представлена на рисунке 1. В качестве инулинсодержащего растительного сырья были использованы клубни топинамбура.

Технологический процесс производства олигофруктозного и фруктозно-глюкозного сиропов включает следующие стадии: доставка, хранение и транспортирование топинамбура; подготовка сырья к переработке и мойка клубней; инспекция, калибровка; измельчение сырья; экстрагирование (диффузия); отделение экстракта от жома; коагуляция примесей экстракта; механическое фильтрование; очистка активным углем; ионообменная очистка; ультрафильтрация; ферментативный гидролиз инулина до олигофруктозы/фруктозно-глюкозного сиропа; концентрирование олигофруктозного/фруктозно-глюкозного сиропа.

В качестве инулинсодержащего растительного сырья использованы клубни топинамбура. Клубни топинамбура, поступающие на обработку в цех, размещаются в специальном хранилище для них. При сильном загрязнении клубней выполняется предварительная обработка путем погружения в резервуар с холодной водой; для этого клубни из хранилища перемещаются через конвейер-перегрузчик в отмывочный резервуар. Для очистки поверхностного материала от примесей (почвы, соломы, песка, камней), клубни проходят двухступенчатую промывку в чистой проточной воде с использованием барботажных и щеточных моющих агрегатов до полного устранения всех заметных загрязнений, избегая при этом механических повреждений. Материал, прошедший первичную очистку, направляется на следующий этап обработки через конвейер-передатчик. Воду, используемую для замачивания и очистки сырьевых материалов, отправляют в канализацию.

После завершения повторной очистки осуществляется проверка. Корнеплоды топинамбура проверяют на специальном конвейере, удаляя при этом испорченные, больные, поврежденные вредителями, неправильной формы образцы, а также чужеродные включения, направляемые в емкость некондиционного сырья.

Первоначально клубни топинамбура взвешивают на весах и затем измельчают в резательной машине до состояния стружки. Эта стружка направляется на конвейер для последующей обработки. Чтобы избежать потемнения и сохранить свежий вид стружки на длительный срок, её обрабатывают раствором пиросульфита натрия. После этого обработанная стружка готова к экстракции.

После измельчения клубней в специальной резательной машине (с возможностью регулировки фракционного состава стружки для оптимизации процесса экстракции), полученную стружку направляют в барабанную сушилку. Важно поддерживать оптимальный температурный режим, обычно не превышающий 60–70 °C, для предотвращения карамелизации сахаров и потемнения продукта. После сушки стружка хранится в герметичных бункерах, защищенных от воздействия влаги и света, предотвращая его порчу и окисление.

Перед экстракцией сухая стружка подвергается процессу замачивания в горячей воде, обычно на 30–60 мин. Это способствует равномерному набуханию клеток и повышению эффективности извлечения инулина. Температура воды подбирается индивидуально и зависит от фракционного состава стружки. Затем набухшую стружку направляют в экстрактор для проведения диффузии, используя те же параметры, что и для свежего топинамбура, но с учетом возможных корректировок, связанных с различиями в структуре и влажности сырья. Полученный экстракт, содержащий растворенный инулин, далее подвергается очистке и концентрации, в зависимости от требуемого конечного продукта (чистый инулин, сироп, добавки к пище).

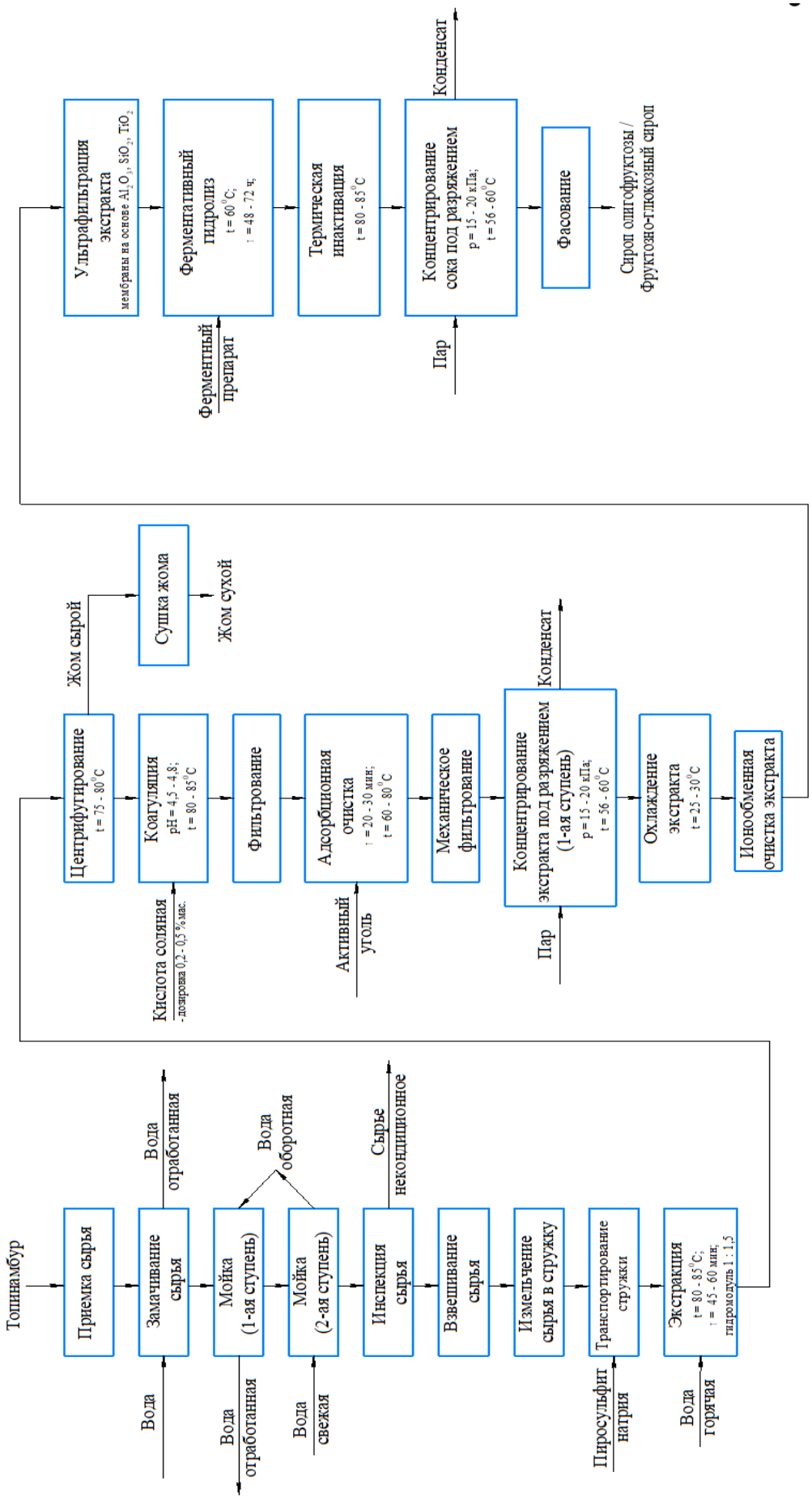


Рисунок 1. Процессуально-технологическая схема переработки топинамбура на олигофруктозный и фруктозно-глюкозный сиропы.

По завершении процесса извлечения, экстракт топинамбура со стружкой, содержащий минимум 12% сухих веществ, транспортируется насосом в шнековую центрифугу. Здесь, благодаря центробежной силе, осуществляется разделение на фракции. Твердая фракция (осадок), образовавшаяся в результате центрифугирования, помещается в бункер для жома и затем отправляется в барабанную сушилку для получения сухого жома. Высушенный до необходимой влажности жом хранится в специальном бункере. Жидкая фракция (экстракт топинамбура без стружки) направляется в накопительную емкость для сока с мешалками, из которой насосом перекачивается в резервуар для коагуляции, где добавляется кислота для коагуляции коллоидов и осветления сока. После завершения коагуляции экстракт топинамбура с коагулированным белком перекачивается насосом через фильтр-пресс, что позволяет провести первую стадию фильтрации и удалить коагулированный белок. Затем экстракт топинамбура, свободный от коагулированного белка, поступает в контактный сборник для адсорбционной очистки с использованием активного угля. Очищенный экстракт топинамбура перекачивается насосом через патронный фильтр, чтобы избавиться от мелких частиц активированного угля. После фильтрации экстракт, очищенный от угольных частиц, сначала помещается в ёмкость для хранения, а затем в выпарную станцию для предварительного выпаривания до уровня сухих веществ от 12 до 25%. Для охлаждения предварительно сгущённый экстракт топинамбура насосом проходит через теплообменник с холодной водой и затем направляется в последовательно установленные катионообменные и анионообменные установки, где происходит дальнейшая очистка экстракта от красителей.

Для удаления оставшихся примесей и получения прозрачного продукта экстракт топинамбура, очищенный от красящих веществ, поступает в сборник сока и далее насосом перекачивается в установку ультрафильтрации, где проводят контрольное фильтрование.

Очищенный сок подается в резервуар с мешалкой, откуда затем насосом перемещается на следующий этап выпаривания. Процесс получения сиропа из топинамбура осуществляется в двухкорпусной вакуумной выпарной установке, куда он поступает при температуре, не превышающей 40 °С. Из первого корпуса выпарного устройства сгущенный сок перекачивается во второй, достигая содержания сухих веществ в диапазоне 30–40%. Вакуум в установке поддерживается на уровне 15–20 кПа, что соответствует температуре кипения сиропа приблизительно 60 °С. Далее с помощью проточного рефрактометра измеряется содержание сухих веществ, и при достижении 70–72% сироп топинамбура перекачивается насосом в резервуар для сиропа. Окончательно сгущенный сироп затем насосом отправляется в упаковочную машину, после чего емкости укупориваются на специальном оборудовании и направляются на склад готовой продукции. Сок топинамбура из резервуара с мешалкой насосом перекачивается для гидролиза в специальную емкость. Для производства олигофруктозного сиропа очищенный сок подвергается частичному ферментативному гидролизу с использованием ферментного препарата инулиназы, что позволяет достичь содержания редуцирующих веществ в пределах 15–25%. Условия для этого процесса: температура 60 ± 1 °С, pH 4,5–4,7, а продолжительность составляет от 1 до 4 ч. Для получения фруктозно-глюкозного сиропа очищенный сок также проходит частичный ферментативный гидролиз с использованием пектиназы, достигая аналогичного содержания редуцирующих веществ при тех же условиях. После завершения ферментативного гидролиза, полученный экстракт топинамбура насосом переносится в теплообменник, в котором происходит нагрев для инактивации фермента.

Далее гидролизованный экстракт топинамбура подается на выпаривание в вакуумную установку. Сгущенный экстракт, достигший уровня сухих веществ 30–40%, из первого корпуса перекачивается во второй при помощи насоса. Уровень разрежения должен составлять не менее 0,07 мПа, а температура кипения не должна превышать 60–65 °С. Процесс выпаривания во втором корпусе контролируется по содержанию сухих веществ в сиропе с использованием проточного рефрактометра. В сиропе олигофруктозы, после достижения концентрации сухих веществ 71–73%, происходит перекачивание в накопитель олигофруктозного и фруктозно-глюкозного сиропа с помощью винтового насоса. Затем окончательно сгущенный экстракт топинамбура (сироп) направляется насосом в фасовочную машину, после чего емкости укупориваются на соответствующем оборудовании и отправляются на склад готовой продукции. Учет готовой продукции осуществляется путем взвешивания в холодильном помещении (на весах) или на весах во время розлива. Основные контролируемые параметры процесса включают содержание сухого вещества после концентрирования, не превышающее 74%, и температуру, не превышающую 60 °С.

Качественные показатели олигофруктозного и фруктозно-глюкозного сиропов (ФГС) представлены в таблицах 1 и 2 соответственно, углеводный ФГС – в таблицах 3 и 4 соответственно.

Таблица 1.

Качественные показатели олигофруктозного сиропа

Table 1.

Qualitative parameters of oligofructose syrup

Показатель | Indicator	Значение | Value
Органолептические показатели Organoleptic parameters	густая вязкая жидкость, слегка сладковатая на вкус, без постороннего привкуса и запаха, от бесцветного до бледно-жёлтого цвета, прозрачный, допускается опалесценция thick viscous liquid, slightly sweet to taste, without extraneous taste and odor, colorless to pale yellow, transparent, opalescence is allowed
Массовая доля сухого вещества, %, не менее Mass fraction of dry matter, %, not less	73
Содержание фруктоолигосахаридов (ФОС) и олигофруктозидов, %, не менее Content of fructooligosaccharides (FOS) and oligofructosides, %, not less	93
Содержание ди – и моносахаридов, %, не более Content of di - and monosaccharides, %, not more	7
Содержание золы, %, не более Ash content, %, not more	0,3

Таблица 2.

Качественные показатели фруктозно-глюкозного сиропа

Table 2.

Qualitative parameters of fructose-glucose syrup

Показатель | Indicator	Значение | Value
Органолептические показатели Organoleptic parameters	прозрачная вязкая жидкость без осадка, помутнений и посторонних включений; цвет – от бесцветного до янтарного различной интенсивности; вкус – сладкий без горечи; запах – отсутствует, допускается легкий фруктовый или карамельный аромат transparent viscous liquid without sediment, turbidity and foreign inclusions; color - from colorless to amber of varying intensity; taste - sweet without bitterness; odor - absent, light fruity or caramel aroma is allowed.
Массовая доля фруктозы, % Mass fraction of fructose, %	65–67
Массовая доля глюкозы, % Mass fraction of glucose, %	13–15
Сахароза / ФОС, % | Sucrose / FOS, %	20–22
Сухое вещество, % | Dry matter, %	70±1
Зольный остаток (сульфаты), % Ash residue (sulfates), %"	≤0,4
pH	4,5 – 7,0

Таблица 3.

Углеводный состав концентрированного ФГС

Table 3.

Carbohydrate composition of concentrated FGS

Показатели качества ФГС							
СВ, % DM, %	pH	Зола, % Ash, %	Протеин, % Protein, %	Углеводный состав по ВЭЖХ на 100% углеводов			
				инулин inulin	дисахариды disaccharides	глюкоза glucose	фруктоза fructose
71,5	4,85	6,15	9,30	21,08	3,30	12,58	63,04

Таблица 4.

Качественные показатели сиропа ФГС после выпаривания и очистки

Table 4.

Quality parameters of FGS syrup after evaporation and purification

Образец Sample	СВ, % DM, %	Протеин, % Protein, %	Зола, % Ash, %	Цветность, ед. опт. пл. при λ = 420 нм Chromaticity, opt. pl. units. at λ = 420 nm
Сироп после выпаривания Syrup after evaporation	36,4	11,34	6,05	–
Сироп после выпаривания и очистки активным углем марки ОУ-Б | Syrup after evaporation and purification with active carbon of OU-B grade	36,0	9,93	5,90	3,66

В образцах ФГС определена зола, протеин и цветность сиропа (при λ = 420 нм) после очистки активным углем марки ОУ-Б. Дозировка активного угля составляла 4%. Цветность

после очистки визуально отличалась, но осталась высокой – 3,66 ед. опт. пл. Полученные данные свидетельствуют о снижении содержания протеина после центрифугирования и очистки активным углем [13, 14].

Все показатели качества как готового концентрированного сиропа из топинамбура, так и фруктозно-глюкозного сиропа (ФГС), определенные в лабораторных условиях ВНИИК, соответствуют требованиям для их применения в пищевой промышленности.

Заключение

Разработана технология переработки топинамбура на олигофруктозный и фруктозно-глюкозный сиропы, включающая прогрессивные способы очистки сиропов с помощью мембранных, ионообменных и адсорбционных методов, позволяющих обеспечить высокое качество конечного продукта.

Ключевыми аспектами разработанной технологии являются:

– двухступенчатая мойка клубней топинамбура с рекуперацией воды и отсутствием механических повреждений сырья;

– измельчение клубней топинамбура с возможностью регулировки фракционного состава стружки для оптимизации процесса экстракции;

– сушка стружки топинамбура при температуре 60–70 °С для минимизации потерь инулина и сохранения качества сырья;

– коагуляция и адсорбционная очистка экстракта топинамбура активным углем при дозировке угля 4–8% по сухому веществу продукта для снижения растворимых азотистых соединений, зольных элементов и красящих веществ.

– катионообменная и анионообменная очистка сиропа для деминерализации, удаления протеина, красящих веществ и других нежелательных примесей из сиропа;

– ультрафильтрация экстракта на керамических мембранах с размером пор 5–8 кДа с целью удаления высокомолекулярных веществ инулиновой природы с молекулярной массой более 6,5 кДа и коллоидно-дисперсных веществ.

Тем самым инулин и сиропы, получаемые на его основе, представляют собой не просто тренд, но и необходимость для будущего пищевой промышленности, открывая новые горизонты для формирования более здорового и сбалансированного питания [15–18].

Литература

1 Пучкова Т.С., Бызов В.А., Пихало Д.М., Карасева О.М. Технологическая оценка и требования к качественным показателям топинамбура и цикория для переработки на инулин и его производные // Пищевая промышленность. 2021. № 10. С. 86–91.

2 Жарков А.В., Патласов О.Ю. Формирование агропромышленного биоэнергетического кластера по селекции, выращиванию и глубокой переработке топинамбура // Наука о человеке: гуманитарные исследования. 2014. № 2(16). С. 83–89.

3 Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Звягинцев П.С., Лазунин Ю.Т. Топинамбур – культура многоцелевого использования // Пищевая промышленность. 2013. № 4. С. 22–25.

4 Бызов В.А. Системный анализ состояния и перспективы развития производства инулина (обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 6. С. 757–776.

5 Титов Л.М., Алексанян И.Ю. Технология инулина: основные тенденции развития отрасли и спорные вопросы // Пищевая промышленность. 2016. № 1. С. 46–51.

6 Филатов С.Л., Михайличенко М.С., Петров С.М., Подгорнова Н.М. Натуральные сиропы из топинамбура с пребиотическими свойствами // Пищевая промышленность. 2021. № 11. С. 15–21.

7 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. P. 13–22. doi: 10.12737/13115.

8 Зелепукин Ю.И., Яньшин В.П., Швецов Н.Н., Зелепукин С.Ю. Производство сахарсодержащих сиропов // Сахар. 2022. № 1. С. 32–36.

9 Гулюк Н.Г., Лукин Н.Д., Пучкова Т.С., Пихало Д.М., Гулакова В.А. Переработка инулинсодержащего сырья на инулин и его производные // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 3. С. 76–79.

10 Кисиева М.Т., Зяблицева Н.С., Компанцев В.А., Белоусова А.Л., Васина Т.М. Совершенствование способа получения сиропа, содержащего фруктозу, из клубней топинамбура // БМЖ. 2012. № 2. С. 102–103.

11 Khripko I.A. et al. Inulin from Jerusalem Artichoke: Biosynthesis and Application in Functional Foods // Journal of Functional Foods. 2015. Vol. 12. P. 123–130. doi: 10.1016/j.jff.2014.10.008.

12 Бараненко Д.А., Борисова И.И. Обоснование технологических параметров производства стабильных при хранении функциональных ингредиентов из топинамбура // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2014. № 4. С. 13–20.

13 Гулюк Н.Г., Лукин Н.Д., Пучкова Т.С., Пихало Д.М., Гулакова В.А. Об очистке экстракта из инулинсодержащего сырья // Пищевая промышленность. 2017. № 2. С. 24–26.

14 Пучкова Т.С., Пихало Д.М., Варицев П.Ю. Использование ионообменных смол для очистки инулинсодержащих сиропов из топинамбура // Пищевая промышленность. 2018. № 12. С. 38–42.

15 Rubel I.A., Iraporda C., Manrique G.D., Genovese D.B., Abraham A.G. Inulin from Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.): from its biosynthesis to its application as bioactive ingredient. Biology. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre. 2021. V. 26. Article 100281. doi: 0.1016/j.bcdf.2021.100281.

16 Shao T., Yuan P., Dou D., Liu C., Han J., Chen K., Wang G., Zhang W., Wang F., Hao C. Preparation and characterization of sulfated inulin-type fructans from Jerusalem artichoke tubers and their antitumor activity. Carbohydrate Research. 2021. V. 509. Article 108422. doi: 0.1016/j.carres.2021.108422.

17 Rubel I.A., Iraporda C., Novosad R., Genovese D.B., Manrique G.D. 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. doi: 10.1016/j.foodres.2017.10.041.

18 Singh R.S., Singh T. Enzymatic Approaches for the Synthesis of High Fructose Syrup // Biotechnological Production of Bioactive Compounds. Springer. 2018. P. 167–186. doi: 10.1007/978-981-10-4732-9_10.

19 Cabrera F. et al. Inulin-Rich Carbohydrates Extraction from Jerusalem Artichoke (Helianthus tuberosus L.) Tubers and Application of Different Drying Methods // Food Research International. 2018. Vol. 105. P. 1–9. doi: 10.1016/j.foodres.2017.10.026.

20 Zokirov B.U., Ismoilova M.R., Ravshanov S.S. Production of Crystalline Fructose from Jerusalem Artichoke Tubers // Universum: Chemistry and Biology. 2021. No. 7 (85). P. 45–50. doi: 10.32743/UniChemBio.2021.85.7.45.

References

1 Puchkova T.S., Byzov V.A., Pikhalo D.M., Karaseva O.M. Technological assessment and quality requirements for Jerusalem artichoke and chicory for processing into inulin and its derivatives. Food Industry. 2021. no. 10. pp. 86–91. (in Russian)

2 Zharkov A.V., Patlasov O.Yu. Formation of an agro-industrial bioenergy cluster for the selection, cultivation, and processing of Jerusalem artichoke. Human Science: Humanities Research. 2014. no. 2(16). pp. 83–89. (in Russian)

3 Starovoytov V.I., Starovoytova O.A., Zvyagintsev P.S., Lazunin Yu.T. Jerusalem artichoke as a multi-purpose crop. Food Industry. 2013. no. 4. pp. 22–25. (in Russian)

4 Byzov V.A. Systems analysis of the state and development prospects of inulin production: review. Agrarian Science of the Euro-North-East. 2022. no. 6. pp. 757–776. (in Russian)

5 Titov L.M., Aleksanyan I.Yu. Inulin technology: key industry development trends and controversial issues. Food Industry. 2016. no. 1. pp. 46–51. (in Russian)

6 Filatov S.L., Mikhailichenko M.S., Petrov S.M., Podgornova N.M. Natural Jerusalem artichoke syrups with prebiotic properties. Food Industry. 2021. no. 11. pp. 15–21. (in Russian)

7 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. doi: 10.12737/13115.

8 Zelepukin Yu.I., Yanshin V.P., Shvetsov N.N., Zelepukin S.Yu. Production of sugar-containing syrups. Sugar. 2022. no. 1. pp. 32–36. (in Russian)

9 Gulyuk N.G., Lukin N.D., Puchkova T.S., Pikhalo D.M., Gulakova V.A. Processing inulin-containing raw materials into inulin and its derivatives. Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex. 2017. vol. 31. no. 3. pp. 76–79. (in Russian)

10 Kisieva M.T., Zyablitseva N.S., Kompantsev V.A., Belousova A.L., Vasina T.M. Improving the method for producing fructose-containing syrup from Jerusalem artichoke tubers. BMZh. 2012. no. 2. pp. 102–103. (in Russian)

11 Khripko I.A. et al. Inulin from Jerusalem Artichoke: Biosynthesis and Application in Functional Foods // Journal of Functional Foods. 2015. Vol. 12. P. 123–130. doi: 10.1016/j.jff.2014.10.008.

12 Baranenko D.A., Borisova I.I. Justification of technological parameters for the production of stable functional ingredients from Jerusalem artichoke. Scientific Journal of NRU ITMO. Series: Processes and Equipment of Food Production. 2014. no. 4. pp. 13–20. (in Russian)

13 Gulyuk N.G., Lukin N.D., Puchkova T.S., Pikhalo D.M., Gulakova V.A. On the purification of extract from inulin-containing raw materials. Food Industry. 2017. no. 2. pp. 24–26. (in Russian)

14 Puchkova T.S., Pikhalo D.M., Varitsev P.Yu. Use of ion-exchange resins for purification of inulin-containing syrups from Jerusalem artichoke. Food Industry. 2018. no. 12. pp. 38–42. (in Russian)

15 Rubel I.A., Iraporda C., Manrique G.D., Genovese D.B., Abraham A.G. Inulin from Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.): from its biosynthesis to its application as bioactive ingredient. Biology. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre. 2021. vol. 26. Article 100281. doi: 0.1016/j.bcdf.2021.100281.

16 Shao T., Yuan P., Dou D., Liu C., Han J., Chen K., Wang G., Zhang W., Wang F., Hao C. Preparation and characterization of sulfated inulin-type fructans from Jerusalem artichoke tubers and their antitumor activity. Carbohydrate Research. 2021. vol. 509. Article 108422. doi: 0.1016/j.carres.2021.108422.

17 Rubel I.A., Iraporda C., Novosad R., Genovese D.B., Manrique G.D. 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. doi: 10.1016/j.foodres.2017.10.041.

18 Singh R.S., Singh T. Enzymatic Approaches for the Synthesis of High Fructose Syrup // Biotechnological Production of Bioactive Compounds. Springer. 2018. P. 167–186. doi: 10.1007/978-981-10-4732-9_10.

19 Cabrera F. et al. Inulin-Rich Carbohydrates Extraction from Jerusalem Artichoke (Helianthus tuberosus L.) Tubers and Application of Different Drying Methods // Food Research International. 2018. Vol. 105. P. 1–9. doi: 10.1016/j.foodres.2017.10.026.

20 Zokirov B.U., Ismoilova M.R., Ravshanov S.S. Production of Crystalline Fructose from Jerusalem Artichoke Tubers // Universum: Chemistry and Biology. 2021. No. 7 (85). P. 45–50. doi: 10.32743/UniChemBio.2021.85.7.45.

Сведения об авторах

Николай Д. Лукин д.т.н., профессор, заместитель директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», ул. Некрасова, 11, дп. Красково, г.о. Люберцы, Московская обл., 140051, Россия, vniik@arrisp.ru
https://orcid.org/0000-0002-2142-1897

Татьяна С. Пучкова к.т.н., ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», ул. Некрасова, 11, дп. Красково, г.о. Люберцы, Московская обл., 140051, Россия, puchkovats@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-7657-6730

Дмитрий А. Казарцев д.т.н., доцент, заведующий кафедрой технологии виноделия, бродильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, kda_79@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6597-2327

Андрей И. Ключников д.т.н., доцент, кафедра технологии виноделия, бродильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, kaivanov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8161-0040

Анатолий А. Славянский д.т.н., профессор, заведующий кафедрой инновационных технологий продуктов из растительного сырья, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, a.slavyanskiy@mgutm.ru
https://orcid.org/0000-0002-0262-8841

Вера А. Грибкова к.т.н., доцент, и.о. заведующего кафедрой биотехнологий продуктов питания из растительного и животного сырья, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, vera_gribkova@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-5079-8132

Вклад авторов

Николай Д. Лукин консультация в ходе исследования
Татьяна С. Пучкова консультация в ходе исследования
Дмитрий А. Казарцев написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Андрей И. Ключников обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент
Анатолий А. Славянский организовал производственные испытания
Вера А. Грибкова предложила методику проведения эксперимента и провела эксперимент

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Nikolay D. Lukin Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Scientific Work, All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials – branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «A. G. Lorkh Federal Research Center of Potatoes», Nekrasov St., 11, Korenevo microdistrict, Lyubertsy urban district, Moscow region, Russia, vniik@arrisp.ru
https://orcid.org/0000-0002-2142-1897

Tatyana S. Puchkova Cand. Sci. (Engin.), Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials – branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «A. G. Lorkh Federal Research Center of Potatoes», Nekrasov St., 11, Korenevo microdistrict, Lyubertsy urban district, Moscow region, Russia, puchkovats@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-7657-6730

Dmitriy A. Kazartsev Doctor of Technical Sciences, Associate professor, Head of the Department of Winemaking Technology, Fermentation Production and Chemistry named after G.G. Agabalyantsa, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, kda_79@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6597-2327

Andrey I. Klyuchnikov Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Winemaking Technology, Fermentation Production and Chemistry named after G.G. Agabalyantsa, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, kaivanov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8161-0040

Anatoliy A. Slavyanskiy Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Innovative Technologies of Vegetable Products, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, a.slavyanskiy@mgutm.ru
https://orcid.org/0000-0002-0262-8841

Vera A. Gribkova Cand. Sci. (Engin.), Acting Head of the Department of Biotechnology of Food products from plant and animal raw materials, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, vera_gribkova@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-5079-8132

Contribution

Nikolay D. Lukin consultation during the study
Tatyana S. Puchkova consultation during the study
Dmitriy A. Kazartsev wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Andrey I. Klyuchnikov review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment
Anatoliy A. Slavyanskiy organized production trials
Vera A. Gribkova proposed a scheme of the experiment and conducted an experiment

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/02/2025	**После редакции** 18/02/2025	**Принята в печать** 10/03/2025
Received 01/02/2025	**Accepted in revised** 18/02/2025	**Accepted** 10/03/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-86-92 Оригинальная статья/Research article
УДК 637.02 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Оценка безопасности баранины для производства мясных снеков после применения кормовой добавки «ЛактуВет-1» в рационе животных

Илья А. Горбанов [1] i.gorbanov@ya.ru 0009-0008-0807-6188
Татьяна М. Гиро [2] girotm@sgau.ru 0000-0003-3039-1324

1 Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, ул. Соколовая, 335, г. Саратов, 410005, Россия
2 Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К. А. Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, Москва, 127434, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты испытаний, направленных на определение содержания тяжёлых металлов в мышечной ткани овец эдильбаевской породы, в рацион которых вводилась кормовая добавка «ЛактуВет‑1», а также на оценку показателей безопасности пищевого продукта, произведённого из этого мяса. Содержание мышьяка и кадмия не превышало установленных норм, составляя менее 0,01 мг/кг как в опытной, так и в контрольной группах. Уровень свинца в опытной группе составил 0,02 мг/кг, а в контрольной – 0,03 мг/кг, что также соответствовало нормативным требованиям. Оптимизирована рецептура производства мясных снеков из исследованного мясного сырья. В ее состав вошли: баранина – 100 кг, поваренная пищевая соль – 1800 г, нитритная соль (0,6%) – 1000 г, белый сахар – 200 г, стартовые культуры «Престостарт FB САЗ» – 30 г, соевый соус – 1000 г, чёрный перец – 100 г, аскорбиновая кислота – 50 г. Измерены значения pH мяса в зависимости от продолжительности посола. Данные показали, что процесс маринования баранины эффективно снижает её pH. В течение всего периода pH снизился с 6,03 до 5,53, что свидетельствует о положительном воздействии маринада на улучшение сохранных характеристик мяса. Проанализированы микробиологические показатели мясных снеков. Результаты проведённых испытаний показали отсутствие патогенных микроорганизмов (Salmonella spp., E. coli, Listeria monocytogenes, сульфитредуцирующие клостридии, Staphylococcus aureus) и соответствие установленным санитарно-гигиеническим нормам, что свидетельствует о высокой безопасности готового продукта.

Ключевые слова: тяжелые металлы, мясное сырье, снеки из баранины, рецептура, показатель pH, микробиологические показатели.

Evaluation of lamb meat safety for meat snack production after the use of the feed supplement “LactuVet-1” in animal diets

Ilia A. Gorbanov [1] i.gorbanov@ya.ru 0009-0008-0807-6188
Tatiana M. Giro [2] girotm@sgau.ru 0000-0003-3039-1324

1 Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Sokolova St., 335, Saratov, 410005, Russia
2 Russian State Agrarian University – K.A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow 127434, Russia

Abstract. This paper presents the results of experiments aimed at determining the content of heavy metals in the muscle tissue of lambs, whose diet included the feed additive "LaktuVet-1", as well as the safety parameters of the developed food product. The meat was analyzed for the content of toxic elements (arsenic, lead, cadmium). The levels of arsenic and cadmium did not exceed the established standards, constituting less than 0.01 mg/kg in both the experimental and control groups. The lead level in the experimental group was 0.02 mg/kg, while in the control group it was 0.03 mg/kg, which complied with regulatory requirements. The recipe for the production of meat snacks from experimental meat raw materials has been optimized. The recipe is as follows: lamb meat – 100 kg, table salt – 1800 g, nitrite salt (0.6%) – 1000 g, white sugar – 200 g, starter cultures "Prestart FB SAZ" – 30 g, soy sauce – 1000 g, black pepper – 100 g, ascorbic acid – 50 g. The active acidity (pH) values of the meat were measured depending on the duration of salting. The data showed that the marinating process of lamb meat effectively reduced its pH; the value decreased from 6.03 to 5.53, which indicates a positive effect of the marinade on improving the preservation characteristics of the meat. The microbiological indicators of the meat-containing snacks were also analyzed. The test results demonstrated the absence of pathogenic microorganisms (Salmonella spp., E. coli, Listeria monocytogenes, sulfite-reducing clostridia, Staphylococcus aureus) and compliance with the established sanitary and hygienic standards, which confirms the high safety of the final product.

Keywords: heavy metals, meat raw material, lamb meat snacks, recipe, pH value, microbiological parameters.

Для цитирования
Горбанов И.А., Гиро Т.М. Оценка безопасности баранины для производства мясных снеков после применения кормовой добавки «ЛактуВет-1» в рационе животных // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 86–92. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-86-92

For citation
Gorbanov I.A., Giro T.M. Evaluation of lamb meat safety for meat snack production after the use of the feed supplement “LactuVet-1” in animal diets. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 86–92. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-86-92

© 2025, Горбанов И.А. и др. / Gorbanov I.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

В последние десятилетия вопросы качества и безопасности продуктов питания приобретают особую значимость в связи с ростом потребительского спроса на экологически чистые и безопасные продукты [1,2]. Мясо остается важнейшей частью рациона человека, являясь основным источником полноценного животного белка, незаменимых аминокислот, витаминов и макроэлементов [3]. Среди различных видов мяса баранина выделяется своей высокой питательной ценностью и уникальными органолептическими характеристиками. Однако, как и любое другое мясное сырьё, баранина подвержена влиянию экологических и технологических факторов, что может сказываться на её безопасности и качестве [4].

Одним из наиболее актуальных аспектов, влияющих на безопасность мяса, является загрязнение тяжёлыми металлами [5, 6]. Тяжёлые металлы, такие как свинец, кадмий, мышьяк, способны накапливаться в тканях животных при их выращивании в неблагоприятных условиях или при несоблюдении норм кормления [7, 8]. Высокие концентрации этих элементов могут представлять серьёзную угрозу для здоровья человека, вызывая токсическое воздействие и различные заболевания при длительном потреблении загрязнённой продукции [9]. В связи с этим контроль содержания тяжёлых металлов в мясе остаётся важным направлением научных исследований в области пищевой безопасности.

В работе основное внимание уделено изучению мясного сырья, полученного от животных, в рацион которых включалась кормовая бифидогенная добавка «ЛактуВет-1». Действие таких добавок направлено на улучшение обменных процессов, повышение иммунитета и снижение риска накопления токсичных веществ в тканях животных. Однако исследования, посвящённые влиянию данной добавки на содержание тяжёлых металлов в мясе баранины и показатели безопасности конечного продукта из этого сырья, остаются ограниченными, что и определяет актуальность данной работы. В качестве конечного пищевого продукта из опытного мясного сырья были выбраны мясные снеки. Этот вид продукта является компактным, удобным и питательным, который востребован среди различных групп населения [10]. Однако при производстве таких продуктов необходимо учитывать множество факторов, включая оптимальные условия посола, параметры созревания мяса, микробиологическую безопасность. В связи с этим требуется проведение научных исследований, направленных на разработку и внедрение эффективных методов контроля качества и безопасности мясной продукции на всех этапах её производства, начиная с выбора кормовых добавок и заканчивая проверкой готовой продукции [11, 12]. Именно эту задачу мы ставим перед собой в рамках данного исследования.

Цель работы – оценка качества мясного сырья, полученного от животных, рационы которых содержали бифидогенную кормовую добавку «ЛактуВет-1», а также изготовление на его основе снеков для последующего анализа безопасности пищевого продукта.

Материалы и методы

В ходе эксперимента было сформировано две группы животных по 20 голов в каждой — контрольная и опытная. Обе группы получали основной рацион, включающий комбикорм-концентрат. В течение 90 дней в рацион опытной группы дополнительно вводили обогащённую кормовую добавку «ЛактуВет‑1. По завершении периода откорма провели забой, после которого отобрали пробы мяса для последующего лабораторного анализа.

Анализируемые пробы мяса исследовали в лаборатории «УНИЛ» Вавиловского университета. Определение содержания тяжёлых металлов в исследуемых образцах выполняли по следующим методикам: свинец и кадмий – методом атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС) с пламенной атомизацией по ГОСТ 30178-96; мышьяк – методом атомно-абсорбционной спектрометрии с гибридной генерацией (гидридный метод) по ГОСТ Р 51766-2001.

Активную кислотность (pH) определяли настольным измерителем «AQUASEARCHER TM AB33PH» потенциометрическим методом. Метод основан на измерении разности потенциалов между двумя электродами, погруженными в исследуемый раствор.

«ЛактуВет-1» – это бифидогенная кормовая добавка, предназначенная для улучшения пищеварения у сельскохозяйственных животных и птиц. Она содержит комплекс полезных веществ – лактулозу и минеральные вещества. Лактулоза способствует росту полезной микрофлоры в кишечнике, улучшают усвоение питательных веществ. Концентрат представляет собой порошок светло-желтого цвета, содержащий до 97,5% сухих веществ, включая лактулозу – 14,5%, лактозу – 25%, минеральные вещества – 16,0% (кальций, магний, калий, фосфор), азотистые вещества – 0,2%, органические кислоты – 3,4%.

Сушка снеков осуществлялась в сушилке-дегидраторе «kitfort KT-1910».

Безопасность мясных снеков по микробиологическим показателям установлена нормативным документом: Техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011) [13].

Результаты и обсуждение

Анализ на содержание токсичных элементов в мясе баранины показал следующие результаты: в опытной группе содержание свинца составило 0,02 мг/кг, что на 33,3% меньше, чем 0,03 мг/кг в контрольной группе (таблица 1). Концентрация свинца в обоих образцах была ниже допустимых уровней, что свидетельствует о безопасности мяса. Свинец обладает высокой токсичностью и способен накапливаться в организме человека, вызывая серьезные проблемы со здоровьем [14]. Он оказывает негативное воздействие на нервную систему, особенно у детей. Даже небольшие дозы свинца могут привести к задержке умственного развития, снижению IQ. У взрослых свинец может вызывать головные боли, раздражительность, снижение когнитивных функций и даже деменцию [15].

Таблица 1.

Концентрации тяжелых металлов в баранине

Table 1.

Concentrations of heavy metals in lamb meat

Токсичные элементы, мг/кг Toxic elements, mg/kg	Группы | Group		Допустимые уровни, мг/кг, не более Permissible levels, mg/kg, max.	Нормативные документы по методам испытаний Normative documents on test methods
	Опытная Experiment	Контрольная Control		
	Результат | Value			
Pb	0,02	0,03	0,5	ГОСТ 30178–96
Cd	< 0,01	< 0,01	0,05	ГОСТ 30178–96
As	< 0,01	< 0,01	0,1	ГОСТ Р 51766–2001

В обеих группах (опытной и контрольной) содержание кадмия оказалось менее 0,01 мг/кг. Это подтверждает безопасность исследуемого образца, поскольку кадмий является одним из наиболее опасных токсичных металлов, и его низкие уровни свидетельствуют о безопасности мяса. Кадмий преимущественно накапливается в почках, где он связывается с белками и образует комплекс, вызывающий повреждение почечных канальцев [16]. Это может привести к хронической почечной недостаточности, потере белка с мочой (протеинурии) и нарушению обмена кальция и фосфора [17]. Аналогично кадмию, содержание мышьяка в обеих группах также оказалось менее 0,01 мг/кг. Это подтверждает, что мясо баранины безопасно. Мышьяк является известным канцерогеном (группа 1 по классификации IARC) и связан с повышенным риском развития рака кожи, легких, печени, мочевого пузыря и других органов [18]. Его канцерогенное действие обусловлено способностью вызывать мутации ДНК и подавлять репарационные механизмы клетки. Исследование показало, что уровни тяжелых металлов в образцах баранины находятся в пределах допустимых норм, что подтверждает безопасность применения кормовой добавки «ЛактВует-1».

Следующий этап работы заключался в оптимизации рецептуры и производстве мясных снеков из исследованного мясного сырья. Рецептура включала следующие компоненты: баранина – 100кг поваренная пищевая соль – 1800 г, нитритная соль (0,6%) – 1000 г, белый сахар – 200 г, стартовые культуры «Престо-старт FB САЗ» – 30 г, соевый соус – 1000 г, чёрный перец – 100 г, аскорбиновая кислота – 50 г. Баранина нарезалась на кусочки массой 250–300 г. и подвергалась подмораживанию при температуре -8 °С в течение 3–4 часов. Затем мясо нарезалось тонкими ломтиками толщиной 3–4 мм. Далее проводился посол сырья со стартовыми культурами. Процесс начинался с тёплого созревания при температуре 12–18 °С, продолжительностью 14 часов, после чего посол продолжался в холодильной камере при температуре 0–4 °С в течение 10 часов. После этого продукт подвергался сушке, охлаждался при температуре 4–8 °С, упаковывался и маркировался.

Проанализированы показатели pH мяса баранины в зависимости от продолжительности посола. Данные показали, что процесс маринования баранины эффективно снижает её pH.

Процесс снижения pH в мясе был динамичен (рисунок 1). Активная кислотность (pH) исследуемых образцов во время посола снижалась с 6,03, 5,77, 5,68 и 5,53. Снижение pH обусловлено действием нескольких факторов, входящих в состав маринада. Нитритная соль, помимо консервирующего эффекта, повышает микробиологическую безопасность готового продукта. Соевый соус приводит к образованию органических кислот, таких как молочная и лимонная кислоты, что дополнительно снижает pH. Черный перец, помимо ароматических свойств, обладает антиоксидантными качествами, помогающими защитить жиры от окисления. Аскорбиновая кислота является органической кислотой, которая способна снижать pH среды за счет своего кислого характера [19]. Она часто используется в пищевых продуктах для подкисления и улучшения сохранности продуктов. Стартовые бактериальные культуры «Престо-старт FB CA3» запускают контролируемый процесс ферментации, обеспечивая желаемые вкусовые и текстурные характеристики.

Полученные данные указывают на стабильное снижение кислотности мышечной ткани в результате воздействия маринада, что соответствовало ожидаемому ходу процесса посола.

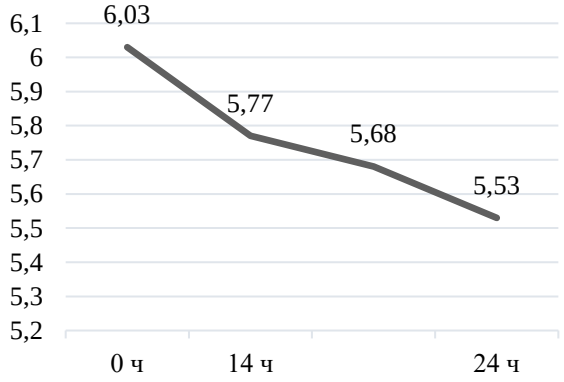


Рисунок 1. Динамика изменения pH мяса во время посола
Figure 1. Dynamics of pH changes in meat during salting

Снеки упаковывались с помощью вакуумного аппарата в герметичные пакеты, что позволяет увеличить срок их хранения (рисунок 2). Мы выбрали именно этот вариант упаковки, потому что создание безвоздушной среды внутри нее приводит к нескольким ключевым эффектам. Во-первых, отсутствие кислорода предотвращает окислительные реакции, которые могут привести к прогорканию жиров и изменению цвета продукта [20]. Во-вторых, отсутствие доступа воздуха ограничивает возможность размножения аэробных бактерий и роста плесеней, что существенно снижает риск порчи продукта. Кроме того, герметичная упаковка защищает снеки от проникновения влаги извне, что исключает возможность развития микроорганизмов [21].

Рисунок 2. Внешний вид снеков под вакуумом
Figure 2. Appearance of vacuum-packed snacks

Готовые снеки были исследованы на микробиологические показатели (таблица 2).

Таблица 2.
Микробиологические показатели снеков

Table 2.
Microbiological parameters of the snacks

Показатель Index	Нормативные значения Normative values	Фактические значения Actual values
Listeria monocytogenes	не допускается not allowed	не обнаружены not detected
Сульфитирующие клостридии, КОЕ/г Sulfiting clostridia, CFU/g		
E. coli, КОЕ/г		
S. aureus, КОЕ/г		
Salmonella spp.		

Все представленные в таблице бактерии не обнаружены, что соответствует требованиям технического регламента Таможенного союза (ТР ТС 021/2011). Эти бактерии могут вызывать тяжелые заболевания, особенно у детей, пожилых людей и лиц с ослабленным иммунитетом. Их присутствие в пищевых продуктах считается недопустимым. Контроль качества сырья является критическим этапом, поскольку наличие патогенных микроорганизмов или других вредных веществ в исходном материале приводит к загрязнению готового продукта, несмотря на последующие этапы обработки. Исследования подчеркнули необходимость оценки безопасности и питательной ценности мясного сырья.

Заключение

Установлено, что применение кормовой добавки «ЛактуВет-1» в рационах мелкого рогатого скота безопасно. Анализ показал, что концентрации мышьяка, свинца и кадмия в мышечной ткани как в опытной, так и в контрольной группах соответствовали установленным нормативным требованиям. Использование «ЛактуВет-1» не приводит к накоплению токсичных металлов в мясе и не оказывает отрицательного влияния на качество готового продукта. Изучена динамика изменения pH баранины в процессе посола в течение 24 часов. Полученные данные свидетельствуют о постепенном снижении pH, что указывает на эффективность маринования и его положительное влияние на последующее созревание продукта. Это может способствовать повышению безопасности и улучшению органолептических свойств мясных снеков. Особо следует подчеркнуть, что в мясных снеках, произведённых из исследованного сырья, не были обнаружены патогенные микроорганизмы. Это крайне важный аспект, поскольку подобные микроорганизмы представляют серьёзную угрозу для здоровья потребителей, вызывая пищевые отравления и инфекции. Таким образом, исследования продуктов питания на безопасность являются неотъемлемой частью современной системы продовольственной безопасности, направленной на защиту здоровья населения и поддержку устойчивого развития агропромышленного комплекса. Результаты настоящего исследования представляют практическую значимость для производителей мясной продукции, поскольку позволяют обосновать применение новых кормовых добавок и служат основой для совершенствования технологий производства безопасных и качественных мясных изделий, соответствующих современным требованиям рынка.

Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта РНФ 19-76-10013, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова.

Литература

1 Гусарова М.Л., Баранович Е.С., Волкова Н.И., Челышева О.Н. и др. Радиоэкологический анализ показателей безопасности животноводческой продукции // Ветеринарный врач. 2024. № 4. С. 49–57. doi:10.33632/1998–698X_2024_4_49

2 Горлов И.Ф., Федотова Г.В., Сложенкина М.И., Мосолова Н.И. и др. Продуктивные и биологические особенности баранчиков эдильбаевской породы разных генотипов, разводимых в аридных условиях нижнего поволжья // Овцы, козы, шерстяное дело. 2019. № 2. С. 2-4.

3 Гиро Т.М., Сухов М.А. Сыровяленые снеки, обогащенные витаминно – минеральным комплексом // Мясная индустрия. 2021. № 3. С. 36–40.

4 Khvostenko K., Muñoz-Pina S., Heredia A., García-Hernández J. et al. Perspective Ways to Provide Kids with Protein-Rich Snacks for Preventing Overweight: From Scientific Studies to Consumers. Food Reviews International. 2023. V. 40(5). P. 1395–1412. doi:10.1080/87559129.2023.2216285

5 Ковалева О.А., Здрабова Е.М. Оценка протеинового комплекса мясных сыровяленых чипсов с добавками природного происхождения // Все о мясе. 2018. № 4. С. 39-41.

6 Emami M. H., Saberi F., Mohammadzadeh S., Fahim A. et al. A review of heavy metals accumulation in red meat and meat products in the Middle East //Journal of Food Protection. 2023. V. 86. №. 3. С. 100048.

7 Wang Y., Liu Y., Huang X., Xiao Z. et al. A Review on Mechanistic Overview on the Formation of Toxic Substances during the Traditional Fermented Food Processing. Food Reviews International. 2021. V. 39(3). P. 1275–1292. doi:10.1080/87559129.2021.1933021

8 Xu J., Zhang M., Wang Y., Bhandari B. Novel Technologies for Flavor Formation in the Processing of Meat Products: A Review. Food Reviews International. 2021. V. 39(2). P. 802–826. doi:10.1080/87559129.2021.1926480

9 Хайруллин Д.Д., Шакиров Ш.К., Кадиков И.Р., Вафин И.Ф. и др. Ветеринарно-санитарная экспертиза мяса овец и содержание тяжелых металлов в нем при применении современной кормовой добавки // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2021. Т. 248. № 4. С. 268–271.

10 Yanmei Z., Ruicong M., Bo Ch., Wei Zh. et al. Effects of protein grass hay as alternative feed resource on lamb's fattening performance and meat quality. Meat Science. 2024. V. 218. P.109644. doi:10.1016/j.meatsci.2024.109644

11 D. Drevon S., Prache M-O., Nozières-Petit. How does a superior quality sign guarantee the quality of lamb meat? The Label Rouge case, animal. 2024. V. 18. №10. P. 101312. doi:10.1016/j.animal.2024.101312

12 Васильев В. В., Перекусихин М. В., Корочкина Ю. В. Влияние экологических и социально-гигиенических факторов на состояние здоровья детей школьного возраста //Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. №. 8. С. 760-764.

13 Технический регламент Таможенного Союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». 2011. 242 с.

14 Shah F., Sharif M. K., Bashir S., Ahsan F. Role of healthy extruded snacks to mitigate malnutrition. Food Reviews International. 2018. V. 35(4). P. 299–323. doi:10.1080/87559129.2018.1542534

15 Хвьля С.И, Гиро Т.М. Оценка качества и биологической безопасности мяса и мясных продуктов микроструктурныи методами. Буква, 2015. 240 с.

16 Garcia J.M., Teixeira P. Organic versus conventional food: A comparison regarding food safety. Food Reviews International. 2016. V. 33(4). P. 424–446. doi:10.1080/87559129.2016.1196490

17 Хатко З.Н., Ашинова А.А., Хиштова Н.С., Мочалова Е.А. Исследование влияния пленочных структур на микробиологические показатели мяса при хранении // ТППП АПК. 2018. № 3 (23). С.63-67.

18 Barzegar F., Kamankesh M., Mohammadi A. Recent Development in Formation, Toxic Effects, Human Health and Analytical Techniques of Food Contaminants. Food Reviews International. 2021. V. 39(2). P. 1157–1183. doi:10.1080/87559129.2021.1929303

19 Mykhailivna B. N., Grygorivna M. T. Safety and Quality Control of Poultry Meat in the Manufacturing and Storage Enterprise for the Implementation of the HACCP System // Achievements and prospects of modern scientific research. Buenos Aires, Argentina. 2020. P. 14.

20 Qiao L., Xu J., Yang Z., Li X. et al. Residual risk of avermectins in food products of animal origin and their research progress on toxicity and determination //Food Reviews International. 2023. V. 39. №. 9. P. 7019-7047.

21 Щупакова Ю. И., Сенина А. А. Ветеринарно-санитарная экспертиза баранины импортного и отечественного производства. International scientific review. №. 7 (38). С. 60-62.

References

1 Gusarova M.L., Baranovich E.S., Volkova N.I., Chelysheva O.N. et al. Radioecological analysis of safety indicators of livestock products // Veterinarian. 2024. no. 4. pp. 49-57. doi:10.33632/1998–698X_2024_4_49 (in Russian).

2 Gorlov I.F., Fedotova G.V., Skladenkina M.I., Mosolova N.I. and others. Productive and biological features of Edilbaev sheep of different genotypes bred in arid conditions of the Lower Volga region // Sheep, goats, wool business. 2019. no. 2. pp. 2-4. (in Russian).

3 Giro T.M., Sukhov M.A. Raw dried snacks enriched with vitamin and mineral complex // Meat industry. 2021. vol. 3. pp. 36–40. (in Russian).

4 Khvostenko K., Muñoz-Pina S., Heredia A., García-Hernández J. et al. Perspective Ways to Provide Kids with Protein-Rich Snacks for Preventing Overweight: From Scientific Studies to Consumers. Food Reviews International. 2023. vol. 40(5). pp. 1395–1412. doi:10.1080/87559129.2023.2216285

5 Kovaleva O.A., Yastrebova E.M. Evaluation of the protein complex is a high-batch of chips with additives of natural origin. // Everything about the world. 2018. no. 4. pp. 39-41. (in Russian).

6 Emami M. H., Saberi F., Mohammadzadeh S., Fahim A. et al. A review of heavy metals accumulation in red meat and meat products in the Middle East //Journal of Food Protection. 2023. vol. 86. no. 3. pp. 100048.

7 Wang Y., Liu Y., Huang X., Xiao Z. et al. A Review on Mechanistic Overview on the Formation of Toxic Substances during the Traditional Fermented Food Processing. Food Reviews International. 2021. vol. 39(3). pp. 1275–1292. doi:10.1080/87559129.2021.1933021

8 Xu J., Zhang M., Wang Y., Bhandari B. Novel Technologies for Flavor Formation in the Processing of Meat Products: A Review. Food Reviews International. 2021. vol. 39(2). pp. 802–826. doi:10.1080/87559129.2021.1926480

9 Khairullin D.D., Shakirov S.K., Kadikov I.R., Vafin I.F. et al. Veterinary and sanitary examination of sheep meat and the content of heavy metals in it when using modern feed additives // Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman. 2021. vol. 248. no. 4. pp. 268-271. (in Russian).

10 Yanmei Z., Ruicong M., Bo Ch., Wei Zh. et al. Effects of protein grass hay as alternative feed resource on lamb's fattening performance and meat quality. Meat Science. 2024. vol. 218. pp.109644. doi:10.1016/j.meatsci.2024.109644

11 D. Drevon S., Prache M-O., Nozières-Petit. How does a superior quality sign guarantee the quality of lamb meat? The Label Rouge case, animal. 2024. vol. 18. no. 10. pp. 101312. doi:10.1016/j.animal.2024.101312

12 Vasiliev V. V., Perekusikhin M. V., Kurochkina Yu. V. The influence of environmental and socio-hygienic factors on the health of school-age children //Hygiene and sanitation. 2016. vol. 95. no. 8. pp. 760-764. (in Russian).

13 Technical Regulations of the Customs Union 021/2011. On the safety of food products. 2011. 242 p. (in Russian)

14 Shah F., Sharif M. K., Bashir S., Ahsan F. Role of healthy extruded snacks to mitigate malnutrition. Food Reviews International. 2018. vol. 35(4). pp. 299–323. doi:10.1080/87559129.2018.1542534

15 Khvilya S.I., Giro T.M. Assessment of Quality and Biological Safety of Meat and Meat Products using Microstructural Methods. Bukva. 2015. 240 p. (in Russian).

16 Garcia J.M., Teixeira P. Organic versus conventional food: A comparison regarding food safety. Food Reviews International. 2016. vol. 33(4). pp. 424–446. doi:10.1080/87559129.2016.1196490

17 Khatko Z.N., Ashinova A.A., Khishtova N.S., Mochalova E.A. Study of the Effect of Film Structures on the Microbiological Parameters of Meat During Storage // TPAP Agroindustrial Complex. 2018. no. 3 (23). pp. 63-67. (in Russian).

18 Barzegar F., Kamankesh M., Mohammadi A. Recent Development in Formation, Toxic Effects, Human Health and Analytical Techniques of Food Contaminants. Food Reviews International. 2021. vol. 39(2). pp. 1157–1183. doi:10.1080/87559129.2021.1929303

19 Mykhailivna B. N., Grygorivna M. T. Safety and Quality Control of Poultry Meat in the Manufacturing and Storage Enterprise for the Implementation of the HACCP System // Achievements and prospects of modern scientific research. Buenos Aires, Argentina. 2020. pp. 14.

20 Qiao L., Xu J., Yang Z., Li X. et al. Residual risk of avermectins in food products of animal origin and their research progress on toxicity and determination //Food Reviews International. 2023. vol. 39. no. 9. pp. 7019-7047.

21 Shchupakova Yu. I., Senina A. A. Veterinary and sanitary examination of mutton of imported and domestic production. International scientific review. no. 7 (38). pp. 60-62. (in Russian).

Сведения об авторах

Илья А. Горбанов аспирант, кафедра технологии производства и переработки продукции животноводства, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, ул. Соколовая, 335, г. Саратов, 410005, Россия, i.gorbanov@ya.ru

https://orcid.org/0009-0008-0807-6188

Татьяна М. Гиро д.х.н., профессор, кафедра технологии производства и переработки продукции животноводства, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К. А. Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, Москва, 127434, Россия, girotm@sgau.ru

https://orcid.org/0000-0003-3039-1324

Information about authors

Ilia A. Gorbanov postgraduate student, technology for production and processing of animal products department, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Sokolova St., 335, Saratov, 410005, Russia, i.gorbanov@ya.ru

https://orcid.org/0009-0008-0807-6188

Tatiana M. Giro Dr. Sci. (Engin.), professor, technology for production and processing of animal products department, Russian State Agrarian University – K.A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow 127434, Russia, girotm@sgau.ru

https://orcid.org/0000-0003-3039-1324

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 03/02/2025	**После редакции** 24/03/2025	**Принята в печать** 06/03/2025

Received 03/02/2025	**Accepted in revised** 24/03/2025	**Accepted** 06/03/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-93-99 Оригинальная статья/Research article
УДК 543.645.6 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Поиск антигипертензивных пептидов в гидролизатах свиных субпродуктов с помощью пептидомических подходов

Елена С. Разумовская [1] elenabar83@inbox.ru 0000-0001-7879-6625
Ирина С. Милентьева [2] irazumnikova@mail.ru 0000-0002-3536-562X

1 КГБУ «Управление ветеринарии Алтайского края по г. Барнаулу», г. Барнаул, Россия
2 Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия

Аннотация. В последнее время, повышенным спросом пользуются продукты питания с функциональной направленностью, способствующие укреплению здоровья. Перспективным сырьем для такой продукции могут быть субпродукты мясные, например, свиные желудки, богатые источником биологически доступного белка. Целью данного исследования был поиск и идентификация пептидов на предмет ингибиторной активности ангиотензин-превращающего фермента (АПФ) с помощью пептидомических подходов in silico. В качестве объекта исследования предстал белок, идентифицированный в базе UniProt, как P01284. Комбинируя биоинформационные инструменты, можно значительно упростить рабочий процесс, необходимый для скрининга ингибирующих АПФ пептидов, и значительно сократить расходы на поиск активных пептидов, повысив общую эффективность. Установлено, что монопептиды L (Leu), F (Phe) и M (Met) — это активные фрагменты, известных пептидов, обладающих функцией снижать артериальное давление, которые ранее были обнаружены в белках рыбной, растительной, молочной продукции. VF (Val-Phe) содержится в 103 последовательностях, из которых 29 содержат точный пептид Val-Phe. За прототип был выбран точный пептид VF (Val-Phe) выделенный из саркоплазматических белков свинины. Дальнейшие исследования должны включать изучение анти-АПФ-активности in vivo и поиск новых пептидов, что приведет к появлению на рынке более полезных обогащенных продуктов. Комплексный подход позволил ускорить и удешевить процесс идентификации перспективных антигипертензивных пептидов. Представленная методология может быть эффективно применена для дальнейшего поиска биоактивных соединений в животном сырье. Полученные результаты подтверждают потенциал использования свиных субпродуктов для производства функциональных пищевых ингредиентов. В перспективе планируются исследования in vivo для подтверждения биологической активности идентифицированных пептидов и расширения ассортимента нутрицевтиков с доказанным действием.

Ключевые слова: животный белок, пептиды, методы in silico, гипертония, антигипертензивная активность, токсичность.

Search for antihypertensive peptides in hydrolysates of pork by-products using peptidomic approaches

Elena S. Razumovskaya [1] elenabar83@inbox.ru 0000-0001-7879-6625
Irina S. Milentyeva [2] irazumnikova@mail.ru 0000-0002-3536-562X

1 KGBU "Department of Veterinary Medicine of the Altai Territory for the City of Barnaul", Barnaul, Russia
2 Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Abstract. Recently, food products with a functional focus that promote health have been in increased demand. Promising raw materials for such products may be meat by-products, for example, pork stomachs, rich in sources of biologically available protein. The aim of this study was to search and identify peptides for angiotensin-converting enzyme (ACE) inhibitory activity using in silico peptidomic approaches. The object of study was a protein identified in the UniProt database as P01284. By combining bioinformatics tools, the workflow required for screening ACE inhibitory peptides can be greatly simplified and the costs of searching for active peptides can be significantly reduced, increasing overall efficiency. It has been established that monopeptides L (Leu), F (Phe) and M (Met) are active fragments of known peptides that have the function of lowering blood pressure, which were previously found in proteins of fish, vegetable, and dairy products. VF (Val-Phe) is contained in 103 sequences, of which 29 contain the exact Val-Phe peptide. The exact VF (Val-Phe) peptide isolated from pork sarcoplasmic proteins was chosen as the prototype. Future research should include studies of anti-ACE activity in vivo and the search for new peptides, which will lead to the availability of more beneficial fortified products on the market. The integrated approach allowed to speed up and reduce the cost of identifying promising antihypertensive peptides. The presented methodology can be effectively applied to further search for bioactive compounds in animal raw materials. The obtained results confirm the potential of using pork by-products for the production of functional food ingredients. In the future, in vivo studies are planned to confirm the biological activity of the identified peptides and expand the range of nutraceuticals with proven action.

Keywords: animal protein, peptides, in silico methods, hypertension, antihypertensive activity, toxicity.

Для цитирования
Разумовская Е.С., Милентьева И.С. Поиск антигипертензивных пептидов в гидролизатах свиных субпродуктов с помощью пептидомических подходов // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 93–99. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-93-99

For citation
Razumovskaya. E.S., Milentyeva I.S. Search for antihypertensive peptides in hydrolysates of pork by-products using peptidomic approaches. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 93–99. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-93-99

© 2025, Разумовская Е.С. и др. / Razumovskaya. E.S. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Гипертония или высокое кровяное давление – это тяжёлое заболевание, от которого страдают более 1,28 миллиарда человек в возрасте от 30 до 79 лет. Это хроническое, часто бессимптомное заболевание, которое является одним из основных факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний, а также заболеваний сердца, почек и других органов [1–2].

Кровяное давление у людей регулируется ренин-ангиотензин-альдостероновой системой (РААС) с помощью двух основных протеаз – ренина и АПФ. Благодаря тому, что ингибиторы АПФ, обладают способностью снижать уровень ангиотензина II, а также сужать кровеносные сосуды, они часто используются при таких заболеваниях, как гипертония [3].

Однако эти синтетические препараты обычно вызывают побочные эффекты, такие как постоянный сухой кашель, ангионевротический отёк и врождённые пороки развития [4].

Патогенез гипертонии сложен и до конца не изучен, так как в его развитии участвуют многие факторы: такие как индекс массы тела, пол, стресс, старение и малоподвижный образ жизни [5].

Следовательно, снижение распространённости гипертонии имеет важное значение, а также существует потребность в новых стратегиях лечения гипертонии [6].

В этом контексте всё больший интерес представляют биоактивные пептиды, которые представляют собой небольшие специфические фрагменты белка (2–20 аминокислотных остатков), высвобождающиеся из натурального белка в результате гидролиза. Таким образом, эти функциональные пептиды обладают разнообразными биологическими свойствами, такими как противовоспалительные, противодиабетические, противомикробные, а также антигипертензивные [7–8].

Даская-Дикмен и др. отметили, что количество аминокислот в пептидах с антигипертензивными свойствами, полученных из микроводорослей, варьируется от 2 до 11 [9].

Что касается гипертонии, то есть достоверные сведения того, что пептиды могут помочь предотвратить или облегчить это заболевание [10–12].

Так, в последние годы сообщалось о ряде пептидов, снижающих кровяное давление, включая Leu-Ile-Val-Gly-Ile-Ile-Arg-Cys-Val, полученный из миофибриллярных белков говядины [13].

Abachi S и др., доказали наличие антигипертензивного воздействия пептидов на организм, полученных из гидролизата сушёного морского окуня [14].

Синтетические пептиды (QTDEYGNPPR, AGFAGDDAPR, IDESLR и IQDKEGIPPDQQR), обнаруженные в чёрном чае, были протестированы авторами на ингибирующую активность АПФ [15].

Пшеничная клейковина, гидролизованная алкалазой с образованием небольших фрагментов (<1 кДа), была особенно предпочтительной из-за ингибирующего потенциала АПФ. Это говорит о том, что пептиды, полученные из гидролизата пшеничного глютена могут использоваться в нутрицевтиках и функциональных продуктах для профилактики и / или лечения гипертонии [16].

Среди множества потенциальных источников питания, используемых для получения биоактивных пептидов, отличным вариантом являются побочные продукты агропродовольственной промышленности [17].

В частности, особый интерес представляют продукты животного происхождения, поскольку они богаты белками, которые обычно легко извлекаются, и являются недорогими [18–19].

Побочные продукты животного происхождения или субпродукты, являются ценными источниками пептидов, кроме того, повторное использование этих отходов, позволит прийти к безотходному производству [20–22].

Биоинформационные программы является распространённым и эффективным методом поиска антигипертензивных пептидов.

Принимая во внимание все эти факты, в настоящей статье основное внимание уделяется оценке потенциальной роли побочных продуктов свиноводства в качестве источника пептидов, необходимых для разработки физиологически-полезных функциональных пищевых продуктов.

Цель работы – поиск и идентификация пептидов на предмет ингибиторной активности ангиотензин-превращающего фермента (АПФ) с помощью пептидомических подходов *in silico.*

Материалы и методы

В предыдущих исследованиях, для получения аминокислотной последовательности интересующего белка P01284, была использована база данных протеомики – UniProt (www.uniprot.org). Дальнейший гидролиз белка с использованием оптимального фермента (пепсин (pH > 2) осуществлялся в онлайн – режиме с использованием программы Peptide cutter (http://www.expasy.org/resources/peptidecutter), а полученные пептиды были дополнительно протестированы. Оценку биологической активности идентифицированных пептидов проводили при помощи программы Peptide Ranker (http://distilldeep.ucd.ie/PeptideRanker/). Для дальнейшего анализа были отобраны пептиды со значением ≥ 0,5.

Прогнозирование растворимости полученных пептидов в воде осуществляли с использованием инструмента Innovagen (http://PepCalc.com).

Кроме того, для систематического прогнозирования антигипертензивных свойств пептидов,

с использованием комплексной программы AHTPDB (http://crdd.osdd.net/raghava/ahtpdb/pep.php) были отобраны пептиды с «хорошей растворимостью в воде». Наконец, все потенциально биоактивные пептиды, были проверены на токсичность с помощью инструмента ToxinPred (https://webs.iiitd.edu.in/raghava/toxinpred/design.php).

Комбинируя вышеперечисленные биоинформационные инструменты, можно значительно упростить рабочий процесс, необходимый для скрининга ингибирующих АПФ пептидов, и значительно сократить расходы на поиск активных пептидов, повысив общую эффективность.

Результаты

После исключения всех повторяющихся пептидов осталось 6 неповторяющихся пептидов, среди которых были моно-, ди- и тетра-пептиды. Последовательности этих пептидов были получены из белка свиных желудков (P01284) с помощью онлайн-гидролиза. Последовательности этих коротких пептидов приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Идентифицированные пептидные последовательности из фракции гидролизата белка (P01284) с молекулярной массой 8,539 кДа *

Table 1.

Identified peptide sequences from the protein hydrolyzate fraction (P01284) with a molecular weight of 8.539 kDa*

Пептидная последовательность Peptide sequence	Значение ранкера пептидов Peptide ranker value	Используемые ферменты Enzymes used
F (Phe)	0,999052	Протеиназа К
DGVF (Asp-Gly-Val-Phe)	0.729146	Пепсин (pH > 2)
L (Leu)	0,639092	Пепсин (pH > 2)
VF (Val-Phe)	0,815398	Пепсин (pH > 2)
MA (Met – Ala)	0,693293	Пепсин (pH > 2)
M (Met)	0,970074	Термолизин

* Информация получена авторами из результатов поиска с помощью программного обеспечения **Peptide Ranker** 12 декабря 2024 г

* Information obtained by the authors from a search using Peptide Ranker software on December 12, 2024

С помощью программного комплекса Peptide Ranker были идентифицированы шесть пептидов из белка свиных желудков с номером доступа белка из базы данных UniProt P01284.

Белок был выделен с помощью масс-спектрометрии, а показатель Peptide Ranker указывает на потенциальную биологическую активность (чем ближе показатель к 1, тем выше биологическая активность).

Идентифицированные моно-пептид Phe и Met получили оценку 0,9 по шкале Peptide Ranker, что является самым высоким значением, полученным для любого пептида.

Это указывает на то, что данные пептиды, обладают биологической активностью. Допустимые значения вероятности биологической активности находятся в диапазоне от 0,5 до 1,0. Ди-пептид Val-Phe получил оценку 0,81 по шкале Peptide Ranker, что указывает на высокую потенциальную биологическую активность. Тетра-пептид Asp – Gly-Val-Phe получили оценку 0,78. Пептиды Met – Ala и Leu получил оценку 0,6.

Далее, определяем молекулярную массу, изоэлектрическую точку и растворимость пептидов в воде.

Установлено, что пептиды, имеющие буквенный код MA (Met – Ala) и DGVF (Asp – Gly-Val-Phe) имеют плохую растворимость в воде.

Наибольшую изоэлектрическую точку имеют пептиды VF (Val-Phe), L (Leu) и M (Met) равную 3,67, 3,63 и 3,46 соответственно.

Молекулярная масса равная 436,46 g/mol соответствует пептиду DGVF (Asp – Gly-Val-Phe) (таблица 2).

Таблица 2.

Определение физико-химических свойств пептидов

Table 2.

Determination of physicochemical properties of peptides

Singie letter code (Буквенный код)	Triple letter code (Трех-буквенный код)	Physiochemical properties (Физико-химические свойства)					
		number of residues (количество остатков)	molecular weight (молекулярная масса)	extinction coefficient (коэффициент вымирания)	iso-electric point (изоэлектрическая точка)	net charge at ph 7 (чистый расход при ph 7)	estimated solubility (расчетная растворимость)
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
L (Leu)	NH2-Leu-COOH	1	131,17 g/mol	0 M^{-1} cm^{-1}	3,63	0	good water solubility хорошая растворимость в воде
MA (Met-Ala)	NH2-Met-Ala-COOH	2	220,29 g/mol	0 M^{-1} cm^{-1}	3,37	0	poor water solubility плохая растворимость в воде

Продолжение таблицы 2 | Continuation of table 2

1	2	3	4	5	6	7	8
DGVF (Asp-Gly-Val-Phe)	NH2-Asp-Gly-Val-Phe-COOH	4	436,46 g/mol	0 M⁻ ¹ cm⁻ ¹	0,76	-1	poor water solubility плохая растворимость в воде
VF (Val-Phe)	NH2-Val-Phe-COOH	2	264,32 g/mol	0 M⁻ ¹ cm⁻ ¹	3,67	0	good water solubility хорошая растворимость в воде
M (Met)	NH2-Met-COOH	1	149,21 g/mol	0 M⁻ ¹ cm⁻ ¹	3,46	0	good water solubility хорошая растворимость в воде
F (Phe)	NH2-Phe-COOH	1	165,19 g/mol	0 M⁻ ¹ cm⁻ ¹	3,45	0	good water solubility хорошая растворимость в воде

* Информация получена авторами из результатов поиска с помощью инструмента Innovagen **27** декабря 2024 г.

Следующий этап работы заключался в анализе токсичности пептидов. Проводили сравнительную оценку шести анализируемых пептидов. Последующая оценка токсичности показала, что все исследуемые пептиды «нетоксичны» (таблица 3).

Таблица 3.

Предсказание токсичности пептидов

Table 3.

Peptide Toxicity Prediction

Пептидная последовательность Peptide sequence	Положение мутации Mutation position	Оценка SVM SVM score	Предсказание Prediction	Гидрофобность Hydrophobicity	Гидрофильность Hydrophilicity	Моль вес Mole weight
VF (Val-Phe)	Никакой мутации No mutation	-0.80	Не токсичен Non-toxic	0.57	-2.00	264.34
MA (Met-Ala)		-0.80		0.26	-0.90	220.30
F (Phe)		0.61		0.70	0.00	–
DGVF (Asp-Gly-Val-Phe)		-0.90		0.15	-0.25	436.51
L (Leu)		0.53		0.53	0.00	–
M (Met)		0.26		0.78	0.00	–

* Информация получена авторами из результатов поиска с помощью инструмента ToxinPred 28 декабря 2024 г.

* Information retrieved by the authors from search results using the ToxinPred tool on December 28, 2024.

Для дальнейшего прогнозирования ингибирующей активности АПФ были отобраны пептиды с «хорошей растворимостью в воде».

Идентификация пептидной последовательности во фракциях, демонстрирующих антигипертензивную активность, была проведена с помощью комплексной программы AHTPDB.

В ходе исследования было установлено, что монопептиды L (Leu), F (Phe) и M (Met) – это активные фрагменты, известных пептидов, обладающих функцией снижать артериальное давление, которые ранее были обнаружены в белках рыбной, растительной, молочной продукции [23–25].

Монопептид L (Leu) содержался в 1984, F (Phe) – в 1265, M (Met) – в 413 последовательностях белков, обладающих функцией снижать артериальное давление.

VF (Val-Phe) содержится в 103 последовательностях, из которых 29 содержат точный пептид Val-Phe. За прототип был выбран точный пептид VF (Val-Phe) выделенный из саркоплазматических белков свинины. Молярный вес которого составляет 264.32, изоэлектрическая точка = 5.49.

Дальнейшее исследование было направлено на определение физико-химических свойств антигипертензивного пептида VF.

Данные по определению состава, гидрофобности, полярности представлены на рисунке 1.

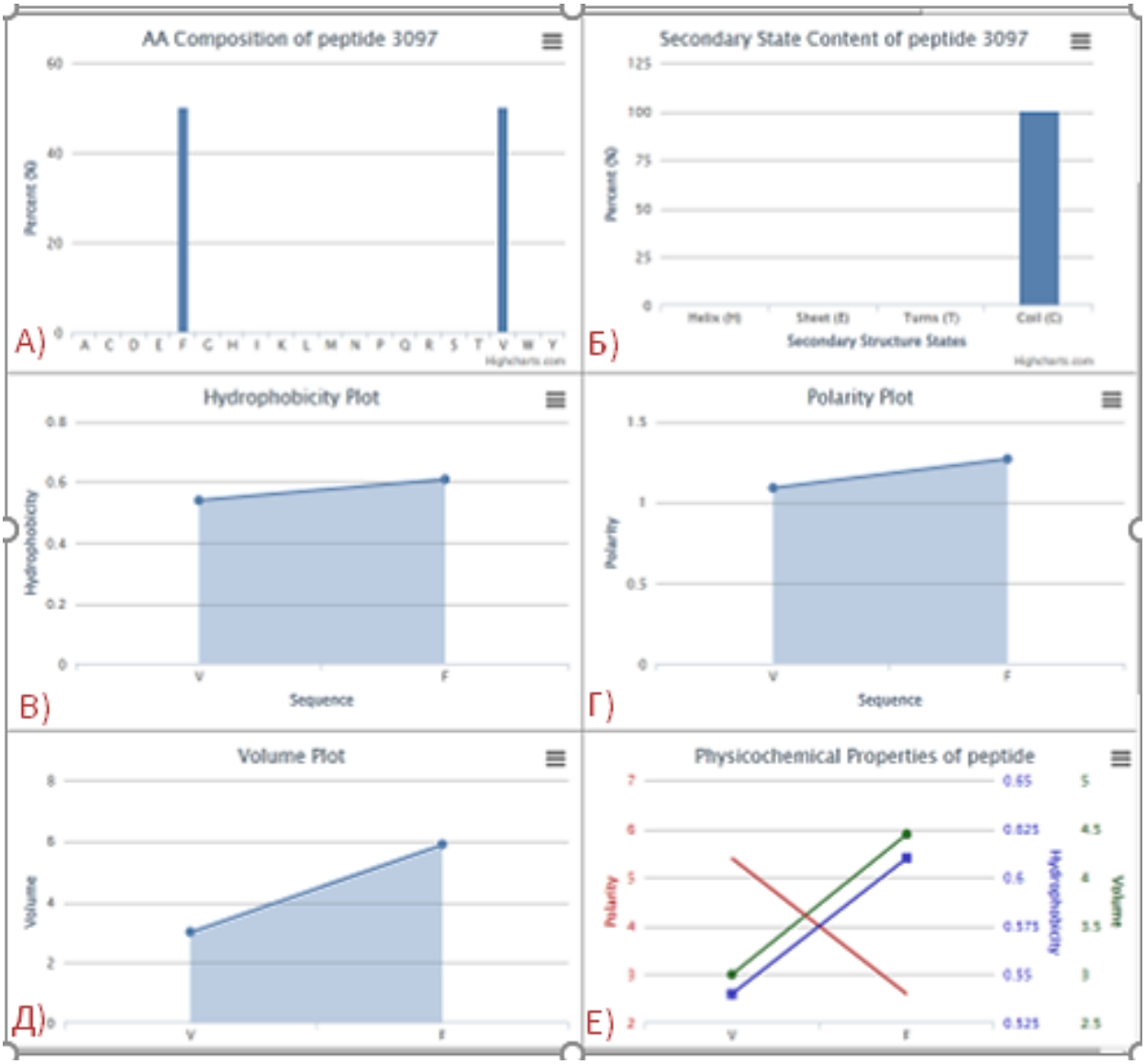


Рисунок 1. Отображаемые физико-химические свойства пептида VF (Val-Phe): А) Состав пептида (процент,%): V50%, F 50%; Б) Содержание пептида во вторичном состоянии: 100%; В) График гидрофобности: последовательность от V = 0,54 до F = 0,61; Г) График полярности: последовательность от V = 1,09 до F = 1,27; Д) График объема: последовательность от V = 3 до F = 5,89; Е) Физико-химические свойства пептида: (полярность от F = 2,8 до V = 4,2; гидрофобность от V = 0,5 до F = 0,61, объем от V = 3 до F = 5,89)

Figure 1. Displayed physicochemical properties of VF peptide (Val-Phe): A) Composition of peptide (percent,%): V50%, F 50%; Б) Secondary state content of peptide: 100%; B) Hydrophobicity plot (V = 0,54, F = 0,61; Г) Polarity plot: V = 1,09, F = 1,27; Д) Volume plot: V = 3, F = 5,89; E) Physicocchemical propertias of peptide: (polarity F = 2,8, V = 4,2; hydrophobicity V = 0,5, F = 0,61, volume V = 3 F = 5,89)

Анализ показывает, что исследуемый пептид состоит из аминокислот с полярными и гидрофобными свойствами. Наши исследования согласуются с ранее опубликованными и подтверждают то, что гидрофобные аминокислоты с положительнымзарядом могут способствовать взаимодействию пептидов с АПФ [26].

Заключение

Протеомными методами, а также при помощи платформы AHTPDB, был успешно отобран пептид VF (Val-Phe) с доказанной антигипертензивной активностью.

Полученные результаты дают дополнительные доказательства наличия пептидов в свиных субпродуктах, ингибирующих АПФ.

Рабочий процесс, описанный в этом исследовании, может быть применён для быстрой и точной идентификации пептидов. Дальнейшие исследования будут включать изучение анти-АПФ-активности in vivo и поиск новых пептидов, что приведет к появлению на рынке более полезных обогащенных продуктов.

Литература

1 Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ). Гипертония. URL: http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/hypertension (дата обращения: 26.12.2024).

2 Mirzaei M., Mirdamadi S., Safavi M. Structural analysis of ACE-inhibitory peptide (VL9) derived from Kluyveromyces marxianus protein hydrolysate // J. Mol. Struct. 2020. Vol. 1213. 128199. doi: 10.1016/j.molstruc.2020.128199.

3 Gomes C. et al. Current genetic engineering strategies for the production of antihypertensive ACEI peptides // Biotechnology and Bioengineering. 2020. Vol. 117. No. 8. P. 2610–2628.

4 Aluko R.E. Food protein- derived renin- inhibitory peptides: in vitro and in vivo properties // Journal of Food Biochemistry. 2019. Vol. 43. No. 1. e12648.

5 Xu Z. et al. Identification of post-digestion ACE inhibitory peptides from soybean protein isolate: production conditions and in silico molecular docking // Food Chemistry. 2021. Vol. 345. 128855. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128855.

6 Hajat C., Stein E. The global burden of multiple chronic conditions: A narrative review // Prev. Med. Rep. 2018. Vol. 12. P. 284–293. doi: 10.1016/j.pmedr.2018.10.008.

7 Abdelhedi O., Nasri M. Advances in marine antihypertensive peptides: production, structure-activity and bioavailability // Trends Food Sci. Technol. 2019. Vol. 88. P. 543–557. doi: 0.1016/j.tifs.2019.04.002.

8 Филипцова Г.Г. Роль пептидных гормонов в регуляции роста и развития растений и их адаптации к внешним факторам // Эксперим. биология и биотехнология. 2024. № 2. С. 4–23.

9 Daskaya-Dikmen C. et al. ACE-inhibitory peptides from plants // Nutrients. 2017. Vol. 9. No. 4. 316. doi: 10.3390/nu9040316.

10 Rezvankhah A. et al. Generation of bioactive peptides from lentil protein // J. Food Meas. Charact. 2021. Vol. 15. P. 5021–5035.

11 Ajeigbe O.F. et al. Food-drug interactions and anti-hypertensive mechanisms of food bioactive compounds // J. Food Biochem. 2021. Vol. 45. No. 3. e13317.

12 Bravo F.I. et al. Production of antihypertensive peptides from chicken by-products // Nutrients. 2023. Vol. 15. No. 2. P. 457.

13 Lee S.Y., Hur S.J. ACE inhibitory peptides from beef proteins and their effect in hypertensive rat model // Biomed Pharmacother. 2019. Vol. 116. P. 109046.

14 Abachi S. et al. ACE-inhibitory peptides from fish // Mar. Drugs. 2019. Vol. 17. No. 11. P. 613. doi: 10.3390/md17110613.

15 Lu Y. et al. Inhibitory mechanism of ACE inhibitory peptides from black tea // J. Zhejiang Univ. Sci. B. 2021. Vol. 22. No. 7. P. 575–589.

16 Zhang P. et al. Novel ACE inhibitory peptides from wheat gluten hydrolysate // J. Funct. Foods. 2020. Vol. 65. P. 103751.

17 López-Fernández-Sobrino R. et al. Winery by-products as natural antihypertensive agents // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2023. Vol. 63. No. 25. P. 7708–7721.

18 Тихонов С.Л. и др. Влияние пептидов животного происхождения на костный мозг мышей // Балтийский морской форум. 2022. №. 4. С. 165–173.

19 Ворошилин Р.А., Просеков А.Ю., Махамбетов Э.М. Биоактивные пептиды из сырья животного происхождения // Аграрная наука и цифровое развитие АПК. 2022. С. 93–96.

20 Ходорева О.Г. и др. Субпродукты свиные: аминокислотный состав и белковый баланс // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2022. № 15(3). С. 79–85.

21 Siegrist M., Hartmann C. Why alternative proteins will not disrupt the meat industry // Meat Sci. 2023. Vol. 203. P. 1–6.

22 Arihara K, Yokoyama I, Ohata M. Bioactivities from meat proteins by hydrolysis and Maillard reaction // Meat Sci. 2021. Vol. 180. P. 108561.

23 Zheng SL, Luo QB, Suo SK, Zhao YQ, Chi CF, Wang B. Preparation, Identification, Molecular Docking Study and Protective Function on HUVECs of Novel ACE Inhibitory Peptides from Protein Hydrolysate of Skipjack Tuna Muscle. // Mar. Drugs. 2022. Vol. 20. No. 3. P. 176. doi: 10.3390/md20030176.

24 Liu WY, Zhang JT, Miyakawa T, Li GM, Gu RZ, Tanokura M. Antioxidant properties and inhibition of angiotensin-converting enzyme by highly active peptides from wheat gluten. // Sci. Rep. 2021. Vol. 11. P. 5206. doi: 10.1038/s41598–021–84820–7.

25 Pipaliya R, Basaiawmoit B, Sakure AA, Maurya R, Bishnoi M, Kondepudi KK, Singh BP, Paul S, Liu Z, Sarkar P, Patel A, Hati S. Peptidomics-based identification of antihypertensive and antidiabetic peptides from sheep milk fermented using Limosilactobacillus fermentum KGL4 MTCC 25515 with anti-inflammatory activity: in silico, in vitro, and molecular docking studies. // Front. Chem. 2024. Vol. 12. P. 1389846.doi: 10.3389/fchem.2024.1389846.

26 Mahta Mirzaei, Saeed Mirdamadi, Maliheh Safavi Structural analysis of ACE-inhibitory peptide (VL-9) derived from Kluyveromyces marxianus protein hydrolysate // Journal of Molecular Structure. Vol. 1213. 2020. P. 128199. doi:10.1016/j.molstruc.2020.128199.

References

1 World Health Organization (WHO). Hypertension. Available at: http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/hypertension (accessed: 26.12.2024).

2 Mirzaei M., Mirdamadi S., Safavi M. Structural analysis of ACE-inhibitory peptide (VL9) derived from Kluyveromyces marxianus protein hydrolysate. J. Mol. Struct. 2020. vol. 1213. pp. 128199. doi: 10.1016/j.molstruc.2020.128199.

3 Gomes C. et al. Current genetic engineering strategies for the production of antihypertensive ACEI peptides. Biotechnology and Bioengineering. 2020. vol. 117. no. 8. pp. 2610–2628.

4 Aluko R.E. Food protein- derived renin- inhibitory peptides: in vitro and in vivo properties. J. Food Biochem. 2019. vol. 43. no. 1. e12648.

5 Xu Z. et al. Identification of post-digestion ACE inhibitory peptides from soybean protein isolate: production conditions and in silico molecular docking. Food Chem. 2021. vol. 345. pp. 128855. doi: j.foodchem.2020.128855.

6 Hajat C., Stein E. The global burden of multiple chronic conditions: A narrative review. Prev. Med. Rep. 2018. vol. 12. pp. 284–293. doi: 10.1016/j.pmedr.2018.10.008.

7 Abdelhedi O., Nasri M. Advances in marine antihypertensive peptides: production, structure-activity and bioavailability. Trends Food Sci. Technol. 2019. vol. 88. pp. 543–557. doi: 10.1016/j.tifs.2019.04.002.

8 Filiptsova G.G. The role of peptide hormones in regulation of plant growth, development and adaptation to environmental factors. Experimental Biology and Biotechnology. 2024. no. 2. pp. 4–23. (in Russian).

9 Daskaya-Dikmen C. et al. Angiotensin-I-Converting Enzyme (ACE) Inhibitory Peptides from Plants. Nutrients. 2017. vol. 9. no. 4. 316 p. doi: 10.3390/nu9040316.

10 Rezvankhah A. et al. Generation of bioactive peptides from lentil protein. J. Food Meas. Charact. 2021. vol. 15. pp. 5021–5035.

11 Ajeigbe O.F. et al. Food-drug interactions and anti-hypertensive mechanisms of food bioactive compounds // J. Food Biochem. 2021. vol. 45. no. 3. pp. e13317.

12 Bravo F.I. et al. Production of antihypertensive peptides from chicken by-products // Nutrients. 2023. vol. 15. no. 2. 457 p.

13 Lee S.Y., Hur S.J. ACE inhibitory peptides from beef proteins and their effect in hypertensive rat model // Biomed Pharmacother. 2019. vol. 116. pp. 109046.

14 Abachi S. et al. ACE-inhibitory peptides from fish // Mar. Drugs. 2019. vol. 17. no. 11. 613 p. doi: 0.3390/md17110613.

15 Lu Y, Wang Y, Huang D, Bian Z, Lu P, Fan D, Wang X. Inhibitory mechanism of ACE inhibitory peptides from black tea. J. Zhejiang Univ. Sci. B. 2021. vol. 22. no. 7. pp. 575–589. doi: 10.1631/jzus. B2000520.

16 Zhang P, Chang C, Liu HJ, Li B, Yan QJ, Jiang ZQ, et al. Identification of novel angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory peptides from wheat gluten hydrolysate by the protease of Pseudomonas aeruginosa. J Funct Foods. 2020. vol. 65. pp. 103751. 10.1016/j.jff.2019.103751

17 López-Fernández-Sobrino R, Torres-Fuentes C, Bravo FI, Muguerza B. Winery by-products as a valuable source for natural antihypertensive agents. Crit Rev Food Sci Nutr. 2023. vol. 63. no. 25. pp. 7708–7721. doi: 10.1080/10408398.2022.2049202.

18 Tikhonov S.L., Kolberg N.A., Tikhonova N.V., Lazarev V.A. The influence of peptides of animal origin on the total cellularity of the bone marrow and the myelogram of immunodeficient mice .Baltic Marine Forum: materials of the X International Baltic Marine Forum. 2022. vol. 4. pp. 165–173.

19 Voroshilin R.A., Prosekov A. Yu., Makhambetov E.M. Bioactive peptides from secondary raw materials of animal origin. Agrarian science in the conditions of modernization and digital development of the Russian agro-industrial complex: Collection of articles based on the materials of the International Scientific and Practical Conference. 2022. pp. 93–96.

20 Khodoreva O.G., Marchenko K.A., Gordynets S.A. Pork by-products: amino acid composition and protein balance. Food Industry: Science and Technology. 2022. no. 15(3). pp. 79–85.

21 Siegrist M, Hartmann C. Why alternative proteins will not disrupt the meat industry. Meat Sci. 2023. vol. 203. pp. 1–6.

22 Arihara K, Yokoyama I, Ohata M. Bioactivities generated from meat proteins by enzymatic hydrolysis and the Maillard reaction. Meat Sci. 2021. vol. 180. pp. 108561.

23 Zheng SL, Luo QB, Suo SK, Zhao YQ, Chi CF, Wang B. Preparation, Identification, Molecular Docking Study and Protective Function on HUVECs of Novel ACE Inhibitory Peptides from Protein Hydrolysate of Skipjack Tuna Muscle. Mar Drugs. Mar. Drugs. 2022. vol. 20. no. 3. pp. 176. doi: 10.3390/md20030176.

24 Liu WY, Zhang JT, Miyakawa T, Li GM, Gu RZ, Tanokura M. Antioxidant properties and inhibition of angiotensin-converting enzyme by highly active peptides from wheat gluten. Sci Rep. 2021. vol. 11. no. 1. pp.5206. doi: 10.1038/s41598–021–84820–7.

25 Pipaliya R, Basaiawmoit B, Sakure AA, Maurya R, Bishnoi M, Kondepudi KK, Singh BP, Paul S, Liu Z, Sarkar P, Patel A, Hati S. Peptidomics-based identification of antihypertensive and antidiabetic peptides from sheep milk fermented using Limosilactobacillus fermentum KGL4 MTCC 25515 with anti-inflammatory activity: in silico, in vitro, and molecular docking studies. Front. Chem. 2024. vol. 12. pp. 1389846. doi: 10.3389/fchem.2024.1389846.

26 Mahta Mirzaei, Saeed Mirdamadi, Maliheh Safavi Structural analysis of ACE-inhibitory peptide (VL-9) derived from Kluyveromyces marxianus protein hydrolysate // Journal of Molecular Structure. 2020. vol. 1213. pp. 128199. doi:10.1016/j.molstruc.2020.128199.

27

Сведения об авторах

Елена С. Разумовская к.в.н., ведущий ветеринарный врач, КГБУ «Управление ветеринарии Алтайского края по г. Барнаулу», ул. Шевченко, 158 г. Барнаул, 656043, Россия, elenabar83@inbox.ru

https://orcid.org/0000-0001-7879-6625

Ирина С. Милентьева д.т.н, доцент, заведующий кафедрой бионанотехнологии, лаборатория биотестирования природных нутрицевтиков, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, irazumnikova@mail.ru

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

Information about authors

Elena S. Razumovskaya Cand. Sci. (Vet.), leading veterinarian, KGBU "Administration of Veterinary Medicine of the Altai Territory for the city of Barnaul", st. Shevchenko, 158 Barnaul, 656043, Russia, elenabar83@inbox.ru

https://orcid.org/0000-0001-7879-6625

Irina S. Milentyeva Dr Sci. (Engin.), Associate Professor, Laboratory of Biotesting of Natural Nutraceuticals, Kemerovo State University, Krasnaya St., 6, Kemerovo, 650000, Russia, irazumnikova@mail.ru

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

Вклад авторов

Елена С. Разумовская написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Ирина С. Милентьева обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Contribution

Elena S. Razumovskaya wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Irina S. Milentyeva review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 29/01/2025	После редакции 04/02/2025	Принята в печать 10/02/2025
Received 29/01/2025	**Accepted in revised** 04/02/2025	Accepted 10/02/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-100-108 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.3 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Исследование влияния семян чиа на реологические свойства водных растворов

Анастасия В. Терёхина [1] gorbatova.nastia@ya.ru 0000-0003-4433-9615
Виктория С. Капустина [1] viktoriyakc@gmail.com 0009-0007-5054-1218
Дина С. Мыцикова [1] dmycikova@gmail.com 0009-0001-5043-3061
Светлана А. Титова [1] stitova559@gmail.com 0009-0002-6279-9324
Виталий Н. Василенко [1] vvn_1977@mail.ru 0000-0002-1547-9814

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

Аннотация. Исследование вязкости водных растворов с семенами чиа является актуальной задачей, так как эти семена обладают уникальными функционально-технологическими свойствами. В частности, они способны образовывать вязкие гели, что делает их перспективными стабилизаторами и загустителями в пищевой промышленности. В последние годы растет интерес к использованию натуральных гидроколлоидов в качестве альтернативы синтетическим добавкам, и семена чиа привлекают внимание ученых благодаря высокому содержанию пищевых волокон и полисахаридов. В данной работе исследуются реологические свойства водных растворов с семенами чиа, которые обладают высокой гидратационной способностью и могут образовывать гелеобразные структуры. Эксперимент был направлен на изучение влияния температуры и длительности хранения на вязкость растворов, приготовленных из дроблёных и недроблёных семян. В ходе исследования были проведены измерения вязкости с использованием вибрационного вискозиметра при различных температурах. Установлено, что растворы с низкой концентрацией семян демонстрируют снижение вязкости при повышении температуры, тогда как растворы с высокой концентрацией могут проявлять как снижение, так и увеличение вязкости в зависимости от степени измельчения и времени выдержки. Повторные измерения спустя две недели показали тенденцию к стабилизации вязкости в растворах с недроблёными семенами, в то время как растворы с дроблёными семенами продемонстрировали большую изменчивость вязкостных характеристик. Долговременное хранение растворов семян чиа влияет на их реологические свойства, что важно учитывать при разработке продуктов, где гелеобразующие свойства играют ключевую роль. Полученные результаты могут быть полезны для разработки пищевых продуктов, содержащих семена чиа в качестве натуральных загустителей и стабилизаторов.

Ключевые слова: реологические свойства, семена чиа, вязкость раствора, натуральные загустители, натуральные стабилизаторы, гидратационная способность.

Investigation of the effect of chia seeds on the rheological properties of aqueous solutions

Anastasia Terekhina [1] gorbatova.nastia@ya.ru 0000-0003-4433-9615
Victoria S. Kapustina [1] viktoriyakc@gmail.com 0009-0007-5054-1218
Dina S. Mytsikova [1] dmycikova@gmail.com 0009-0001-5043-3061
Svetlana A. Titova [1] stitova559@gmail.com 0009-0002-6279-9324
Vitalii N. Vasilenko [1] vvn_1977@mail.ru 0000-0002-1547-9814

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

Abstract. The study of the viscosity of aqueous solutions with chia seeds is an urgent task, since these seeds have unique functional and technological properties. In particular, they are capable of forming viscous gels, which makes them promising stabilizers and thickeners in the food industry. In recent years, there has been a growing interest in using natural hydrocolloids as an alternative to synthetic additives, and chia seeds have attracted the attention of scientists due to their high content of dietary fiber and polysaccharides. In this paper, the rheological properties of aqueous solutions with chia seeds, which have a high hydration capacity and can form gel-like structures, are investigated. The experiment was aimed at studying the effect of temperature and storage duration on the viscosity of solutions prepared from crushed and non-crushed seeds. In the course of the study, viscosity measurements were carried out using a vibrating viscometer at various temperatures. It was found that solutions with a low concentration of seeds show a decrease in viscosity with increasing temperature, while solutions with a high concentration can exhibit both a decrease and an increase in viscosity, depending on the degree of grinding and the holding time. Repeated measurements two weeks later showed a tendency to stabilize viscosity in solutions with non-crushed seeds, while solutions with crushed seeds showed greater variability in viscosity characteristics. Long-term storage of chia seed solutions affects their rheological properties, which is important to consider when developing products where gelling properties play a key role. The results obtained can be useful for the development of food products containing chia seeds as natural thickeners and stabilizers.

Keywords: rheological properties, chia seeds, viscosity of the solution, natural thickeners, natural stabilizers, hydration ability.

Для цитирования

Терёхина А.В., Капустина В.С., Мыцикова Д.С., Титова С.А., Василенко В.Н. Исследование влияния семян чиа на реологические свойства водных растворов // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 100–108. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-100-108

For citation

Terekhina A.V., Kapustina V.S., Mytsikova D.S., Titova S.A., Vasilenk V.N. Investigation of the effect of chia seeds on the rheological properties of aqueous solutions. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 100–108. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-100-108

© 2025, Терёхина А.В. и др. / Terekhina A.V. et al.

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

Введение

Исследование вязкости водных растворов с семенами чиа является актуальной задачей, так как эти семена обладают уникальными функционально-технологическими свойствами. В частности, они способны образовывать вязкие гели, что делает их перспективными стабилизаторами и загустителями в пищевой промышленности. В последние годы растет интерес к использованию натуральных гидроколлоидов в качестве альтернативы синтетическим добавкам, и семена чиа привлекают внимание ученых благодаря высокому содержанию пищевых волокон и полисахаридов.

Ряд исследований был посвящен изучению стабилизирующего действия геля чиа в пищевых эмульсиях. Бутова С.В., Панина Е.В. и Васильченко Т.А. изучали возможность использования геля чиа в рецептурах майонезных соусов пониженной калорийности. Они установили, что гель, полученный из семян чиа, способствует повышению стойкости эмульсии и может заменить традиционные стабилизаторы, такие как яичный порошок и модифицированные крахмалы. Было доказано, что введение геля чиа в концентрации 0,7 % позволяет достичь стабилизирующего эффекта, сопоставимого с широко применяемыми гидроколлоидами, такими как карбоксиметилкрахмал и Хамульсион ECR 30 [1].

Другие исследования подтверждают, что гель семян чиа обладает высокой влагоудерживающей способностью и способен улучшать текстуру пищевых продуктов. В частности, его использование в майонезных эмульсиях способствует не только увеличению срока хранения продукта, но и его питательной ценности за счет содержания полиненасыщенных жирных кислот, пищевых волокон и антиоксидантов [2].

В исследовании, представленном в работе [3], рассматривалось влияние добавления семян чиа на реологические свойства теста и качество хлебобулочных изделий. Было установлено, что введение чиа в рецептуру изменяет вязкость теста за счёт высокой гидратационной способности их полисахаридов. Это способствует улучшению текстурных характеристик готовой продукции, в частности повышает её пористость и влагосодержание.

Анализ физико-химических показателей показал, что добавление семян чиа увеличивает содержание пищевых волокон и полиненасыщенных жирных кислот, что делает хлебобулочные изделия более питательными. Кроме того, наблюдалось замедление процессов черствения, что можно объяснить влагоудерживающей способностью геля чиа.

Применение семян чиа в хлебопечении не только влияет на вязкость теста, но и улучшает качественные характеристики конечного продукта, продлевая его свежесть и повышая пищевую ценность.

В статье, написанной Лосевской С.А. и Устиновой А.А. были описаны исследования влагоудерживающей способности семян чиа в мясной и колбасной продукции. Муку из семян чиа добавляли в колбасные изделия. В результате исследования были сделаны выводы, что семена чиа обладают высокой влагоудерживающей способностью, что позволяет использовать их в производстве мясной и колбасной продукции. Их добавление обогащает продукт полезными веществами, улучшает его текстуру и вкус, а также делает его более привлекательным для потребителей. В результате, использование семян чиа в производстве пищевых продуктов становится все более популярным и востребованным [4].

В обзорной статье журнала «Наука о продуктах питания и диетология» были сделаны следующие выводы о том, что функциональные компоненты сельскохозяйственных продуктов питания, такие как семена чиа, имеют терапевтическое значение. Семена чиа содержат более одного функционального компонента. Важность этих компонентов заключается в способности снижать риск хронических заболеваний, включая заболевания, связанные с желудочно-кишечным трактом, сердечно-сосудистые заболевания и различные виды рака. Клетчатка, ω-3 жирные кислоты, полифенолы, белок, фитостеролы, витамины и минералы снижают риск сердечных заболеваний, контролируя уровень плохого холестерина, агрегацию тромбоцитов и гипертонию. В желудочно-кишечном тракте компоненты семян чиа снижают риск развития диабета второго типа за счет улучшения работы бета-клеток и снижения уровня глюкозы в крови. Кроме того, семена чиа богаты клетчаткой, которая придает калу объем, поэтому эти семена могут предотвратить запор. Однако антиоксиданты и фенольная составляющая этих семян улучшают окисление и помогают снизить риск развития различных видов рака [5].

В статье журнала фармакогнозии и фотохимии рассматривается серьезная проблема продовольственной безопасности. Для борьбы с пищевой безопасностью хорошим вариантом может быть улучшенное использование недоиспользуемых зерен, таких как семена чиа, благодаря богатому питательному составу. Сегодня люди проявляют интерес к ним на промышлен-

ном уровне также из-за их превосходных физических и функциональных свойств. Чиа может помочь в профилактике расстройств, связанных с питанием, поскольку содержит более высокую концентрацию жирных кислот, незаменимых аминокислот, белков хорошего качества и достаточное количество пищевых волокон [6].

Результаты исследований в статье «Химический состав и пищевая ценность семян чиа – современное состояние знаний» указывают на высокую питательную ценность семян чиа и подтверждают их обширные полезные для здоровья свойства. Исследования показывают, что компоненты семян чиа оказывают благотворное влияние на улучшение липидного профиля крови благодаря их гипотензивному, гипогликемическому, антимикробному и иммуностимулирующему эффекту. В этой статье представлен обзор наиболее важной информации о потенциальном применении семян чиа в производстве продуктов питания. Представлен химический состав семян чиа и обсуждается влияние их потребления на здоровье человека [7].

Из семян чиа производится достаточно ценное масло, которое считается функциональным компонентом жировых эмульсионных продуктов [8,9].

Таким образом, изучение вязкости водных растворов с семенами чиа представляет собой важное направление исследований, связанное с развитием функциональных пищевых продуктов и созданием устойчивых эмульсионных систем. Настоящая работа направлена на исследование реологических свойств водных растворов с семенами чиа, что позволит определить перспективы их использования в различных областях пищевой промышленности.

Материалы и методы

В ходе исследования были подготовлены три различные навески дроблёных и недробленых семян чиа (рисунок 1), каждая из которых замачивалась в одинаковом объёме воды (50 мл). Масса навесок и время гидратации представлены в таблице 1. После завершения процесса замачивания был проведён анализ реологических характеристик полученных водных растворов с использованием вибрационного вискозиметра (рисунок 2). Измерения вязкости выполнялись при различных температурах, начиная от комнатной, с постепенным повышением до 40 °C. Фиксация результатов осуществлялась с шагом 1 °C.

Weight of a sample of chia seeds, g; Soaking time, minutes; Designation; Unbroken; Crushed

Таблица 1.

Данные

Table 1.

Data

Масса навески семян чиа, г Weight of chia seed sample, g	Время замачивания, мин Soaking time, min	Обозначение Designation
Недробленные | Noncrushed		
5	90	Образец № 1
10	80	Образец № 2
15	76	Образец № 3
Дробленные | Crushed		
5	120	Образец № 4
10	118	Образец № 5
15	116	Образец № 6

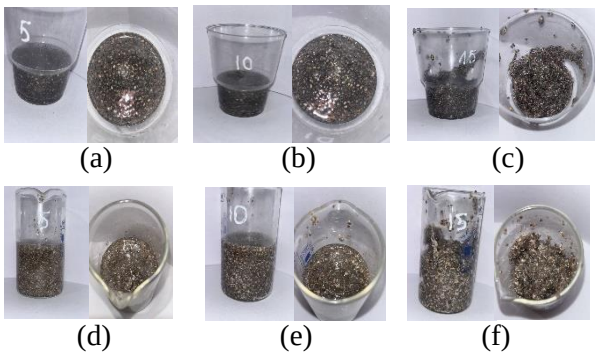


Рисунок 1. Образцы водных растворов с семенами чиа: (a) навеска недробленных семян массой 5 г; (b) навеска недробленных семян массой 10 г; (c) навеска недробленных семян массой 15 г; (d) навеска дробленных семян массой 5 г; (e) навеска дробленных семян массой 10 г; (f) навеска дробленных семян массой 15 г.

Figure 1. Samples of aqueous solutions with chia seeds: (a) a load of non-crushed seeds weighing 5 g. (b) a load of non-crushed seeds weighing 10 g. (c) a load of non-crushed seeds weighing 15 g. (d) a load of crushed seeds weighing 5 g. (e) a load of crushed seeds weighing 10 g. (f) a load of crushed seeds weighing 15 g

Рисунок 2. Вибрационный вискозиметр

Figure 2. Vibrating viscometer

Через 2 недели опыт был повторен с теми же образцами, которые хранились при температуре от 0 до 5 °С.

Результаты и обсуждение

На основании экспериментальных данных были построены графики зависимости вязкости от температуры с применением программы Microsoft Excel, что позволило провести сравнительный анализ реологических свойств растворов на основе дроблёных и недроблёных семян чиа (рисунок 3).

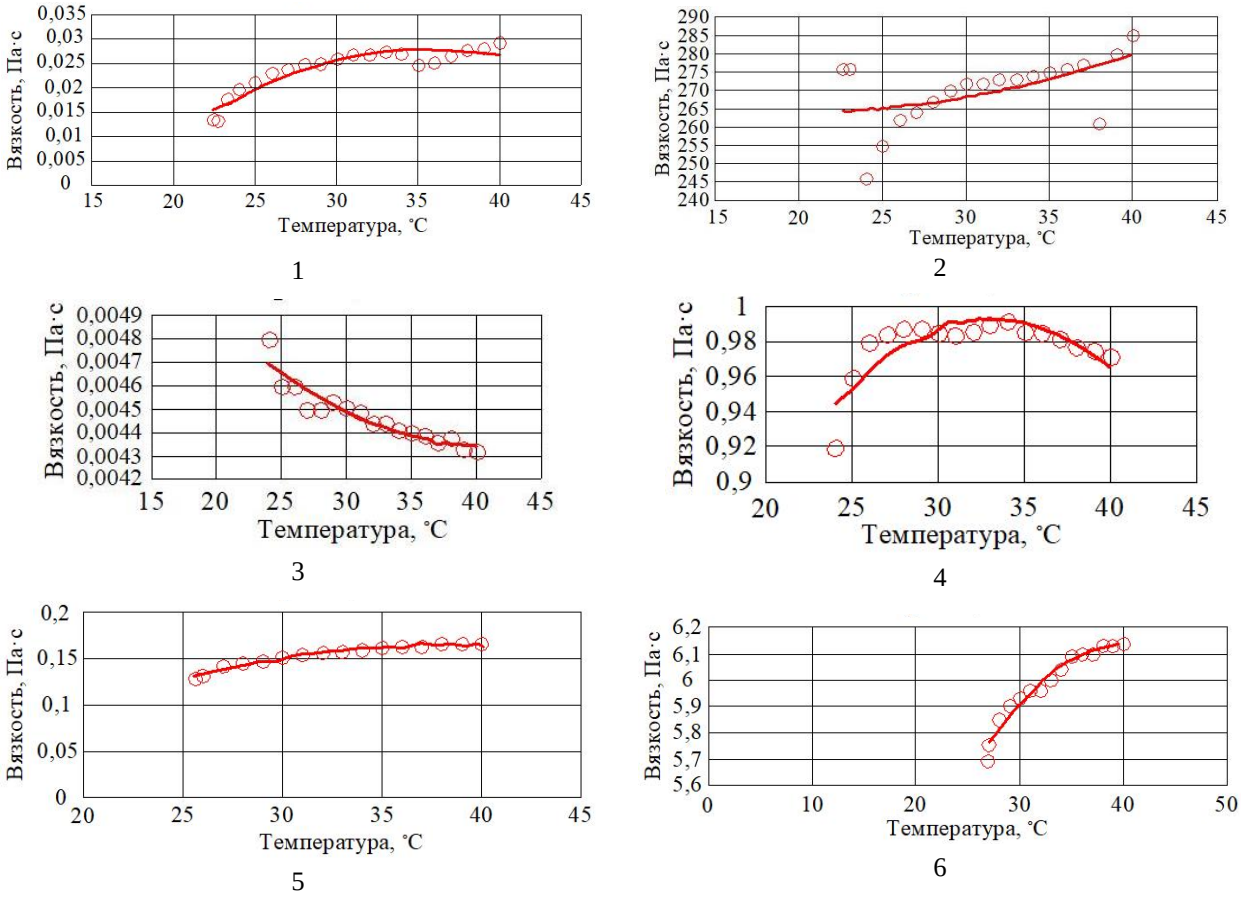


Рисунок 3. Зависимость вязкости от температуры для образцов № 1–6

Figure 3. Dependence of viscosity on temperature for samples No. 1–6

Анализ полученных данных позволил выявить основные закономерности изменения вязкости.

Образец № 1, содержащий 5 г недроблёных семян, выдержанных 90 минут, продемонстрировал умеренное снижение вязкости с повышением температуры, что описывается квадратичным уравнением $y = -7E\text{-}05x^2 + 0.0049x - 0.06$ с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.8741$.

Данный результат указывает на разрушение межмолекулярных связей при нагревании, что характерно для растворов с небольшой концентрацией частиц. Поскольку вязкость постепенно уменьшается, можно предположить, что структура раствора остаётся менее стабильной при термическом воздействии.

В образце № 2, где использовались 10 г недроблёных семян с выдержкой 80 минут, изменение вязкости носит нелинейный характер. Однако коэффициент детерминации оказался относительно низким ($R^2 = 0.2977$), что указывает на слабую предсказуемость изменений. Уравнение регрессии $y = 0.0393x^2 - 1.5602x + 279.61$ предполагает наличие дополнительных факторов, влияющих на вязкость раствора, таких как неоднородность распределения частиц или частичное осаждение семян.

Образец № 3, включающий 15 г недроблёных семян, выдержанных 76 минут, продемонстрировал небольшое увеличение вязкости с ростом температуры. Это подтверждается уравнением $y = 1E\text{-}06x^2 - 1E\text{-}04x + 0.0064$, а коэффициент детерминации составляет $R^2 = 0.8823$. Небольшое увеличение вязкости может быть связано с процессами полимеризации, при которых молекулы соединяются в длинные цепи, или с образованием гелеобразной структуры, обусловленной высокой концентрацией семян в растворе.

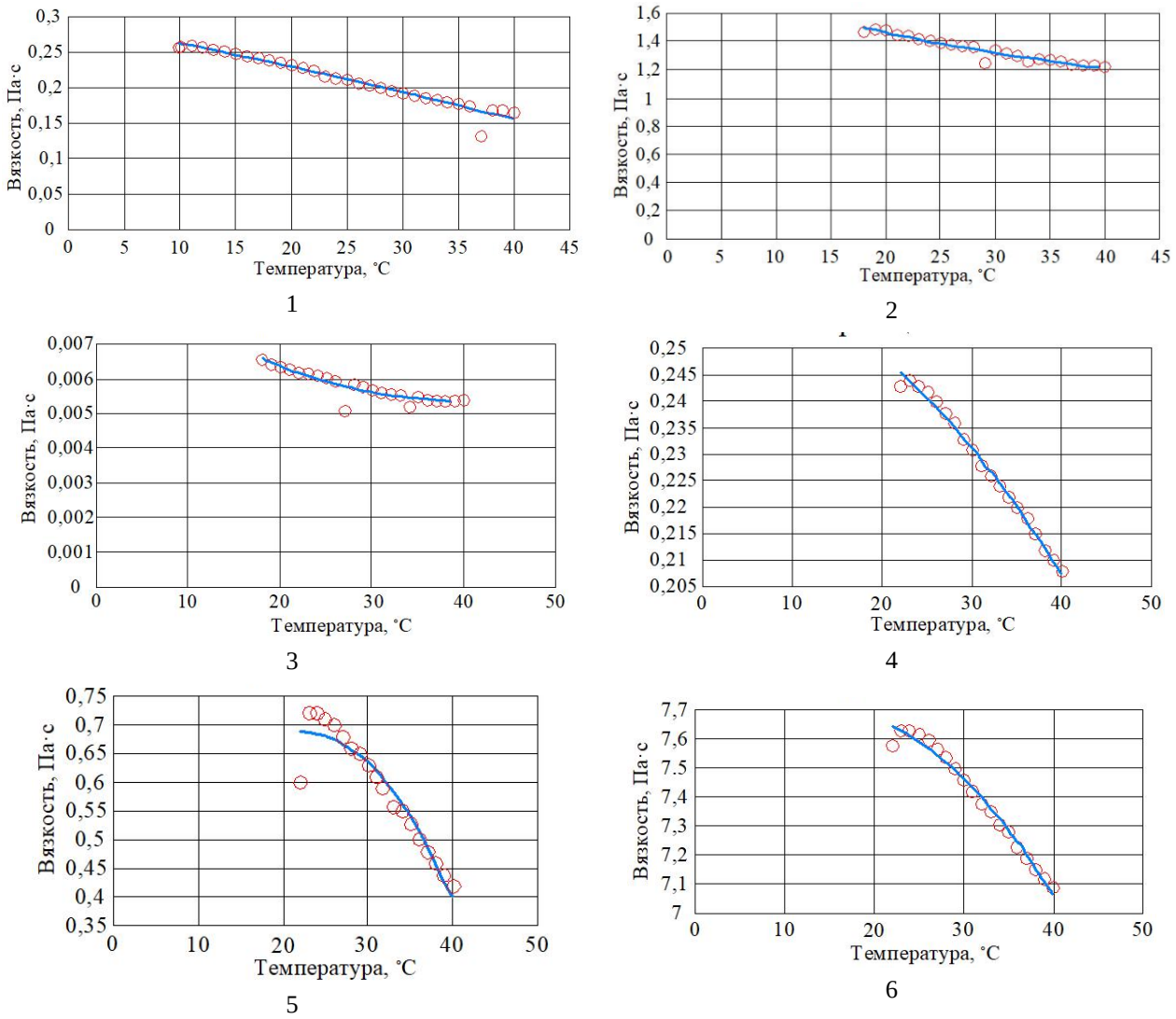


Рисунок 4. Зависимость вязкости от температуры для образцов № 1–6 через 2 недели

Figure 4. Dependence of viscosity on temperature for samples No. 1–6 after 2 weeks

При исследовании растворов с дроблёными семенами также выявлены значительные различия в их реологических свойствах. В образце № 4, состоящем из 5 г дроблёных семян, выдержанных 60 минут, наблюдается высокая степень детерминации ($R^2 = 0.9729$), что свидетельствует о точном соответствии модели экспериментальным данным. Уравнение $y = -0.0002x^2 + 0.0146x - 0.1194$ демонстрирует квадратичное снижение вязкости при увеличении температуры, что может быть обусловлено разрушением молекулярных сетей, сформированных в результате измельчения семян.

Образец № 5, содержащий 10 г дроблёных семян с выдержкой 118 минут, характеризуется минимальными изменениями вязкости в диапазоне температур. Уравнение

$y = -0.0006x^2 + 0.0387x + 0.353$, при коэффициенте детерминации $R^2 = 0.7079$, показывает, что раствор остаётся относительно стабильным даже при изменении температурного режима. Длительное замачивание могло способствовать образованию устойчивой гелеобразной структуры, которая сохраняет свои свойства в течение всего исследования.

Наиболее выраженное изменение вязкости было зафиксировано в образце № 6, включавшем 15 г дроблёных семян с выдержкой 116 минут. Уравнение $y = 63.847x^2 - 728.45x + 2104.7$, с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.9793$, указывает на выраженное квадратичное снижение вязкости при нагреве. Это свидетельствует о разрушении структуры гелеобразного раствора, возникающего при высокой концентрации семян. Вероятно, сильное измельчение и длительное замачивание привели к образованию плотной молекулярной сети, которая разрушается при воздействии температуры.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что растворы с низкой концентрацией семян демонстрируют снижение вязкости при повышении температуры, поскольку их структура остаётся менее стабильной. В то же время растворы с высокой концентрацией семян могут проявлять как снижение, так и увеличение вязкости в зависимости от времени выдержки, степени измельчения и способности семян к формированию гелеобразной структуры. Длительное замачивание способствует формированию более устойчивых молекулярных сетей, что особенно заметно в образцах с дроблёными семенами.

Через две недели после первоначальных измерений были повторно изучены вязкостные характеристики растворов дроблёных и недроблёных семян чиа. В ходе анализа полученных данных выявились изменения, связанные с длительной выдержкой растворов, что позволило более детально рассмотреть процессы стабилизации и разложения гелеобразной структуры.

Образец № 1, состоящий из недроблёных семян массой 5 г, выдержанных 90 минут, продемонстрировал незначительное снижение вязкости при увеличении температуры. Это снижение выражается квадратичной зависимостью, описываемой уравнением $y = -1E\text{-}05x^2 – 0.0029x + 0.2939$, с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.9553$. В отличие от результатов первого дня, когда вязкость также уменьшалась с повышением температуры, спустя две недели этот процесс стал менее выраженным. Это может свидетельствовать о стабилизации структуры раствора, где межмолекулярные связи частично сохраняются даже при нагревании.

Образец № 2, содержащий 10 г недроблёных семян и выдержанный 80 минут, показал значительное снижение вязкости по сравнению с первым днём. Однако зависимость остаётся нелинейной, о чём свидетельствует уравнение $y = 0.0002x^2 – 0.0254x + 1.8864$, с высоким коэффициентом детерминации $R^2 = 0.9447$. По сравнению с предыдущими измерениями, модель стала более точной, что указывает на стабилизацию структуры геля. Вероятно, это связано с перераспределением частиц в растворе, в результате чего вязкость меняется более предсказуемо.

В образце № 3, где использовались недроблёные семена массой 15 г., и выдержка составила 76 минут, отмечено незначительное изменение вязкости с ростом температуры. Это подтверждается уравнением $y = 3E\text{-}06x^2 – – 0.0002x + 0.0095$, при этом коэффициент детерминации $R^2 = 0.838$. Наблюдаемая тенденция свидетельствует о некоторой стабилизации вязкости, что может объясняться длительным набуханием семян, приводящим к более равномерному распределению их структуры в растворе.

Дроблёные семена также продемонстрировали интересные изменения вязкости. В образце № 4, где использовались 5 г дроблёных семян, выдержанных 60 минут, спустя две недели вязкость раствора практически не изменялась при повышении температуры. Уравнение регрессии $y = -3E\text{-}05x^2 + 2E\text{-}05x + 0.2617$, а коэффициент детерминации достиг $R^2 = 0.9942$, что говорит о высокой предсказуемости процесса. Вероятно, длительное созревание раствора привело к формированию стабильных молекулярных сетей, которые уже не разрушаются при температурных изменениях.

Образец № 5, включавший 10 г дроблёных семян, выдержанных 118 минут, показал минимальные изменения вязкости при колебаниях температуры, но общий уровень вязкости оказался выше, чем в первый день. Это подтверждается уравнением $y = -0.0009x^2 + 0.0408x + 2.2351$, а коэффициент детерминации $R^2 = 0.9233$. Вероятно, в данном образце наблюдается укрепление межмолекулярных взаимодействий за счёт более длительного формирования гелеобразной структуры.

Наиболее выраженное изменение произошло в образце № 6, содержащем 15 г дроблёных семян, выдержанных 116 минут. Вязкость остаётся на высоком уровне, но проявляется её заметное снижение при нагреве. Зависимость описывается уравнением $y = -0.001x^2 + 0.0297x + 7.4753$, при этом коэффициент детерминации $R^2 = 0.9846$. Это указывает на то, что за две недели структура геля изменилась и стала более подверженной разрушению при повышении температуры, вероятно, из-за постепенного разложения полисахаридных сетей.

В целом, спустя две недели водные растворы семян чиа продемонстрировали тенденцию к стабилизации. В образцах с недроблёными семенами наблюдается замедление изменения вязкости при нагреве, что может свидетельствовать о завершении процессов набухания и структурирования растворов. Дроблёные семена, напротив, показывают более выраженные колебания вязкости, особенно при высоких температурах, что говорит о частичном разложении их гелеобразной структуры со временем. Также можно отметить, что в растворах с более высокой концентрацией семян вязкость остаётся стабильной или даже повышается, что связано с продолжающимся взаимодействием полисахаридов.

Таким образом, долговременное хранение растворов семян чиа влияет на их реологические свойства, что важно учитывать при разработке продуктов, где гелеобразующие свойства играют ключевую роль.

Заключение

Настоящее исследование позволило детально изучить влияние температуры и длительности хранения на реологические характеристики водных растворов семян чиа, а также оценить различия в поведении дроблёных и недроблёных семян. Полученные результаты свидетельствуют о сложной зависимости вязкости растворов от концентрации семян, их степени измельчения и времени выдержки, что обусловлено формированием и последующим разрушением гелеобразных структур.

На основании проведённого эксперимента было установлено, что вязкость растворов с низким содержанием семян чиа уменьшается при повышении температуры, что объясняется слабой устойчивостью межмолекулярных взаимодействий в таких системах. В то же время растворы с высокой концентрацией семян демонстрировали как снижение, так и увеличение вязкости в зависимости от времени выдержки и степени измельчения. В течение двух недель хранения растворы претерпели изменения, связанные с процессами гидратации и структурирования полисахаридов. В образцах с недроблёными семенами наблюдалась тенденция к стабилизации вязкости, что может свидетельствовать о завершении процессов набухания и образования устойчивых гелеобразных сетей. Вязкость таких растворов изменялась менее выраженно при нагреве, что указывает на повышенную структурную целостность. В растворах с дроблёными семенами, напротив, отмечалось более значительное изменение вязкости, особенно при повышенных температурах, что свидетельствует о частичном разложении сформированных гелеобразных структур.

Данные, полученные в ходе эксперимента, подтверждают, что гидратация семян чиа и последующее их структурирование являются сложными процессами, зависящими от множества факторов. Длительное хранение растворов приводит к изменению их реологических характеристик, что необходимо учитывать при разработке пищевых продуктов, содержащих семена чиа в качестве загустителей или стабилизаторов. Важно отметить, что дробление семян ускоряет процессы гидратации, но может снижать термическую устойчивость гелеобразной структуры. Таким образом, оптимальный способ подготовки и хранения водных растворов семян чиа должен учитывать их концентрацию, степень измельчения и температурные условия эксплуатации, что открывает возможности для дальнейших исследований в данной области.

Литература

2 Бутова С.В., Панина Е.В., Васильченко Т.А. Исследование стабилизирующего действия геля чиа в пищевых эмульсиях // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2020. С. 62–66.

3 Панина Е.В., Сорокина И.А., Бутова С.В. Исследование потребительских свойств майонезных соусов с функциональными ингредиентами в процессе хранения // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2019. С. 78–83.

4 Елисеева Е.А., Борисова А.В. Исследование влияния семян чиа на реологические свойства теста и качество хлебобулочных изделий // Технология продовольственных продуктов. 2018. С. 102–107.

5 Лосевская С.А., Устинова А.А. Влагоудерживающая способность семян чиа в мясной и колбасной продукции // Современные тенденции развития науки и мирового сообщества в эпоху цифровизации: сб. матер. XIX Междунар. науч.-практ. конф. Москва, 2023. С. 119–122.

6 Waseem Khalid, Muhammad Sajid Arshad, Afifa Aziz. Chia seeds (Salvia hispanica L.): A therapeutic weapon in metabolic disorders // Food Science & Nutrition. 2023. P. 3–16.

7 Prathyusha P., Anila Kumari B., Jessie Suneetha W., Naga Sai Srujana M. Chia seeds for nutritional security // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2019. P. 2702–2707.

8 Kulczyński B., Kobus-Cisowska J., Taczanowski M., Kmiecik D. The Chemical Composition and Nutritional Value of Chia Seeds – Current State of Knowledge // Nutrients. 2019. P. 1–16.

9 Терёхина А.В., Копылов М.В., Желтоухова Е.Ю., Матвеев А.В. Масло из семян чиа как инновационный ингредиент эмульсионных продуктов // Наука, образование и инновации для АПК: сост., пробл. и перспективы: сб. матер. VIII Междунар. науч.-практ. конф. Майкоп, 2024. Р. 261–263.

10 Остриков А.Н., Терёхина А.В. Масло из семян чиа, как продукт здорового питания // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: сб. матер. VII Междунар. науч.-практ. конф. Краснодар, 2023. Р. 381–383.

11 Terekhina A., Zheltoukhova E., Kopylov M. Analysis of fatty acid composition of functional mayonnaise sauce with pumpkin products // BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 103. P. 00075.

12 Hrncic M.K., Ivanovski M., Cor D., Knez Z. Chia Seeds (Salvia hispanica L.): An Overview Phytochemical Profile, Isolation Methods, and Application // Molecules. 2020. Vol. 25. № 1. C. 11. doi: 10.3390/molecules25010011.

13 Punar A., et al. Chia Seeds (Salvia hispanica): Health Promoting Properties and Therapeutic Applications – A Review // BEPLS. 2023. Vol. 12. № 10. P. 508–515.

14 Ikumi P., Mburu M., Njoroge D. Chia (Salvia hispanica L.) – A Potential Crop for Food and Nutrition Security in Africa // Journal of Food Research. 2019. Vol. 8. № 6. P. 104–118.

15 Marcinek K., Krejpcio Z. Chia Seeds (Salvia hispanica): Health Promoting Properties and Therapeutic Applications – A Review // Roczniki Państwowego Zakładu Higieny. 2017. Vol. 68. № 2. P. 123–129.

16 Martínez F.E., et al. Dietary chia seeds (Salvia hispanica) improve acute dyslipidemia and steatohepatitis in rats // Journal of Food Biochemistry. 2019. Vol. 43. №/ 9. P. e12986. doi: 10.1111/jfbc.12986.

17 Моргунова М.Н., Бутова С.В., Звягин А.А. Исследование влияния параметров экстракции на реологические свойства геля из семян чиа //Молодежный вектор развития аграрной науки. 2020. С. 208-213.

18 Хатко З.Н., Титов С.А., Ашинова А.А., Колодина Е.М. Влияние комбинирования пектиновых веществ на вязкость их водных растворов. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2019. Т. 81. №.2. С. 133-138. doi: 10.20914/2310-1202-2019-2-133-138

19 Martínez-Padilla L. P. Viscosity of chia seed water suspension using two mixers and two approaches //Biosystems Engineering. 2021. Vol. 210. P. 60-68. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2021.08.003

20 Chen J., Wang H. A systematical review of processing characteristics of chia seed: Changes in physicochemical properties and structure // Food Bioscience. 2024. P. 103813.

21 Jiang L., Zheng K. Extraction of mucilage polysaccharides from chia seed by hydrophobic deep eutectic solvents-based three-phase partitioning system: A phase behavior-driven approach // International Journal of Biological Macromolecules. 2024. Vol. 280. P. 135913.

References

1 Butova S.V., Panina E.V., Vasilchenko T.A. Investigation of the stabilizing effect of chia gel in food emulsions. Technologies and Commodity Science of Agricultural Products. 2020. pp. 62–66. (in Russian)

2 Panina E.V., Sorokina I.A., Butova S.V. Investigation of consumer properties of mayonnaise sauces with functional ingredients during storage. Technologies and Commodity Science of Agricultural Products. 2019. pp. 78–83. (in Russian)

3 Eliseeva E.A., Borisova A.V. Investigation of the effect of chia seeds on the rheological properties of dough and the quality of bakery products. Food Technology. 2018. pp. 102–107. (in Russian)

4 Losevskaya S.A., Ustinova A.A. Moisture-retaining ability of chia seeds in meat and sausage products. Modern Trends in the Development of Science and the World Community in the Era of Digitalization: Proceedings of the 19th Int. Sci.-Pract. Conf. Moscow, 2023. pp. 119–122. (in Russian)

5 Waseem Khalid, Muhammad Sajid Arshad, Afifa Aziz. Chia seeds (Salvia hispanica L.): A therapeutic weapon in metabolic disorders. Food Science & Nutrition. 2023. pp. 3–16.

6 Prathyusha P., Anila Kumari B., Jessie Suneetha W., Naga Sai Srujana M. Chia seeds for nutritional security. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2019. pp. 2702–2707.

7 Kulczyński B., Kobus-Cisowska J., Taczanowski M., Kmiecik D. The Chemical Composition and Nutritional Value of Chia Seeds – Current State of Knowledge. Nutrients. 2019. pp. 1–16.

8 Terekhina A.V., Kopylov M.V., Zheltoukhova E.Yu., Matveev A.V. Chia seed oil as an innovative ingredient in emulsion products. In: Science, Education and Innovations for the Agro-Industrial Complex: State, Problems and Prospects. Proc. 8th Int. Sci.-Pract. Conf. Maikop, 2024. pp. 261–263. (in Russian)

9 Ostrikov A.N., Terekhina A.V. Chia seed oil as a healthy food product. In: Modern Aspects of the Production and Processing of Agricultural Products: Proc. 7th Int. Sci.-Pract. Conf. Krasnodar, 2023. pp. 381–383. (in Russian)

10 Terekhina A., Zheltoukhova E., Kopylov M. Analysis of fatty acid composition of functional mayonnaise sauce with pumpkin products. BIO Web of Conferences. 2024. vol. 103. p. 00075.

11 Hrncic M.K., Ivanovski M., Cor D., Knez Z. Chia Seeds (Salvia hispanica L.): An Overview Phytochemical Profile, Isolation Methods, and Application. Molecules. 2020. vol. 25. no. 1. p. 11. doi: 10.3390/molecules25010011.

12 Punar A., et al. Chia Seeds (Salvia hispanica): Health Promoting Properties and Therapeutic Applications – A Review. BEPLS. 2023. vol. 12. no. 10. pp. 508–515.

13 Ikumi P., Mburu M., Njoroge D. Chia (Salvia hispanica L.) – A Potential Crop for Food and Nutrition Security in Africa. Journal of Food Research. 2019. vol. 8. no. 6. pp. 104–118.

14 Marcinek K., Krejpcio Z. Chia Seeds (Salvia hispanica): Health Promoting Properties and Therapeutic Applications – A Review. Roczniki Państwowego Zakładu Higieny. 2017. vol. 68. no. 2. pp. 123–129.

15 Martínez F.E., et al. Dietary chia seeds (Salvia hispanica) improve acute dyslipidemia and steatohepatitis in rats. Journal of Food Biochemistry. 2019. vol. 43. no. 9. art. e12986. doi: 10.1111/jfbc.12986.

16 Morgunova M.N., Butova S.V., Zvyagin A.A. Study of the influence of extraction parameters on the rheological properties of gel from chia seeds. Youth Vector of Development of Agricultural Science. 2020. pp. 208–213. (in Russian).

17 Khatko Z.N., Titov S.A., Ashinova A.A., Kolodina E.M. Effect of combination of pectin substances on viscosity of their aqueous solutions. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2019. vol. 81. no. 2. pp. 133–138. doi: 10.20914/2310-1202-2019-2-133-138 (in Russian).

18 Martínez-Padilla L.P. Viscosity of chia seed water suspension using two mixers and two approaches. Biosystems Engineering. 2021. vol. 210. pp. 60–68. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2021.08.003

19 Chen J., Wang H. A systematical review of processing characteristics of chia seed: Changes in physicochemical properties and structure. Food Bioscience. 2024. no. 103813.

20 Jiang L., Zheng K. Extraction of mucilage polysaccharides from chia seed by hydrophobic deep eutectic solvents-based three-phase partitioning system: A phase behavior-driven approach. International Journal of Biological Macromolecules. 2024. vol. 280. pp. 135913.

21

Сведения об авторах

Анастасия В. Терёхина к.т.н., доцент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, gorbatova.nastia@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-4433-9615

Виктория С. Капустина студент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, viktoriyakc@gmail.com
https://orcid.org/0009-0007-5054-1218

Дина С. Мыцикова студент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, dmycikova@gmail.com
https://orcid.org/0009-0001-5043-3061

Светлана А. Титова студент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, stitova559@gmail.com
https://orcid.org/0009-0002-6279-9324

Виталий Н. Василенко д.т.н., профессор, зав. кафедрой, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, vvn_1977@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1547-9814

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Anastasia Terekhina Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gorbatova.nastia@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-4433-9615

Victoria S. Kapustina student, Technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, viktoriyakc@gmail.com
https://orcid.org/0009-0007-5054-1218

Dina S. Mytsikova student, Technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, dmycikova@gmail.com
https://orcid.org/0009-0001-5043-3061

Svetlana A. Titova student, Technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, stitova559@gmail.com
https://orcid.org/0009-0002-6279-9324

Vitalii N. Vasilenko Doc. Sci. (Engin.), professor, head of the department, machines and apparatuses of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vvn_1977@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1547-9814

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 09/01/2025	**После редакции** 12/01/2025	**Принята в печать** 22/01/2025

Received 09/01/2025	**Accepted in revised** 12/01/2025	**Accepted** 22/01/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-109-113 Оригинальная статья/Research article
УДК 640 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

К вопросу о соблюдении правовых требования к обеспечению качества и безопасности пищевых продуктов

Нана А. Хузина [1] na.huzina@mail.ru 0009-0006-2298-724X
Константин. К. Полянский [1] mto.vrn@mail.ru 0000-002-8817-1466
Николай. М. Дегтярев [2] zenakachestva@ya.ru
Анна А. Деркаосова [3] aa-derk@ya.ru 0000-0002-9726-9262

1 Воронежский филиал Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова, Карла Маркса 67А, г. Воронеж, 394030, Россия
2 Региональный штаб Общероссийского движения «Народный фронт», «За Россию», «Качество нашей жизни», отделение общероссийского движения «Объединение потребителей России» в Воронежской области, ул. Станкевича 2А, г. Воронеж, 394018, Россия
3 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Обеспечение качества и безопасности пищевой продукции остаётся одной из важнейших задач государственной политики в сфере продовольственной безопасности. В статье рассмотрены ключевые правовые механизмы, регулирующие сферу производства и оборота пищевых продуктов в России. Особое внимание уделяется анализу действующего законодательства, включая Федеральный закон № 29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов», а также подзаконным актам, направленным на защиту здоровья потребителей. Выделены основные угрозы продовольственной безопасности, такие как зависимость от импорта и распространение некачественной и фальсифицированной продукции. Рассматриваются меры, принимаемые государством в рамках федеральных и региональных программ, в том числе в агропромышленном комплексе, для укрепления продовольственной независимости страны. Авторы подчёркивают необходимость усиления правового регулирования и совершенствования системы контроля за качеством продукции. В качестве примеров приводятся результаты мониторинга, выявившие значительное количество несоответствий пищевой продукции установленным стандартам, в том числе продуктов детского и диетического назначения. Предлагаются конкретные меры, включая обязательную сертификацию, персональную ответственность чиновников, переоснащение лабораторий и просветительскую работу среди населения. Также поднимается вопрос о необходимости разработки Федерального закона «О продовольственной безопасности Российской Федерации», который бы системно закреплял ключевые положения и механизмы обеспечения безопасности продовольственного рынка. Таким образом, статья раскрывает актуальные проблемы и предлагает пути их решения через совершенствование нормативно-правовой базы и практик правоприменения в целях повышения качества жизни населения и укрепления продовольственного суверенитета страны.

Ключевые слова: продовольственная безопасность, качество продукции, правовое регулирование, фальсификация, сертификация, законодательство.

On the issue of compliance with legal requirements for ensuring the quality and safety of food products

Nana A. Khuzina [1] na.huzina@mail.ru 0009-0006-2298-724X
Konstantin. K. Polyansky [1] mto.vrn@mail.ru 0000-002-8817-1466
Nikolay M. Degtyarev [2] zenakachestva@ya.ru
Anna A. Derkanosova [3] aa-derk@ya.ru 0000-0002-9726-9262

1 Voronezh branch of the Plekhanov Russian University of Economics, Karl Marx 67A, Voronezh, 394030, Russia
2 Regional headquarters of the All-Russian movement "People's Front", "For Russia", "Quality of Our Life", branch of the All-Russian movement "Association of Consumers of Russia" in the Voronezh region, Stankevicha st. 2A, Voronezh, 394018, Russia
3 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Ensuring the quality and safety of food products remains one of the key tasks of state policy in the field of food security. This article examines the main legal mechanisms regulating the production and circulation of food products in Russia. Special attention is paid to the analysis of current legislation, including Federal Law No. 29-FZ "On the Quality and Safety of Food Products," as well as subordinate acts aimed at protecting consumer health. The main threats to food security are highlighted, such as import dependence and the spread of low-quality and counterfeit products. The measures taken by the state under federal and regional programs, including in the agro-industrial complex, to strengthen the country's food independence are discussed. The authors emphasize the need to enhance legal regulation and improve the system for controlling product quality. Monitoring results are provided as examples, revealing a significant number of food products that do not meet established standards, including products intended for children and special dietary use. Specific measures are proposed, including mandatory certification, personal responsibility of officials, modernization of laboratory equipment, and educational efforts among the population. The authors also raise the issue of developing a Federal Law "On Food Security of the Russian Federation" to formally consolidate key principles and mechanisms for ensuring the safety of the food market. Thus, the article highlights pressing issues and offers solutions through the improvement of the legal framework and enforcement practices aimed at enhancing the quality of life and strengthening national food sovereignty.

Keywords: food security, product quality, legal regulation, falsification, certification, legislation..

Для цитирования
Хузина Н.А., Полянский К.К., Дегтярев Н.М., Деркаосова А.А.К вопросу о соблюдении правовых требования к обеспечению качества и безопасности пищевых продуктов // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 109–113. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-109-113

For citation
Khuzina N.A., Polyansky K.K., Degtyarev N.M., Derkanosova A.A. On the issue of compliance with legal requirements for ensuring the quality and safety of food products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 109–113. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-109-113

© 2025, Хузина Н.А. и др. / Khuzina N.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Продовольственная безопасность – элемент национальной безопасности государства. Во всем мире одной из жизнеобеспечивающих сфер для общества является сфера производства и оборота пищевых продуктов.

Как отмечается в научной литературе, анализ динамики и тенденций глобализационных процессов на мировом продовольственном рынке позволяет сделать неутешительный вывод о том, что монополизация пищевого производства несколькими странами (как результат глобализации в этой сфере) создает реальную угрозу продовольственной независимости России, а следовательно и независимости нашей страны в других областях с учетом важности фактора продовольственной обеспеченности для реального суверенитета любого из государств. [1]

К угрозам продовольственной безопасности относятся зависимость нашей страны от зарубежных источников продовольствия и недостаточное качество и безопасность продовольственной продукции. Первая угроза устраняется путем действенных мер по импортозамещению. А вот вторая угроза требует серьезнейшего подхода как со стороны законодателя, так и со стороны правоприменителя.

Правовое регулирование отношений в области обеспечения качества и безопасности пищевых продуктов осуществляется на основании Федерального закона от 02.01.2000 г. за № 29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов» [2], нормативно-правовыми актами субъектов Российской Федерации и рядом подзаконных нормативно-правовых актов, например, Приказом Роспотребнадзора от 20.11.2020 № 771 «Об установлении критериев формирования доказательств, подтверждающих отличительные признаки пищевых продуктов, информация о которых указывается на добровольной основе в маркировке пищевых продуктов» [3].

Законодательство определяет принципы здорового питания, которые являются основными правилами и положениями, способствующими укреплению здоровья человека и будущих поколений, снижению риска развития заболеваний и включают в себя:

- обеспечение приоритетности защиты жизни и здоровья потребителей пищевых продуктов по отношению к экономическим интересам индивидуальных предпринимателей и юридических лиц, осуществляющих деятельность, связанную с обращением пищевых продуктов;
- соответствие энергетической ценности ежедневного рациона энергозатратам;
- соответствие химического состава ежедневного рациона физиологическим потребностям человека в макронутриентах (белки и аминокислоты, жиры и жирные кислоты, углеводы) и микронутриентах (витамины, минеральные вещества и микроэлементы, биологически активные вещества);
- наличие в составе ежедневного рациона пищевых продуктов со сниженным содержанием насыщенных жиров (включая трансизомеры жирных кислот), простых сахаров и поваренной соли, а также пищевых продуктов, обогащенных витаминами, пищевыми волокнами и биологически активными веществами;
- обеспечение максимально разнообразного здорового питания и оптимального его режима;
- применение технологической обработки и кулинарной обработки пищевых продуктов, обеспечивающих сохранность их исходной пищевой ценности;
- обеспечение соблюдения санитарно-эпидемиологических требований на всех этапах обращения пищевых продуктов;
- исключение использования фальсифицированных пищевых продуктов, материалов и изделий.

Для обеспечения безопасности потребления пищевой продукции создаются государственные структуры, которые на всех уровнях управления наделяются полномочиями и ответственностью в разработке и своевременном введении в действие всех видов необходимой документации. В рабочем состоянии система поддерживается проведением регулярного мониторинга и реагирования на несоответствия, которые могут возникнуть в процессе ее функционирования.

В 2024–2025 году в России появились новые федеральные проекты, направленные на обеспечение технологической независимости в агропромышленном комплексе и продовольственной безопасности страны. Национальный проект «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности» стартовал в России с 2025 года. Ключевыми задачами АПК остаются сохранение стабильного производства, рост его эффективности, доходности аграриев, а также повышение импортонезависимости.

Федеральные проекты вошли в состав Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия. Установка на импортозамещение определена руководством страны как первоочередное стратегическое направление формирования аграрной и пищевой отраслей на ближайшую перспективу.

Таким образом, в настоящий момент нормативно-правовая база позволяет регламентировать вопросы регулирования организации питания, обеспечения качества пищевых продуктов и их безопасности для здоровья человека, однако имеются ряд серьезных проблем, требующих внимания законодателя и правоприменителя.

Речь идет о наличии на потребительском рынке значительного объема некачественных пищевых продуктов, не отвечающих требованиям законодательства. При реализации пищевых продуктов, материалов и изделий граждане (в том числе индивидуальные предприниматели) и юридические лица обязаны соблюдать требования, установленные в соответствии с законодательством Российской Федерации ст. 20 Федерального закона от 02.01.2000 № 29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов».

Однако, если брать пример регионов, то отмечается, что основной объем по Воронежской области реализуемой населению пищевой продукции розничной торговой сетью соответствует нормативным требованиям. Но, как показывают данные общественного мониторинга, многочисленные публикации в СМИ, розничная сеть в значительной мере наполнена низкокачественными и даже фальсифицированными пищевыми продуктами, в том числе лечебно-профилактического, диетического и детского назначения, что создает прямую угрозу безопасности здоровья и жизни населения региона. Например, в рамках реализации федерального проекта «Укрепление общественного здоровья", из 1146 проб пищевых продуктов за 2023 г. Роспотребнадзором выявлено несоответствие по показателям качества 15 %, в том числе 253 пробы мяса и мясной продукции, 340 проб молока и молочной продукции. [4]

Также, на примере полутвердых сыров, в научной литературе [5] проанализированы причины несоответствий продукции установленным нормам и внесены предложения для производителей по разработке превентивных мероприятий, позволяющих минимизировать риски производства и реализации продукции с несоответствиями. Авторы подчеркивают, что для этого необходимо провести сбор и анализ данных о причинах возвратов, рекламаций от потребителей продукции, в том числе конечных покупателей и торговых сетей.

Однако, на наш взгляд, такие замечания и предложения должны носить не рекомендательный характер, а обязательный. В том числе, нормативно-правовые акты, носящие подзаконный характер, должны отрегулировать основные этапы и элементы предлагаемого подхода к сбору и анализу причин несоответствий продовольственных товаров установленным нормам. В дальнейшем полученные результаты по снижению рисков возникновения несоответствий пищевой продукции как для производителей, так и для торговых предприятий, необходимо подвергнуть обработке и использовать при создании единого нормативно-правового акта – Федерального закона «О продовольственной безопасности Российской Федерации».

На наш взгляд, данный нормативный акт должен включать положения, устраняющие причины наличия на сегодняшний день на потребительском рынке страны значительного объема опасных для здоровья людей пищевых продуктов. Прежде всего это:

- назначение и персонализированная ответственность конкретного чиновника в государственных, региональных и муниципальных органах власти, отвечающего за обеспечение населения пищевыми продуктами, в т. ч. соответствующим нормативным требованиям;
- выработка основных видов пищевой продукции по государственным стандартам;
- обязательная сертификация пищевых продуктов;
- плановый и неплановый аудит бизнеса;
- ответственность торговых организаций за реализацию пищевых продуктов несоответствующих нормативным требованиям, в том числе фальсифицированных.
- создание системы автоматического запрета реализации пищевых продуктов при выявлении с помощью системы ФГИС Меркурий нарушений технических регламентов с использованием некорректного количества или сомнительного по качеству и происхождению сырья.
- отмена использования контрактной системы при закупке продуктов питания для бюджетных учреждений;
- возобновление работы торговых инспекций;
- обязательное осуществление просветительской деятельности среди обучающихся, в т. ч. дошкольных учреждениях по правильному питанию с привлечением диетологов;
- обязательное оснащение лабораторий пищевых предприятий современной приборной базой, также подготовка студентов в вузах по работе на современных приборах с практической точки зрения.

При этом, ни все указанные положения могут войти в Закон, но подзаконные нормативно-правовые акты могут расширить спектр необходимых мероприятий и стать для правоприменителя обязательным для исполнения.

Таким образом, правовые меры, обязывающие соблюдать четкие требования к пищевой продукции, к сырью для ее изготовления, к условиям ее создания, оборота и реализации, должны стать эффективными способами снижения рисков причинения вреда жизни или здоровью населения страны, повышению качества жизни и ее продолжительности.

Литература

1 Воронцова Е.В. Правовое обеспечение безопасности российского продовольственного рынка в условиях глобализационных процессов // Современные тенденции развития права в условиях глобализации. Курск: Юго-Западный гос. ун-т, 2018. С. 89–94.

2 Федеральный закон от 02.01.2000 № 29-ФЗ (ред. от 13.07.2020) «О качестве и безопасности пищевых продуктов» // Собрание законодательства РФ. 2000. № 2. Ст. 150.

3 Приказ Роспотребнадзора от 20.11.2020 № 771 «Об установлении критериев формирования доказательств, подтверждающих отличительные признаки пищевых продуктов». URL: https://www.consultant.ru

4 Дегтярев Н.М. Продовольственная безопасность Воронежской области — задача власти, бизнеса и общественности // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение. Воронеж, 2024. С. 27–32.

5 Янковская В.С., Дунченко Н.И., Кермен В.М. Анализ причин несоответствий продукции установленным нормам // Сыроделие и маслоделие. 2021. № 5. С. 10–12.

6 ГОСТ Р ИСО 22000-2007. Системы менеджмента безопасности пищевой продукции. Требования к организациям, участвующим в цепи создания пищевой продукции. М.: Стандартинформ, 2008. 34 с.

7 ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции». М.: Евразийская экономическая комиссия, 2011.

8 СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. М.: Минздрав России, 2002.

9 Иванова А.А., Петров Б.Б. Современные подходы к обеспечению качества пищевых продуктов в России // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 45–50.

10 Сидорова Е.В., Кузнецов Д.Д. Анализ правовых аспектов безопасности пищевой продукции в условиях глобализации // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 60–66.

11 Psomas E., Kafetzopoulos D. HACCP effectiveness between ISO 22000 certified and non-certified dairy companies // Food Control. 2015. Vol. 53. P. 134–139. doi: 10.1016/j.foodcont.2015.01.035

12 Lee J.C., Daraba A., Voidarou C., Rozos G., El Enshasy H.A. Implementation of Food Safety Management Systems along with Other Management Tools // Foods. 2021. Vol. 10. No. 9. P. 2133. doi: 10.3390/foods10092133

13 Magnuson B.A. et al. Review of the regulation and safety assessment of food substances in various countries // Food Additives & Contaminants: Part A. 2013. Vol. 30. No. 7. P. 1147–1220. doi: 10.1080/19440049.2013.795293

14 Beszterda M., Tądrowska M., Frański R. Multi-detection method for bisphenol A diglycidyl ether conjugates // J. of Coatings Tech. and Research. 2022. Vol. 19. No. 6. P. 1661–1670. doi: 10.1007/s11998-022-00630-y

15 Lestido-Cardama A., Sendón R., Rodríguez A. Tentative identification of BADGE derivatives in epoxy coatings // J. of Coatings Tech. and Research. 2022. Vol. 19. No. 6. P. 1651–1660. doi: 10.1007/s11998-022-00629-5

16 Smith J. Emerging Technologies in Food Safety // Food Control. 2023. Vol. 145. P. 109–118. doi: 10.1016/j.foodcont.2023.109118

17 Sinha R., Bakshi H.S., Dangayach R., Singh R. et al. Nanomaterials-modified membranes for food safety // Membranes. 2020. Vol. 10. No. 7. P. 140. doi: 10.3390/membranes10070140

18 Li H., Huang L., Li X., Huang W. et al. Interfacial polymerization with HKUST-1 for membranes // Separation and Purification Technology. 2023. No. 309. P. 123031. doi: 10.1016/j.seppur.2022.123031

19 Zhao D.L., Chung T.–S. Applications of carbon quantum dots (CQDs) in membrane technologies: A review // Water Res. 2018. No. 147. P. 43–49. doi: 10.1016/j.watres.2018.09.040

20 Fan X., Zhao H., Quan X., Liu Y. et al. Nanocarbon membrane filtration under electric field // Water Res. 2016. No. 88. P. 285–292. doi: 10.1016/j.watres.2015.10.043

21 Su X., Hatton T.A. Electrosorption at functional interfaces // Phys. Chem. Chem. Phys. 2017. No. 19(35). P. 23570–23584. doi: 10.1039/c7cp02822a

References

1 Vorontsova E.V. Legal support for the safety of the Russian food market under globalization // Modern trends in the development of law in the context of globalization. Kursk: Southwest State University, 2018. pp. 89–94. (in Russian)

2 Federal Law of 02.01.2000 No. 29-FZ (as amended on 13.07.2020) 'On the quality and safety of food products' // Legislation Bulletin of the Russian Federation. 2000. No. 2. Art. 150. (in Russian)

3 Order of Rospotrebnadzor dated 20.11.2020 No. 771 'On establishing criteria for forming evidence confirming the distinguishing features of food products'. Available at: https://www.consultant.ru (in Russian)

4 Degtyarev N.M. Food security of the Voronezh region — a task for government, business and the public // Food security: scientific, personnel and informational support. Voronezh, 2024. pp. 27–32. (in Russian)

5 Yankovskaya V.S., Dunchenko N.I., Kermen V.M. Analysis of causes of product non-compliance with established norms // Cheesemaking and Buttermaking. 2021. No. 5. pp. 10–12. (in Russian)

6 GOST R ISO 22000-2007. Food safety management systems. Requirements for organizations in the food chain. Moscow: Standartinform, 2008. 34 p. (in Russian)

7 TR CU 021/2011. Technical Regulation of the Customs Union 'On Food Safety'. Moscow: Eurasian Economic Commission, 2011. (in Russian)

8 SanPiN 2.3.2.1078-01. Hygienic requirements for safety and nutritional value of food products. Moscow: Ministry of Health of Russia, 2002. (in Russian)

9 Ivanova A.A., Petrov B.B. Modern approaches to ensuring food quality in Russia // Proceedings of VSUET. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 45–50. (in Russian)

10 Sidorova E.V., Kuznetsov D.D. Analysis of legal aspects of food safety under globalization // Proceedings of VSUET. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 60–66. (in Russian)

11 Psomas E., Kafetzopoulos D. HACCP effectiveness between ISO 22000 certified and non-certified dairy companies // Food Control. 2015. vol. 53. pp. 134–139. doi: 10.1016/j.foodcont.2015.01.035

12 Lee J.C., Daraba A., Voidarou C., Rozos G., El Enshasy H.A. Implementation of Food Safety Management Systems along with Other Management Tools // Foods. 2021. vol. 10. no. 9. pp. 2133. doi: 10.3390/foods10092133

13 Magnuson B.A. et al. Review of the regulation and safety assessment of food substances in various countries // Food Additives & Contaminants: Part A. 2013. vol. 30. no. 7. pp. 1147–1220. doi: 10.1080/19440049.2013.795293

14 Beszterda M., Tądrowska M., Frański R. Multi-detection method for bisphenol A diglycidyl ether conjugates // Journal of Coatings Technology and Research. 2022. vol. 19. no. 6. pp. 1661–1670. doi: 10.1007/s11998-022-00630-y

15 Lestido-Cardama A., Sendón R., Rodríguez A. Tentative identification of BADGE derivatives in epoxy coatings // Journal of Coatings Technology and Research. 2022. vol. 19. no. 6. pp. 1651–1660. doi: 10.1007/s11998-022-00629-5

16 Smith J. Emerging Technologies in Food Safety // Food Control. 2023. vol. 145. pp. 109–118. doi: 10.1016/j.foodcont.2023.109118

17 Sinha R., Bakshi H.S., Dangayach R., Singh R. et al. Nanomaterials-modified membranes for food safety // Membranes. 2020. vol. 10. no. 7. pp. 140. doi: 10.3390/membranes10070140

18 Li H., Huang L., Li X., Huang W. et al. Interfacial polymerization with HKUST-1 for membranes // Separation and Purification Technology. 2023. no. 309. pp. 123031. doi: 10.1016/j.seppur.2022.123031

19 Zhao D.L., Chung T.–S. Applications of carbon quantum dots (CQDs) in membrane technologies: A review // Water Research. 2018. no. 147. pp. 43–49. doi: 10.1016/j.watres.2018.09.040

20 Fan X., Zhao H., Quan X., Liu Y. et al. Nanocarbon membrane filtration under electric field // Water Research. 2016. no. 88. pp. 285–292. doi: 10.1016/j.watres.2015.10.043

21 Su X., Hatton T.A. Electrosorption at functional interfaces // Physical Chemistry Chemical Physics. 2017. no. 19(35). pp. 23570–23584. doi: 10.1039/c7cp02822a

Сведения об авторах

Нана А. Хузина к.ю.н., кафедра социально гуманитарных дисциплин, Воронежский филиал Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова, Карла Маркса 67А, г. Воронеж, 394030, Россия, na.huzina@mail.ru
https://orcid.org/0009-0006-2298-724X

Константин. К. Полянский д.т.н., профессор, кафедра управления социально-экономическими системами и бизнес процессами, Воронежский филиал Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова, Карла Маркса 67А, г. Воронеж, 394030, Россия, mto.vrn@mail.ru
https://orcid.org/0000-002-8817-1466

Николай. М. Дегтярев к.т.н., доцент, Региональный штаб Общероссийского движения «Народный фронт», «За Россию», «Качество нашей жизни», отделение общероссийского движения «Объединение потребителей России» в Воронежской области, ул. Станкевича 2А, г. Воронеж, 394018, Россия, zenakachestva@ya.ru

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

Information about authors

Nana A. Khuzina Cand. Sci. (Jour.), assistant professor, Department of Social Humanities, Voronezh Branch of the Plekhanov Russian University of Economics, Karla Marksa 67A, Voronezh, 394030, Voronezh, Russia, na.huzina@mail.ru
https://orcid.org/0009-0006-2298-724X

Konstantin. K. Polyansky Dr. Sci. (Engin.), professor, Department of Management of Socio-Economic Systems and Business Processes, Voronezh Branch of the Plekhanov Russian University of Economics, Karla Marksa 67A, Voronezh, 394030, Voronezh, Russia, mto.vrn@mail.ru
https://orcid.org/0000-002-8817-1466

Nikolay M. Degtyarev Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, People's Front" movement, 'For Russia', 'Quality of our Life', branch of the All-Russian movement 'Association of Consumers of Russia' in Voronezh region, Association of Consumers of Russia, 2A Stankevicha St., Voronezh, 394018, Russia, zenakachestva@ya.ru

Anna A. Derkanosova Dr. Sci. (Engin.), professor, Department of Service and Restaurant Business, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, aa-derk@ya.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

Contribution

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/08/2023	**После редакции** 18/08/2023	**Принята в печать** 10/09/2023

Received 01/08/2023	**Accepted in revised** 18/08/2023	**Accepted** 10/09/2023

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-114-122 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.661.1 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Управление затратами на предприятиях хлебопекарной промышленности

Сергей А. Коновалов [1] sa.konovalov@omgau.org 0000-0003-3537-8081
Юлия В. Фризен [1] yuv.frizen@omgau.org 0000-0002-1122-5809
Анна А. Дерканосова [2] aa-derk@ya.ru 0000-0002-9726-9262
Константин К. Полянский [3] mto.vrn@mail.ru 0000-0002-8817-1466

1 Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, ул. Институтская пл., 1, г. Омск, 644008, Россия
2 Воронежский государственных университет инженерных технологий, пр-т Революций, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
3 Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, ул. Карла Маркса, 67А, Россия

Аннотация. В настоящее время всё более возрастает значение реализации таких элементов управления затратами, как учет затрат, анализ, планирование. Всё чаще происходит интеграция функций управления затратами в единую информационную систему предприятия, которая представляет собой основу для принятия тактических и стратегических управленческих решений. Первостепенной для любого предприятия является организация производственного учета. Причем система производственного учета затрат должна быть интегрирована с системой текущих норм и нормативов в соответствии с современными экономическими условиями хозяйствования предприятий. Она должна представлять собой комплекс нормативных количественных и стоимостных показателей рационального потребления хозяйственных ресурсов, обеспечивающий управленческие задачи. В ходе исследования выявлено, что применение научно обоснованных коэффициентов пересчета хлебобулочных изделий в соответствии с кодами ОКПД2 и ТН ВЭД ЕАЭС в сырье, позволяет предприятиям пищевой промышленности уменьшить налоговую базу на 3,4 - 4,2 % и обеспечить рентабельность производства продукции на уровне от 27,8 % до 34,6%. Проведённые экспериментальные исследования на предприятиях различной мощности с использованием отечественного и зарубежного оборудования подтвердили эффективность предложенного подхода. Разработка и внедрение прогрессивных норм и пересчётных коэффициентов способствуют более точному определению себестоимости, контролю за ресурсами, а также обеспечивают прозрачность и управляемость всех стадий производственного процесса. Результаты могут быть интегрированы в программное обеспечение бухгалтерского и производственного учета, что особенно актуально при широком ассортименте выпускаемой продукции. Таким образом, формирование комплексной системы управления затратами, учитывающей реальные условия производства и качественные характеристики сырья, является ключевым направлением повышения рентабельности и устойчивости хлебопекарных предприятий в условиях рыночной экономики.

Ключевые слова: затраты, сырьё, хлебобулочное изделие, ассортимент, мука.

Production accounting at food factories with the purpose of cost minimization

Sergey A. Konovalov [1] sa.konovalov@omgau.org 0000-0003-3537-8081
Julia V. Friesen [1] yuv.frizen@omgau.org 0000-0002-1122-5809
Anna A. Derkanosova [2] aa-derk@ya.ru 0000-0002-9726-9262
Konstantin K. Polyansky [3] mto.vrn@mail.ru 0000-0002-8817-1466

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

Abstract. Presently the importance of fulfilling such elements of cost management as accounting, analyzing and planning grows increasingly. More and more frequently the cost management functions are integrated into the single informational system of an enterprise which represents a foundation for taking tactical and strategic managerial decisions. Production accounting is of prime importance for any enterprise. At that the system of production accounting of costs should be integrated with the system of current norms and standards in accordance with the modern economic conditions of economy management of enterprises. It should represent a complex of regulatory quantitative and cost indicators of rational using of economic resources ensuring managerial objectives. Thus, the paper is devoted to cost management on one of the types of food productions - baking industry enterprises of different production capacities (from 1.5 to 90 tons per day). In the course of the research it was revealed that over the recent years the range of output losses upon production of bakery products has expanded depending on flour moisture content, dough moisture content, mass of bakery items, baking loss value, and drying loss value; whereas the norms of flour consumption and coefficients of converting bakery products to raw materials considerably increased. Application of scientifically grounded coefficients of converting bakery products in accordance with the codes of the Russian Classification of Products by Economic Activities 2 and commodity nomenclature of the foreign economic activity of Eurasian Economic Union (CN FEA EEU) into raw materials allows food industry enterprises to decrease the tax basis by 3.4 - 4.2% and ensure production profitability at the level from 27.8% to 34.6%. Experimental studies conducted at enterprises of various capacities using domestic and foreign equipment confirmed the effectiveness of the proposed approach. The development and implementation of progressive standards and conversion factors contribute to a more accurate determination of cost price, control over resources, and ensure transparency and controllability of all stages of the production process. The results can be integrated into accounting and production accounting software, which is especially important with a wide range of manufactured products. Thus, the formation of a comprehensive cost management system that takes into account real production conditions and the quality characteristics of raw materials is a key area for increasing the profitability and sustainability of bakeries in a market economy.

Keywords: Costs; raw materials; bakery products; range; flour.

Для цитирования
Дерканосова А.А., Коновалов С.А., Фризен Ю.В., Полянский К.К. Управление затратами на предприятиях хлебопекарной промышленности // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 114–122. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-114-122

For citation
Derkanosova A.A., Konovalov S.A., Friesen Yu.V., Polyansky K.K. Production accounting at food factories with the purpose of cost minimization. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 114–122. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-114-122

© 2025, Дерканосова А.А. и др. / Derkanosova A.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Хлебопекарная промышленность России в связи с огромной социальной значимостью выпускаемой продукции, занимает ведущее место среди других отраслей обрабатывающей промышленности. Сегодня в России производится более 800 наименований хлебобулочных изделий на основе технологий, разработанных российскими учеными и специалистами. Производство развивается как за счет увеличения выработки традиционных видов изделий, так и за счет расширения ассортимента нетрадиционных сортов [15, 19].

Стратегической целью хлебопекарной промышленности нашей страны на основании Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 года и Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации является полное удовлетворение потребностей населения в безопасных отечественных хлебобулочных изделиях при обеспечении стабильности внутреннего производства. При этом удовлетворение потребностей предполагает наличие продукции надлежащего качества, в объеме и ассортименте, соответствующих предпочтениям населения различных групп. Реализация этой цели позволит решить задачи обеспечения продовольственной безопасности в сфере хлебопечения. Концепция предполагает переход к инновационному типу развития хлебопекарной промышленности, который предусматривает улучшение ассортимента выпускаемой продукции при снижении удельных затрат ресурсов всех видов [12, 13].

В последние годы произошли структурные изменения в производстве и потреблении хлеба и хлебобулочных изделий, технологиях производства продукции, расходе сырья на их производство. На рынке хлеба и хлебобулочных изделий появились новые изделия с применением различного рода основного и дополнительного сырья и пищевых ингредиентов: нетрадиционных видов муки (кукурузная мука, полбяная, мука, мука из зерна тритикале), улучшителей технологического процесса, прогрессивных технологий и современного оборудования, что привело к изменению норм расхода сырья на их производство. Важным фактором, оказывающим значительное влияние на расход сырья и качество продукции, использование отдельными производителями муки в составе помольных партий зерна четвертого класса (фуражного зерна), и как следствие этого снижение технологических показателей муки.

Предприятия хлебопекарной промышленности наряду с традиционными сортами хлебобулочных изделий в последние годы заметно расширили ассортимент нетрадиционных хлебобулочных изделий, представляющих изделия, изготовленные по оригинальным рецептурам, в том числе продукция функционального и профилактического назначения.

Перспективными ассортиментными группами для современного производства являются функциональные и диетические хлебы, национальные хлебобулочные изделия, мелкоштучные сдобные и слоеные изделия, хлебы премиум-сегмента [10].

Расширение ассортимента хлеба и хлебобулочных изделий привело к развитию пекарен при сетевом ритейле и существенно сократился процесс переоснащения предприятий. Появились предприятия хлебопекарной промышленности нового формата: пекарня-кондитерская, пекарня эконом-класса, а также предприятия, специализирующиеся на выпуске тандырного хлеба.

До 1996 года каждый хлебозавод выпускал один вид хлеба на поточных линиях. После приватизации и акционирования началась борьба за рынок сбыта. Ассортимент предприятий значительно расширялся. Поточные линии оказались недозагруженными, приобреталось оборудование, рассчитанное на выпуск нескольких видов изделий на одной линии (ротационные печи, тестомесильные машины периодического действия). Для снижения цены на продукцию изделия на поточных линиях стали выпускать с меньшим весом, что еще увеличило затраты сырья при производстве продукции [1].

Большинство предприятий хлебопекарной промышленности чтобы снизить затраты при производстве не могут приобрести новое высокотехнологичное оборудование, которое в основном выпускается за рубежом в виду его высокой стоимости. В результате чего на предприятиях хлебопекарной отрасли возникли следующие проблемы:

– выпечка разных по массе изделий в одной печи, что снижает их загрузку и производительность;

– высокая энергоемкость печного оборудования, работающего по непрерывному циклу (в связи с недостаточной загруженностью поточных линий);

– несовпадение процессов производства с требованиями рынка (доставка большого количества хлебобулочных изделий в торговые точки одновременно в определенное время).

– переход на порционные способы тестоприготовления (изменение затрат на брожение),

– выпуск на одной линии различных видов продукции (корректировка потерь муки до замешивания полуфабрикатов;

– потери муки и теста от замешивания до разделки теста;

– потери муки и теста от разделки до посадки тестовых заготовок в печь, так как из одной муки замешивается тесто с разной влажностью для разного ассортимента хлебобулочных изделий;

– средние размеры технологических потерь и затрат, приведенные в ранее разработанной инструкции не соответствуют по массе изделий, способу тестоприготовления и маркам используемых печей.

Все эти изменения глобального рынка, структурные изменения производства хлеба и хлебобулочных изделий, качества сырья приводят к необходимости пересмотра ныне действующих норм расхода сырья, созданию эффективной системы учета затрат и калькулирования себестоимости готовой продукции.

Материалы и методы

Основной целью исследования является разработка научно обоснованных коэффициентов пересчета хлеба и хлебобулочных изделий на сырьё с учетом внедрения новых технологий. Разработка коэффициентов пересчета хлеба и хлебобулочных изделий на сырьё невозможна без применения в производстве и планировании технологически и экономически обоснованных прогрессивных норм расхода сырья и материалов в целях их рационального потребления, наиболее эффективного использования и осуществления режима экономии.

Предприятия хлебопекарной промышленности, выбранные в качестве объектов производственного учета, в зависимости от классификации и норм по проектированию можно отнести:

Респондент 1, 2 – пекарни малой мощности;

Респондент 3 – пекарня большой мощности;

Респондент 4 – хлебозавод средней мощности.

Предприятия данных типов являются наиболее распространенными в Сибирском регионе. Технологический процесс производства хлеба и хлебобулочных изделий на данных предприятиях частично автоматизирован. Предприятия хлебопекарной промышленности располагают в своей производственной структуре оборудованием как отечественного, так и зарубежного производства: Sotoriva, Basanini, Real Forni (Итальянское оборудование), Miwe (Немецкое оборудование), XLT (Американское оборудование), РТ-150, Муссон, Циклон, (Российское оборудование) и др.

При расчете норм выхода хлеба учитывались:

• чистый расход муки и дополнительного сырья (жира, сахара и пр.), количество сырья, которое входит в готовые изделия;

• технологические затраты при выработке хлеба и хлебобулочных изделий;

• производственные потери на складах, коммуникациях и т. п.

При разработке норм выхода хлебобулочных изделий использовались ГОСТ, отраслевые стандарты, технологические инструкции, технические условия, стандарты предприятий, действующие рецептуры, данные отчетов о выходе продукции, результаты контроля фактического выхода, уровня потерь и затрат [2–8].

Разработку проекта новых норм выхода хлеба вели на основе данных опытных выпечек, которые проводили на предприятиях, выбранных в качестве объектов для экспериментальных исследований. Исследуемые предприятия хлебопекарной промышленности постоянно занимаются разработкой нового ассортимента хлебобулочных изделий, внедряют новые типы оборудования, используют новые технологические схемы производства хлеба и хлебобулочных изделий или осуществляют другие мероприятия, вызывающие изменение выхода хлеба.

В ходе исследования проведен анализ учета сырья на реально действующих предприятиях Сибирского региона (таблица 1).

Технологические потери сведены до минимума, а в отдельных случаях полностью ликвидированы путем строгого соблюдения норм эксплуатации и наблюдения за состоянием оборудования, а также совершенствования как механизмов, так и приемов работы. Определение размеров технологических затрат и потерь проводились в основном, весовым методом. Подготовка к определению размеров затрат и потерь включала несколько этапов:

– подготовительный этап;

– определение количественных показателей расчетным путем;

– проведение опытных выпечек и замеров расхода основного и дополнительного сырья при производстве хлеба и хлебобулочных изделий;

– анализ и обработка полученных данных проводился расчетно-аналитическим и опытным методом.

Таблица 1.

Характеристика предприятий хлебопекарной промышленности

Table 1.

Characteristics of the baking industry enterprises

Показатель Indicator	Респондент 1 Respondent 1	Респондент 2 Respondent 2	Респондент 3 Respondent 3	Респондент 4 Respondent 4
	Характеристика предприятий, в зависимости от производственной мощности, тонн в сутки Characteristics of enterprises depending on the production capacity, tons per day			
	1,5–5,0		5,0–20,0	30–90
Проектная (максимальная мощность) предприятия: Enterprise (maximum) capacity: т/ смену | t/shift т/сут | t/day т/год | t/year	 3,75 7,5 2738,0	 7,5 15,0 5475,0	 5,0 10,0 3650,0	 27,0 54,0 19 710,0
Фактическая мощность Actual capacity т/ смену | t/shift т/сут | t/day т/год | t/year	 2,0 4,0 1475,0	 2,25 4,5 1642,5	 3,0 6,0 2 148,0	 19,5 39,0 14 290,0
Объем перерабатываемой муки, т/год Volume of processed flour, t/year	1080,7	1125,05	1 169,4	11 000,0
Годовой объём, выпускаемой продукции, т Annual volume of produced items, tons	1475,0	1659,0	2 148,0	14 290,0
Хлеба, т/год | Bread, t/year	1272,2	1400,7	1 807,0	11 680,0
Булочные изделия т/год Bakery products, t/year	137,8	201,3	259,0	2 152,1
Квас, сухарные, бублики, т/год Kvass, dried bread, soft ring-shaped rolls, t/year	32,5	18,0	38,0	335,0
Мучные кондитерские изделия, т/год Flour confectionery products, t/year	21,5	–	–	85,2
Тесто, т/год | Dough, t/year	11,0	39,0	44,0	37,7

Перед проведением экспериментальных исследований была составлена схема контроля и учета затрат и потерь муки по стадиям технологического процесса производства хлеба и хлебобулочных изделий.

Результаты

Результатом научно-исследовательской работы стала разработка научно обоснованных коэффициентов пересчета хлебобулочных изделий в сырье.

Произведем перерасчет потребности в сырье и рецептуру на хлебобулочное изделие с применением коэффициентов пересчета хлебобулочной продукции в сырьё.

Расчет потребности в сырье приведем на примере производства хлебобулочного изделия «Хлеб с зародышевыми хлопьями пшеницы» объёмом выпуска 3 тонны в сутки. Плановый расход муки для производства хлебобулочного изделия рассчитывается на производстве в пересчете на базисную влажность муки 14,5%. Влажность муки, поступающей на производство, варьируется в течение года.

Предположим, что на производство поступила мука с влажностью 14,0%, согласно данных таблицы «Расчет расхода муки на 1 тонну хлебобулочного изделия через коэффициенты пересчета муки влажностью 14,6–14,7% и плановый выход» для хлебобулочного изделия «Хлеб с зародышевыми хлопьями пшеницы» плановый расход муки составляет 667,6 кг. Коэффициент перерасчета сырья для фактической влажности муки 14,0% составляет 0,995.

Произведем перерасчет потребности муки с влажностью 14,0% для производства хлебобулочного изделия «Хлеб с зародышевыми хлопьями пшеницы».

Потребность муки влажностью 14,0% для производства хлебобулочного изделия «Хлеб с зародышевыми хлопьями пшеницы» на 1 тонну рассчитывается по формуле:

$$П_{мук.14,0\%}=П_{мук.14,5\%}\times К_{мук.14,0\%},$$

где $П_{мук.14,0\%}$ – расход муки для производства конкретного вида хлебобулочного изделия, с влажностью ($W_{мук.}$=14,5%); $К_{мук.14,0\%}$ – коэффициент перерасчета сырья для влажности муки ($W_{мук.}$=14,0%)

$$П_{мук.14,0\%}=667,6\times 0,995=664,262 \text{ кг}$$

Для расчета расхода муки (m) в кг на 1 тонну с влажность $W_{мук.}$=14,0%, расход муки (m) в кг на 1 тонну с влажностью $W_{мук.}$=14,5% умножают на коэффициент соответствующий фактической влажности муки $К_{мук.14,0\%.}$

Потребность сырья по рецептуре можно определить, рассчитывая расход всего сырья на фактическую влажность муки, используя коэффициенты.

Расчет потребности в муке для производства хлебобулочного изделия «Хлеба с зародышевыми хлопьями пшеницы» влажностью 14,0% в кг на 3 тонны определяем:

$$П_{мук.14\%}=3\times664,262=1992,786 \text{ кг}$$

Производственные расчеты потребности в сырье предполагают корректировку выходов с учетом дополнительных факторов, оказывающие значительное влияние на потери и затраты муки. К таким факторам производства можно отнести перевес штучного хлеба, влажность теста, упек, усушка которые зависят от профессионализма технолога и производственного персонала и могут корректироваться в процессе производства. Величину расхода муки можно рассчитать при помощи соответствующих коэффициентов пересчета расхода муки при перевесе, коэффициентов пересчета муки в зависимости от влажности теста, величину упека, усушки.

Перевод хлебобулочных изделий в сырьё по коэффициентам пересчета муки необходим для проведения статистических расчетов, определения фактического объема производства продукции, прогнозирования основных показателей отрасли, упрощения расчетов себестоимости продукции, составления бизнес планов, бюджетного планирования, установление потребности в продовольствии на душу населения в пересчете на сырьё, укрепления внутрихозяйственного расчета и составления балансов сырья, мониторинга эффективного использования основного сырья при производстве хлебобулочных изделий и т. д.

Предположим, что помимо влажности муки 14,0% на производство изделия «Хлеб с зародышевыми хлопьями пшеницы», влияют такие факторы как влажность теста – 1,0%, упек – 1,0%, усушка 1,0%, перевес штучного хлеба на 5 г. Рассчитаем расход муки для производства хлебобулочного изделия «Хлеб с зародышевыми хлопьями пшеницы» с объемом выпуска 5 тонн в сутки с учетом предполагаемых потерь. Коэффициент пересчета фактической влажности муки 14,0% составляет – 0,995, коэффициент пересчета при уменьшении фактической влажности теста на 1,0% – 1,018, коэффициент пересчета фактического при увеличении упека на 1,0% – 1,011, коэффициент пересчета при увеличении усушки на 1,0% – 1,0101, коэффициент пересчета при перевесе штучного хлеба на 5 г – 1,0169.

Потребность муки на одну тонну изделия «Хлеб с зародышевыми хлопьями пшеницы» влажностью с учетом коэффициента учета фактической влажности муки, коэффициент пересчета при уменьшении фактической влажности теста, коэффициент пересчета фактического при увеличении упека, коэффициент пересчета при перевесе штучного хлеба составит:

$$П_{мук14,0\%}=П_{мук.14,5\%}\times К_{мук.14,0\%}\times К_{Wт1\%}\times К_{упек1\%}\times К_{m}\times К_{усуш.1\%}$$

где $П_{мук\ 14,0\%}$ – потребность муки с влажностью 14,0% на одну тонну хлебобулочного изделия, кг; $П_{мук\ 14,5\%}$ – потребность муки с влажностью 14,5% на одну тонну хлебобулочного изделия, кг; $К_{мук\ 14,0\%}$ – коэффициента учета фактической влажности муки 14,0%; $К_{Wт1\%}$ – коэффициент пересчета при уменьшении фактической влажности теста на 1%; $К_{упек\ 1\%}$ – коэффициент пересчета при увеличении упека на 1%; $К_{m}$ – коэффициент пересчета при перевесе штучного хлеба на 5 г.

$$П_{мук.14,0\%}=667,6\times0,995\times1,018\times1,011\times$$
$$\times1,01691\times1,0101=702,24 \text{ кг}$$

Потребность муки для производства изделия «Хлеб с зародышевыми хлопьями пшеницы» $П_{мук.14,0\%}$, с влажностью ($W_{мук}$) = 14,0% на одну тонну составляет 702,24 кг, тогда на пять тонн данного изделия потребность муки составит 3511,2 кг.

Рассчитаем потребность в сырье для производства хлебобулочных изделий с влажностью муки $W_{мук.}$=13,8% и $W_{мук.}$=15,0%, используя коэффициенты пересчета фактической влажности муки. Для расчета потребности в сырье на 1 т муки фактической влажности $W_{мук.}$=13,8% и $W_{мук.}$=15,0%, компоненты рецептуры пересчитывают на плановый расход муки базисной влажности $W_{мук.}$=14,5%.

После чего, коэффициенты для муки фактической влажности $К_{мук.13,8\%}$=0,9930 и $К_{мук.15,0\%}$ – умножают на значение показателя из колонки 3, где представлены компоненты рецептуры, рассчитанные на базисную влажность муки $W_{мук.}$=14,5%.

Пересчет рецептуры хлебобулочного изделия с базисной влажностью муки на рецептуры хлебобулочных изделий с фактической влажностью муки представлен в таблице 2.

Обсуждение

Использование данных коэффициентов возможно в программе бухгалтерского учета предприятия. Коэффициенты пересчета продукции в сырьё, позволят эффективно вести учет сырья, не допуская его перерасхода, эффективно использовать оборудование, оценивать организационную структуру предприятия и эффективность работы каждой смены и бригады, правильно рассчитывать себестоимость готовой продукции и эффективность управления предприятия в целом.

В программу последовательно вводят базисные выхода на каждый вид продукции и коэффициенты влажности муки, коэффициенты, учитывающие влажность теста, величину упека, усушки муки, коэффициенты учитывающие неточности массы штучных изделий и программа автоматически пересчитывает расход муки на 1 тонну продукции. Данный учет удобен при выпуске большого количества ассортимента на предприятии.

В условиях рыночной экономики любое коммерческое предприятие ориентировано на повышение эффективности. Основной целью предприятий хлебопекарной промышленности в условиях роста конкуренции, является увеличение объемов производства, расширение ассортимента продукции, улучшение её качества, а также минимизация затрат и повышение эффективности производства конкурентоспособной продукции [11, 14, 16–18].

Таблица 2.

Результаты пересчета рецептуры хлебобулочного изделия с базисной влажностью муки на рецептуры хлебобулочных изделий с фактической влажностью муки

Table 2.

Results of recalculation of the formula of a bakery product with the basic moisture content of flour to formulas of bakery products with the actual moisture content of flour

Сырье Raw material	Количество сырья при $W_м$=14,5% Quantity of raw materials at M_{fl} = 14,5%	Количество сырья на 1 т готового продукта при $W_{мук}$=14,5% Quantity of raw materials per 1 t of finished Product at M_{fl} = 14,5%	Количество сырья на 1 т готового продукта при $W_{мук}$=13,8% Quantity of raw materials per 1 t of finished product at M_{fl} = 13,8%	Количество на 1 т готового продукта при $W_{мук}$= 15,0% Quantity per 1 t of finished product at M_{fl} = 15,0%
Мука пшеничная высш / сорт |Wheat flour, highest grade	100,0	737,5	732,3	741,15
Сахар |Sugar	5,0	36,9	36,6	37,1
Соль | Salt	1,0	7,4	7,3	7,4
Меланж | Melange	5,0	36,9	36,6	37,1
Маргарин | Margarine	7,0	51,6	51,3	51,9
Улучшитель | Improver	0,2	1,47	1,46	1,48
Выход, % | Output, %	135,6			
Коэффициент пересчета сырья на 1 тонну готовой продукции Coefficient of raw materials recalculation per 1 ton of finished products		Рассчитываем через выход Calculated by output	0,9930	1,0050

Следует отметить, что зачастую при поиске направлений повышения эффективности, основное внимание на предприятиях уделяется росту объемов реализации или расширению ассортимента продукции, тогда как вопросы затрат экономических ресурсов отодвигаются на второй план. В этой связи все более актуальным сегодня является управление затратами, которое рассматривается нами как реализация следующих элементов:

– во-первых, планирование затрат исходя из производственной программы и нормативов расходов;

– во-вторых, контроль и регулирование затрат. На данном этапе осуществление координации и регулирования затрат позволяет предприятиям избежать непроизводительных затрат. Контроль обеспечивает сравнение нормативных и фактических затрат.

– в-третьих, учет и анализ затрат. Учет позволяет сформировать необходимую информацию для принятия управленческих решений. Анализ дает возможность оценить насколько эффективно используются ресурсы предприятия, выявить имеющиеся резервы снижения производственных затрат и оценить влияние факторов на степень достижения запланированных показателей.

Заключение

В структуре себестоимости продукции до 70% занимает элемент «Материальные затраты», основная доля материальных затрат приходится на сырье. В ходе исследования был проведен анализ размера материальных затрат по группам продукции в соответствии с ОКПД 2 при использовании предприятиями действующих норм расхода сырья и потерь.

Следует отметить, что действующие до последнего времени нормы расхода муки, представленные в «Инструкции по нормированию расхода муки (выхода хлеба) в хлебопекарной промышленности», разработанные более тридцати лет назад морально устарели и требуют пересмотра.

Произведенный анализ показывает, что использование морально устаревших норм расходов сырья ведет к искажению размера производственных затрат, уменьшению затратоёмкости продукции и искажению финансовых результатов деятельности предприятия. Занижение материальных затрат составляет от 1,5% до 6,4%. Что в свою очередь ведет к увеличению налоговой базы предприятия и увеличению выплат налоговых платежей. В тоже время перевод готовой продукции на сырьё с использованием обоснованных выше коэффициентов, отражает фактический расход сырья и позволяет предприятиям хлебопекарной промышленности провести оптимизацию налогообложения путем снижения налогооблагаемой базы. Произведенные расчеты показали, что налоговая база на хлебопекарных предприятиях уменьшается на 3,4–4,2%, что в свою очередь ведет к уменьшению налоговых выплат предприятий.

Результаты исследования подтверждают, что основным фактором роста эффективности хлебопекарных предприятий является управление затратами, которое должно способствовать повышению эффективности деятельности. Применение предложенных коэффициентов перевода продукции в сырье, учитывающих отраслевые и технологические особенности производства, дает возможность организовать на предприятиях обрабатывающей промышленности эффективную систему производственного и управленческого учета, позволяющую принимать экономически обоснованные и своевременные управленческие решения.

Литература

1 Абзаилов Д.Ш. Пути снижения себестоимости продукции на предприятии хлебопекарного бизнеса (на примере ЗАО «Хлебозавод № 3») // Актуальные проблемы и достижения региональных экономических систем: сб. науч. тр. по материалам VI Междунар. науч.-практ. конф. Ставрополь. 2020. С. 11–16.

2 ГОСТ 7045–2017. Мука ржаная хлебопекарная. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2019. 10 с.

3 ГОСТ 26574–2017. Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2018. 12 с.

4 ГОСТ ISO 3093–2016. Зерно и продукты его переработки. Определение числа падения методом Хагберга-Пертена. М.: Изд-во стандартов, 2016. 12 с.

5 ГОСТ 9404–88. Мука и отруби. Метод определения влажности. М.: Изд-во стандартов, 2007. 5 с.

6 ГОСТ 26361–2013. Мука. Метод определения белизны. М.: Изд-во стандартов, 2014. 12 с.

7 ГОСТ 27560–87. Мука и отруби. Метод определения крупности. М.: Изд-во стандартов, 2007. 4 с.

8 ГОСТ Р 54478–2011. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. М.: Изд-во стандартов, 2012. 20 с.

9 Лазарева О.С., Советов И.Н. Резервы снижения себестоимости производства продукции в регионе // Лизинг. 2023. № 4. С. 35–39.

10 Латышева З.И., Власова О.В., Наджафова М.Н., Александрова Е.Г. О результатах производственно-экономической деятельности лидеров рынка хлебобулочных изделий РФ // Вестник НГИЭИ. 2023. № 3 (142). С. 71–83.

11 Меликян Л.А., Булацева Ф.А., Гурдзибеева А.А. Резервы повышения эффективности использования основного капитала хлебопекарного предприятия как фактора обеспечения его экономической безопасности // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. Владикавказ. 2022. С. 209–211.

12 О Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года [Электрон. ресурс]: Распоряжение Правительства РФ от 17.11.2008 № 1662-р [2018]. URL: http://www.consultant.ru.

13 Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации [Электрон. ресурс]: Указ Президента РФ от 30.01.2010 № 120 [2018]. URL: http://www.consultant.ru.

14 Полякова М.В. Информационное обеспечение управления затратами в хлебопекарной промышленности // Соц.-экон. развитие Брянской области: Тенденции и перспективы. Сб. матер. рег. науч.-практ. конф. Под ред. А.В. Новиковой, И.В. Шлеминой. М.: 2020. С. 106–109.

15 Старкова О.Я., Алабужева М.А. Тенденции развития рынка хлеба в Российской Федерации [Электрон. ресурс] // Аэкономика: экономика и сельское хозяйство. 2017. № 2 (14). URL: http://aeconomy.ru/science/economy/tendentsii-razvitiya-rynka-khleba-v.

16 Хамхоева Ф.Я. Современные проблемы применения метода «директ-костинг» на хлебопекарных предприятиях Республики Ингушетия // Инновации и инвестиции. 2020. № 1. С. 140–144.

17 Щелкунов А.В. Проблемы и особенности учета затрат на предприятии хлебопекарной промышленности // Форум молодых ученых. 2019. № 1 (29). С. 999–1005.

18 Lacerda M.S.P., Schultz S.A., Walter F. Applicability of the production effort units method in a bakery: an evidence from a case study // Systems and Management. 2017. Vol. 12. P. 38–48.

19 Yessimsiitova Z.B., Ablaikhanova N.T., Tussupbekova G.A., Aknazarov S.K., Nuraly A.M., Bexeitova K.S., Kozhamzharova A.S. Use of non-traditional food additives in the production of bakery products // Vestnik Kaz NMU. 2018. №. 3. P. 212–214.

20 Jesulagba T.J., Dallacoasta A., Abiodun Z.A., Ogheneovo O., Abdulsalam A. Cost Evaluation of Bread Production from Composite of Wheat Flour and Corn Flour // Asian Journal of Food Research and Nutrition. 2024. Vol. 3. №. 1. P. 190–201.

21 Zorzenon D., Zaiets N., Raisch J. Switched max-plus linear-dual inequalities for makespan minimization: the case study of an industrial bakery shop1 // IFAC-PapersOnLine. 2023. Vol. 56. №. 2. P. 8628-8634.

22 Yanova M.A., Sharopatova A.V., Roslyakov Y.F., et al. Application efficiency of new raw materials in the production of flour confectionery products with increased nutritional value // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2020. Vol. 548. №. 8. P. 082091. doi: 10.1088/1755-1315/548/8/082091

23 Ivkova I.A. et al. Production accounting at food factories with the purpose of cost minimization // Journal of Management, Computing and Management Science. 2020. special issue no. 10. P. 585–600. doi: 10.26782/jmcms.spl.10/2020.06.00036

24 Mickiewicz B., Britchenko I. Main trends and development forecast of bread and bakery products market // Economic Affairs. 2022. Vol. 7. №. 3. P. 113–123.

References

1 Abzailov D.Sh. Ways to reduce the cost of production at a bakery business (using the example of Bakery No. 3 CJSC). In: Current Problems and Achievements of Regional Economic Systems: Proc. of the VI Int. Sci.-Pract. Conf. Stavropol, 2020. pp. 11–16. (in Russian)

2 GOST R 7045–2017. Rye bread flour. Technical conditions. Moscow: Standards Publishing House, 2019. 10 p. (in Russian)

3 GOST R 26574–2017. Wheat flour. Technical conditions. Moscow: Standards Publishing House, 2018. 12 p. (in Russian)

4 GOST ISO 3093–2016. Grain and its processed products. Determination of falling number by Hagberg-Perten method. Moscow: Standards Publishing House, 2016. 12 p. (in Russian)

5 GOST 9404–88. Flour and bran. Method for determination of moisture content. Moscow: Standards Publishing House, 2007. 5 p. (in Russian)

6 GOST 26361–2013. Flour. Method for determination of whiteness. Moscow: Standards Publishing House, 2014. 12 p. (in Russian)

7 GOST 27560–87. Flour and bran. Method for determination of fineness. Moscow: Standards Publishing House, 2007. 4 p. (in Russian)

8 GOST R 54478–2011. Grain. Methods for determining the quantity and quality of gluten in wheat. Moscow: Standards Publishing House, 2012. 20 p. (in Russian)

9 Lazareva O.S., Sovetov I.N. Reserves for reducing production costs in the region. Leasing. 2023. no. 4. pp. 35–39. (in Russian)

10 Latysheva Z.I., Vlasova O.V., Najafova M.N., Alexandrova E.G. Production and economic performance of leaders in the Russian bakery market. Bulletin of NGIEI. 2023. no. 3 (142). pp. 71–83. (in Russian)

11 Melikyan L.A., Bulatseva F.A., Gurdzibeeva A.A. Reserves for improving the efficiency of fixed capital use in bakeries. In: Proc. of the All-Russian Sci.-Pract. Conf. Vladikavkaz, 2022. pp. 209–211. (in Russian)

12 Government of the Russian Federation. On the concept of long-term socio-economic development of the Russian Federation until 2030 [Electronic resource]: Order No. 1662-r dated Nov. 17, 2008. [2018]. Available at: http://www.consultant.ru (in Russian)

13 President of the Russian Federation. On approval of the Doctrine of Food Security of the Russian Federation [Electronic resource]: Decree No. 120 dated Jan. 30, 2010. [2018]. Available at: http://www.consultant.ru (in Russian)

14 Polyakova M.V. Information support for cost management in the bakery industry. In: Socio-Economic Development of the Bryansk Region: Trends and Prospects. Proc. of the Regional Sci.-Pract. Conf. Moscow, 2020. pp. 106–109. (in Russian)

15 Starkova O.Ya., Alabuzheva M.A. Trends in the development of the bread market in the Russian Federation [Electronic resource]. Aekonomika: Economics and Agriculture. 2017. no. 2 (14). Available at: http://aeconomy.ru/science/economy/tendentsii-razvitiya-rynka-khleba-v (in Russian)

16 Khamkhoeva F.Ya. Modern issues of applying the direct-costing method at bakeries in Ingushetia. Innovation and Investment. 2020. no. 1. pp. 140–144. (in Russian)

17 Shchelkunov A.V. Problems and features of cost accounting in the bakery industry. Forum of Young Scientists. 2019. no. 1 (29). pp. 999–1005. (in Russian)

18 Lacerda M.S.P., Schultz S.A., Walter F. Applicability of the production effort units method in a bakery: evidence from a case study. Systems and Management. 2017. vol. 12. pp. 38–48.

19 Yessimsiitova Z.B., Ablaikhanova N.T., Tussupbekova G.A., Aknazarov S.K., Nuraly A.M., Bexeitova K.S., Kozhamzharova A.S. Use of non-traditional food additives in the production of bakery products. Vestnik Kaz NMU. 2018. no. 3. pp. 212–214.

20 Jesulagba T.J., Dallacoasta A., Abiodun Z.A., Ogheneovo O., Abdulsalam A. Cost evaluation of bread production from composite of wheat flour and corn flour. Asian Journal of Food Research and Nutrition. 2024. vol. 3. no. 1. pp. 190–201.

21 Zorzenon D., Zaiets N., Raisch J. Switched max-plus linear-dual inequalities for makespan minimization: the case study of an industrial bakery shop. IFAC-PapersOnLine. 2023. vol. 56. no. 2. pp. 8628–8634.

22 Yanova M.A., Sharopatova A.V., Roslyakov Y.F. et al. Application efficiency of new raw materials in the production of flour confectionery products with increased nutritional value. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. vol. 548. no. 8. p. 082091. doi: 10.1088/1755-1315/548/8/082091

23 Ivkova I.A. et al. Production accounting at food factories with the purpose of cost minimization. Journal of Management, Computing and Management Science. 2020. special issue no. 10. pp. 585–600. doi: 10.26782/jmcms.spl.10/2020.06.00036

24 Mickiewicz B., Britchenko I. Main trends and development forecast of bread and bakery products market. Economic Affairs. 2022. vol. 7. no. 3. pp. 113–123.

Сведения об авторах

Сергей А. Коновалов 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, sa.konovalov@omgau.org
https://orcid.org/0000-0003-3537-8081

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.frizen@omgau.org
https://orcid.org/0000-0002-1122-5809

Анна А. Дерканосова д.т.н., профессор, кафедра ресторанного бизнеса, Воронежский государственных университет инженерных технологий, пр-т Революций, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, aa-derk@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-9726-9262

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/0000-0002-8817-1466

Information about authors

Sergey A. Konovalov Cand. Sci. (Engin.), assistant 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

Julia V. Friesen Cand. Sci. (Agric.), assistant professor, Agronomy, Breeding and Seed Production department,, Omsk State Agrarian University named after. P.A. Stolypin, Institutskaya square, 1, Omsk, 644008, Russia, yuv.frizen@omgau.org
https://orcid.org/0000-0002-1122-5809

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/0000-0002-9726-9262

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/0000-0002-8817-1466

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 24/02/2025	**После редакции** 14/03/2025	**Принята в печать** 24/03/2025
Received 24/02/2025	**Accepted in revised** 14/03/2025	**Accepted** 24/03/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-123-129 Оригинальная статья/Research article
УДК 004.942 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Цифровизация с использованием AI, как ключевой фактор повышения эффективности производства и качества пива

Даниил Р. Кулигин [1] kuligin470@gmail.com 0009-0007-3133-4467
Екатерина А. Саввина [1] katenok2207@yandex.ru 0000-0002-0728-8313
Владислав М. Васечкин [1] vasechkinvm@gmail.com 0009-0003-0700-7344
Леонид С. Чесников [1] leonid.chesnikov@ya.ru 0009-0002-6124-5426
Екатерина Ю. Желтоухова [1] katsturova@gmail.com 0000-0002-7463-9013

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

Аннотация. Пивоваренная промышленность является значимой отраслью экономики и культуры, а ее традиционные методы производства сталкиваются с вызовами, такими как меняющиеся потребительские предпочтения, необходимость сокращения затрат и соблюдение экологических стандартов. Внедрение искусственного интеллекта (ИИ) становится ключевым инструментом в решении этих задач, повышая эффективность, качество и инновационность. Исследование основано на анализе данных о производстве пива с применением ИИ, изучении зарубежного опыта, а также построении графиков, иллюстрирующих экономические и технологические аспекты внедрения ИИ. Использование ИИ позволяет в режиме реального времени контролировать критически важные параметры, такие как температура, влажность, уровень сахара и pH, что способствует предотвращению дефектов и стабилизации качества готовой продукции. Предиктивные модели на основе машинного обучения обеспечивают точное прогнозирование завершения процессов и помогают минимизировать производственные потери, особенно при фильтрации. Результаты применения ИИ в пивоварении: оптимизация рецептур на основе данных о предпочтениях потребителей, контроль качества на этапах производства с помощью сенсоров и алгоритмов машинного обучения, автоматизация процессов: управление брожением, анализ сырья и др. Экономическая эффективность использования ИИ заключается в снижении производственных затрат за счет автоматизации, оптимизации использования ресурсов и минимизации брака, привлечении новых потребителей через адаптированные под спрос рецептуры. Авторы опираются на зарубежный опыт таких компаний, как Heineken, Carlsberg и AB InBev, успешно использующих ИИ в анализе спроса, управлении логистикой и разработке новых продуктов. Результаты исследования подтверждают, что внедрение ИИ способствует трансформации пивоваренной отрасли, обеспечивая устойчивое развитие и конкурентоспособность на глобальном рынке. Статья подчеркивает значимость комплексной цифровизации производства и необходимость интеграции ИИ в стратегическое планирование пивоваренных предприятий.

Ключевые слова: брожение, искусственный интеллект, цифровизация, бродильная отрасль, пиво, повышение качества.

AI-enabled digitalization as a key factor in improving production efficiency and beer quality

Daniil R. Kuligin [1] kuligin470@gmail.com 0009-0007-3133-4467
Ekaterina A. Savvina [1] katenok2207@yandex.ru 0000-0002-0728-8313
Vladislav M. Vasechkin [1] vasechkinvm@gmail.com 0009-0003-0700-7344
Leonid S. Chesnikov [1] leonid.chesnikov@ya.ru 0009-0002-6124-5426
Ekaterina Yu. Zheltoukhova [1] katsturova@gmail.com 0000-0002-7463-9013

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

Abstract. The brewing industry is a significant economic and cultural sector, and its traditional production methods are facing challenges such as changing consumer preferences, the need to reduce costs and comply with environmental standards. The implementation of Artificial Intelligence (AI) is becoming a key tool in addressing these challenges, improving efficiency, quality and innovation. The research is based on analyzing data on beer production with AI application, studying domestic and foreign experience, and constructing graphs illustrating economic and technological aspects of AI implementation. The use of AI allows real-time monitoring of critical parameters such as temperature, humidity, sugar levels and pH, which helps to prevent defects and stabilize the quality of finished products. Predictive models based on machine learning provide accurate predictions of process completion and help minimize production losses, especially during filtering. The results of the use of AI in brewing: optimization of formulations based on data on consumer preferences, quality control at the production stages using sensors and machine learning algorithms, automation of processes: fermentation management, raw material analysis, etc. The economic efficiency of using AI is to reduce production costs through automation, optimize resource use and minimize waste, and attract new consumers through formulations adapted to demand. The authors draw on the international experience of companies such as Heineken, Carlsberg and AB InBev, which successfully use AI in demand analysis, logistics management and new product development. The results of the study confirm that the introduction of AI contributes to the transformation of the brewing industry, ensuring sustainable development and competitiveness in the global market. The article highlights the importance of integrated digitalization of production and the need to integrate AI into the strategic planning of breweries.

Keywords: fermentation, artificial intelligence, digitalization, fermentation industry, beer, quality improvement..

Для цитирования
Кулигин Д.Р., Саввина Е.А., Васечкин В.М., Чесников Л.С., Желтоухова Е.Ю. Цифровизация с использованием AI, как ключевой фактор повышения эффективности производства и качества пива // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 123–129. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-123-129

For citation
Kuligin D.R., Savvina E.A., Vasechkin V.M., Chesnikov L.S., Zheltoukhova E.Yu. AI-enabled digitalization as a key factor in improving production efficiency and beer quality. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 123–129. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-123-129

©2025, Кулигин Д.Р. и др. / Kuligin D.R. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Пивоваренная отрасль играет важную роль в экономике и культуре, являясь одной из старейших форм производства напитков. Она обеспечивает рабочие места, способствует развитию смежных отраслей и вносит значительный вклад в формирование налоговых поступлений. Современные пивоваренные предприятия сталкиваются с вызовами, связанными с изменением предпочтений потребителей, необходимостью снижения издержек и соблюдением экологических стандартов. [1-5].

Искусственный интеллект (ИИ) становится важным инструментом в решении этих задач. Его применение трансформирует традиционные производственные процессы, позволяя автоматизировать операции, улучшать качество продукции и предлагать инновационные подходы к созданию новых сортов пива. Внедрение ИИ способствует не только повышению эффективности, но и адаптации предприятий к требованиям современного рынка. [6-7].

Цель исследования – изучение применения искусственного интеллекта в технологии производства пива. Основное внимание уделено оценке экономической и технологической эффективности внедрения ИИ на различных этапах производства, включая анализ сырья, контроль процессов и управление логистикой. Исследование направлено на выявление преимуществ использования ИИ и перспектив его дальнейшего развития в пивоваренной отрасли.

Материалы и методы

Для достижения поставленных целей использовались аналитические и эмпирические методы. В основе исследования лежит анализ данных о производстве пива с применением технологий ИИ, изучение зарубежного опыта, а также построение графиков, иллюстрирующих экономические и технологические аспекты внедрения ИИ. Исследование базируется на информации, полученной из отраслевых отчётов, научных публикаций и практических кейсов.

Настоящая работа предлагает комплексное видение роли ИИ в пивоварении, раскрывая его преимущества для оптимизации процессов, улучшения качества продукции и укрепления позиций на рынке.

Результаты

Производство пива представляет собой сложный и многоэтапный процесс, в котором каждый этап играет критически важную роль. В основе успешного пивоварения лежит постоянный контроль качества, оптимизация технологических процессов и умение удовлетворять запросы потребителей. Традиционные методы производства часто сталкиваются с рядом проблем, таких как высокий уровень издержек, нестабильность качества и необходимость соблюдения экологических стандартов. [8-10].

В этих условиях внедрение инновационных технологий, таких как искусственный интеллект (ИИ), становится неотъемлемой частью стратегий развития. ИИ позволяет автоматизировать рутинные задачи, улучшать прогнозирование и управление производственными процессами, а также создавать продукты, которые максимально соответствуют запросам рынка [1].

Задачи, которые ставим перед ИИ в бродильной отрасли:

1 Оптимизация рецептур на основе данных о предпочтениях потребителей.

ИИ анализирует большие объемы данных, включая отзывы покупателей, тренды в потреблении и сенсорные характеристики пива. На основе этих данных алгоритмы машинного обучения могут предложить изменения в рецептуре, которые сделают напиток более популярным на рынке. Это особенно актуально в условиях растущей конкуренции и диверсификации вкусовых предпочтений [11].

2. Контроль качества на этапах производства.

Современные ИИ-системы интегрируются с сенсорами, установленными на всех ключевых этапах производства. Например, они измеряют параметры температуры, уровня pH и содержания сахаров в режиме реального времени. Это позволяет своевременно корректировать технологический процесс и предотвращать возникновение дефектов.

3. Автоматизация процессов: управление брожением и анализ сырья [2, 12].

Ферментация – один из самых критически важных этапов пивоварения. ИИ может регулировать условия для дрожжей, обеспечивая их оптимальную активность. Кроме того, системы на основе ИИ помогают анализировать сырьё, выявляя отклонения от стандартов и возможные примеси. Это позволяет улучшать качество на входе и минимизировать риски на последующих этапах.

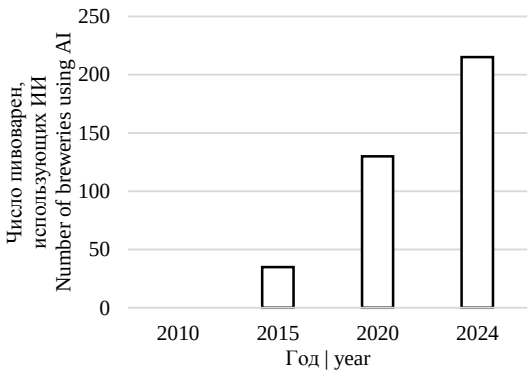


Рисунок 1. Динамика внедрения ИИ в пивоваренные отрасли по годам

Figure 1. Dynamics of AI adoption in brewing industries by year

Представленный выше рисунок 1, иллюстрирует рост числа пивоваренных компаний, внедряющих технологии ИИ, с 2010 по 2022 годы. Данные основаны на общемировых трендах, показывающих, как быстро индустрия адаптируется к новым технологиям. Видно, что с 2015 года наблюдается экспоненциальный рост, связанный с удешевлением технологий ИИ и их более широкой доступностью.

Расширение внедрения ИИ в пивоварении демонстрирует, как современные технологии меняют традиционные подходы, делая их более эффективными, устойчивыми и ориентированными на удовлетворение запросов потребителей.

AI используют для анализа качество сырья, включая солод, хмель и воду, является фундаментом для получения стабильного вкуса и высокого качества пива. Традиционные методы анализа часто связаны с высокой трудоёмкостью и субъективностью, что может приводить к погрешностям. ИИ позволяет автоматизировать процесс анализа, используя алгоритмы машинного обучения для оценки ключевых параметров, таких как влажность, содержание белка и горечь [4, 13-15].

Датчики, интегрированные с ИИ-системами, обеспечивают непрерывный контроль сырья, автоматически обнаруживая отклонения от установленных стандартов. Это позволяет пивоваренным предприятиям оперативно реагировать на возможные проблемы и поддерживать стабильное качество продукции.

ИИ анализирует данные, включая отзывы потребителей, предпочтения по вкусу и текущие рыночные тренды. На основе этого создаются рецептуры, которые максимально соответствуют ожиданиям целевой аудитории. Например, алгоритмы анализируют тысячи возможных комбинаций ингредиентов, определяя те, которые лучше всего соответствуют запросам целевой аудитории. Такой подход помогает выпускать инновационные продукты, соответствующие современным тенденциям [16-19].

Применение ИИ для управления температурой и влажностью для ферментации является ключевым этапом пивоварения, требующим точного контроля условий для дрожжей. Даже малейшие отклонения температуры или влажности могут повлиять на вкус, аромат и качество пива. ИИ позволяет прогнозировать изменения и управлять этими параметрами в режиме реального времени. Это снижает вероятность дефектов и минимизирует затраты.

Использование ИИ для анализа данных о ферментации позволяет с высокой точностью прогнозировать время завершения этого процесса. Модели машинного обучения анализируют параметры, такие как уровень сахара и температуру, обеспечивая оптимизацию производственного графика и улучшая использование оборудования [13].

Снижение потерь при фильтрации с помощью предиктивных моделей.

Фильтрация – это этап, на котором можно терять значительную часть продукта из-за осадков и примесей. Предиктивные модели ИИ, основанные на анализе данных, позволяют оптимизировать процесс, минимизируя потери. Это не только повышает выход продукции, но и способствует снижению затрат.

В условиях растущих экологических требований пивоваренные предприятия всё чаще используют ИИ для выбора оптимальных материалов для упаковки. Алгоритмы анализируют такие параметры, как углеродный след, стоимость и доступность материалов, предлагая решения, которые минимизируют воздействие на окружающую среду.

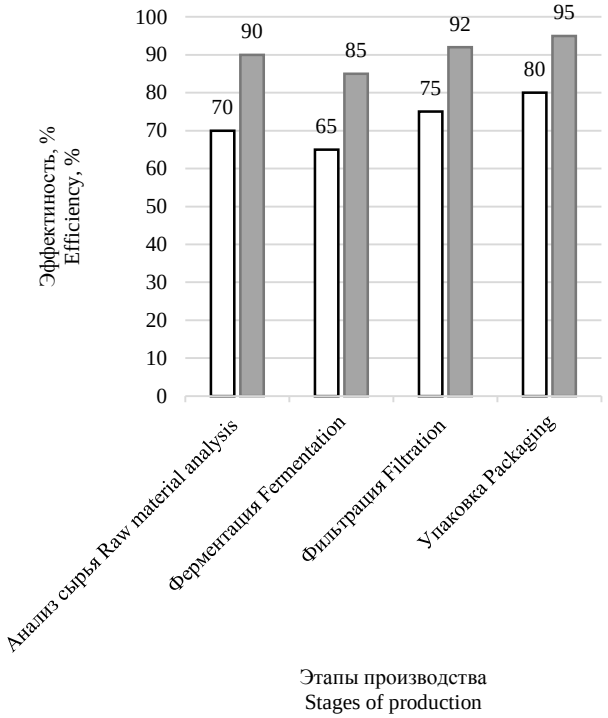


Рисунок 2. Соотношение эффективности традиционных методов и ИИ на разных этапах производства

Figure 2. Correlation of efficiency of traditional methods and AI at different stages of production

Рисунок 2 демонстрирует сравнительную эффективность традиционных методов и подходов с использованием ИИ на ключевых этапах пивоварения.

• Анализ сырья: системы ИИ позволяют быстрее и точнее анализировать состав и качество сырья, устраняя человеческий фактор.

• Ферментация: традиционные методы контролируют параметры вручную, тогда как ИИ обеспечивает прогнозирование и автоматизацию в реальном времени.

• Фильтрация: с помощью предиктивных моделей ИИ снижаются потери продукта, в отличие от фиксированных настроек оборудования.

• Упаковка: ИИ учитывает экологические и экономические факторы, оптимизируя выбор материалов и процессы упаковки.

Применение ИИ на каждом этапе пивоварения открывает значительные возможности для улучшения качества продукции, оптимизации процессов и соблюдения экологических стандартов. Интеграция современных технологий позволяет пивоваренной отрасли двигаться в ногу с современными требованиями и поддерживать конкурентоспособность.

Данные двух рисунков обобщают мировой опыт внедрения ИИ в пивоваренной отрасли и демонстрируют преимущества современных технологий. ИИ позволяет не только повышать эффективность производственных процессов, но и снижать затраты, что особенно актуально для компаний в условиях конкурентного рынка [9].

Внедрение ИИ в пивоваренную отрасль будет экономически выгодным.

Одним из главных экономических преимуществ использования искусственного интеллекта (ИИ) в пивоваренной отрасли является снижение производственных затрат. ИИ позволяет автоматизировать рутинные процессы, такие как управление температурой в ферментаторах или мониторинг состояния сырья, что уменьшает необходимость в постоянном присутствии человека на каждом этапе [5–7].

Алгоритмы машинного обучения оптимизируют использование сырья, энергии и других ресурсов, минимизируя отходы. Например, благодаря предиктивной аналитике, производители могут прогнозировать объёмы закупок сырья, избегая излишков и расходов на их хранение [10].

Анализ данных о производстве для минимизации брака. ИИ предоставляет возможности для анализа данных о производственном процессе в режиме реального времени. Системы контроля качества на основе ИИ способны выявлять аномалии на различных этапах производства, предотвращая брак и улучшая стабильность выпускаемой продукции.

Такой подход обеспечивает не только высокое качество пива, но и повышает доверие потребителей. Более того, минимизация брака позволяет снизить затраты на повторное производство и утилизацию [20].

Привлечение новых потребителей через адаптированные под спрос рецептуры. Использование ИИ для анализа больших данных о предпочтениях покупателей позволяет создавать новые рецептуры, соответствующие современным тенденциям. Например, алгоритмы машинного обучения могут предложить комбинации ингредиентов, которые лучше всего соответствуют вкусовым предпочтениям определённых демографических групп [8].

Этот подход способствует расширению аудитории, привлечению новых клиентов и увеличению повторных покупок. Персонализированные маркетинговые стратегии на основе ИИ ещё больше усиливают эффект, позволяя оптимизировать продвижение продукции [14–15].

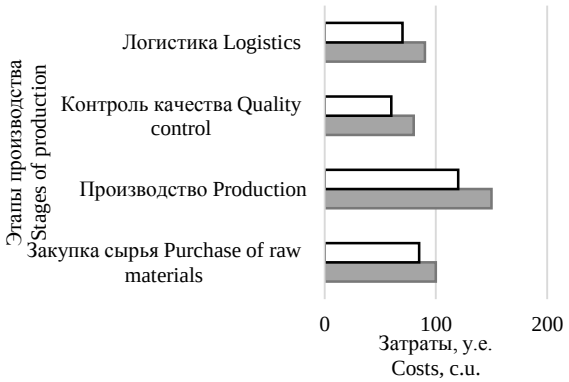


Рисунок 3. Экономия затрат при использовании ИИ по сравнению с традиционными методами

Figure 3. Cost savings using AI compared to traditional methods

Рисунок 3 иллюстрирует, как внедрение ИИ позволяет сократить затраты на разных этапах производства по сравнению с традиционными методами. Использование ИИ позволяет сократить затраты на каждом этапе, особенно в контроле качества и логистике. Экономия достигается за счёт оптимизации процессов, снижения потерь и повышения точности планирования.

Экономическая эффективность внедрения ИИ в пивоваренное производство подтверждается значительным снижением затрат, повышением качества продукции и увеличением прибыльности. График демонстрирует, что переход к технологиям ИИ является оправданной и перспективной стратегией для пивоваренных предприятий, стремящихся улучшить свои операционные показатели и укрепить позиции на рынке.

Зарубежный опыт:

• Heineken: Анализ потребительских предпочтений.

Компания Heineken активно применяет искусственный интеллект для изучения потребительского поведения и оптимизации маркетинговых стратегий. Системы машинного обучения

анализируют данные из социальных сетей, отзывы и поведение потребителей. Эти данные используются для разработки новых рецептур, проведения маркетинговых кампаний и выбора наилучших рынков для распространения продукции. Например, ИИ позволяет выявлять популярные вкусовые профили в различных регионах, адаптируя продукцию под локальные предпочтения [16].

Благодаря этим технологиям Heineken смогла существенно сократить время, необходимое для вывода новых сортов пива на рынок, и повысить удовлетворённость потребителей.

• Carlsberg: Проект Beer Fingerprinting.

Carlsberg внедрила инновационный проект «Beer Fingerprinting», направленный на улучшение качества и ускорение разработки новых сортов пива. В рамках проекта используются сенсоры, которые измеряют химические свойства пива, и алгоритмы ИИ для интерпретации полученных данных. Это позволяет создавать «профили» сортов пива, оптимизируя процесс разработки рецептур.

Данная технология позволила Carlsberg не только сократить время, необходимое для создания новых продуктов, но и повысить стабильность вкусовых характеристик. Результатом стало снижение затрат на исследования и укрепление позиций компании на международном рынке.

• Anheuser-Busch InBev: Прогнозирование спроса и управление цепочкой поставок.

Anheuser-Busch InBev (AB InBev), крупнейшая пивоваренная компания мира, использует ИИ для прогнозирования спроса, оптимизации цепочек поставок и управления запасами. Алгоритмы анализируют данные о продажах, погодные условия, сезонные колебания и даже спортивные события, чтобы прогнозировать объемы потребления пива в различных регионах [3, 17–18].

Прогнозирование спроса позволило компании минимизировать издержки, связанные с перепроизводством или нехваткой продукции, а также улучшить управление логистикой. Это, в свою очередь, привело к снижению углеродного следа за счет сокращения транспортных издержек и оптимизации использования ресурсов.

Примеры из зарубежной практики показывают, что внедрение ИИ в пивоваренную отрасль имеет множество преимуществ. Использование ИИ позволяет сократить издержки, повысить качество продукции и адаптироваться к требованиям рынка. Крупные международные компании, такие как Heineken, Carlsberg и AB InBev, демонстрируют высокую эффективность ИИ в оптимизации произ водственных процессов и маркетинговых стратегий.

Заключение

Внедрение искусственного интеллекта в пивоваренную отрасль демонстрирует значительный потенциал для повышения её эффективности и конкурентоспособности. Технологии ИИ позволяют оптимизировать ключевые этапы производства, включая анализ сырья, контроль процесса ферментации, фильтрацию и упаковку. Это способствует снижению издержек, улучшению качества продукции и сокращению брака.

Примеры использования ИИ в международных компаниях, таких как Heineken, Carlsberg, AB InBev, подтверждают, что интеграция ИИ помогает предприятиям оперативно адаптироваться к изменяющимся рыночным условиям, удовлетворять запросы потребителей и развивать инновационные подходы к производству.

Перспективы дальнейшего внедрения ИИ в пивоварение связаны с широкими возможностями для автоматизации процессов, создания новых рецептур и управления логистическими цепочками. По мере удешевления технологий и увеличения их доступности ИИ станет неотъемлемой частью стратегий развития большинства пивоваренных предприятий.

Использование искусственного интеллекта в пивоварении открывает новые горизонты для развития отрасли, позволяя одновременно улучшать качество продукции, снижать издержки и удовлетворять запросы современных потребителей. Успешное внедрение ИИ возможно только при условии совместных усилий бизнеса, научного сообщества и государства, направленных на разработку стандартов, обучение кадров и создание благоприятных условий для инвестирования в инновационные технологии.

Литература

1 Анисимов А.Ю., Алексахин А.Н., Алексахина С.А., Алёхин Е.И. Искусственный интеллект в современном обществе: текущее состояние и оценка перспектив развития // Естественно-гуманитарные исследования. 2024. №. 4 (54). С. 31-34.

2 Васильев А.И. Искусственный интеллект в управлении качеством пива // Пивоварение и безалкогольная промышленность. 2021. № 1. С. 22–28.

3 Дементьев К. И. Анализ мирового опыта применения искусственного интеллекта для оптимизации бизнес-процессов предприятий. Управленческое консультирование. 2023. №. 1 (169). С. 107-120.

4 Дрогин А.В. Искусственный интеллект в пивоварении. 2017. URL: https://drogin.ru/iskusstvennyj-intellekt-v-pivovarenii/

5 Ибрагимова Н.А., Ибрагимов З.З. Эффективное использование искусственного интеллекта в производстве // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. 2019. С. 639–642.

6 Мальцева И.Ф., Шульгина Ю.В. Использование систем искусственного интеллекта в управленческих и производственных процессах // Естественно-гуманитарные исследования. 2024. № 5. С. 220–228.

7 Михеев П.Н. Технологии искусственного интеллекта в пищевой промышленности // Инновации и инвестиции. 2023. №4. С. 536–539.

8 Монахов Р.Р., Батищев А.В. Применение искусственного интеллекта в собственном бизнесе в сфере информационных технологий // Естественно-гуманитарные исследования. 2024. №2. С. 514–520.

9 Комаров, Н. М., Пащенко Д.С. Применение технологий искусственного интеллекта в инновационной деятельности промышленных предприятий // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15. № 6.

10 Русов А.В. Современные тенденции и использование искусственного интеллекта и машинного обучения в бизнесе и научных исследованиях // Научный журнал. 2023. С.172–177.

11 Скрипников А.В., Фролова Л.Н., Саввина Е.А., Кулигин Д.Р. и др. Цифровизация с использованием AI, как фактор повышения качества и эффективности при производстве спирта // Сборник научных статей и докладов XI Международн. науч.-практ. конф. 2024. С. 594–600.

12 Смирнов С.И. Интеллектуальные системы в пивоварении: от анализа данных до управления производством // Технологии пищевой промышленности. 2021. № 3. С. 12–18.

13 Тимчук Е.Г. Применение искусственного интеллекта в пищевой промышленности // Научные труды Дальрыбвтуза. 2022. Т. 61. № 3. С. 21–42.

14 Тимчук Е.Г. Важность искусственного интеллекта и робототехники в пищевой промышленности и производстве напитков // Научные труды Дальрыбвтуза. 2022. Т. 61. № 4. С. 24–44.

15 Хацкелевич А.Н., Рудаков С.А., Егоров Г.А. Применение технологий искусственного интеллекта как один из факторов конкурентоспособности бизнеса в четвёртой промышленной революции // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. 2024. № 1. С. 184–199.

16 Anderson T., White R. Machine Learning Applications in Brewing: A Case Study // Journal of Artificial Intelligence in Food Science. 2023. V. 7. P. 45–60.

17 Majid al-Rifaie M., Cavazza M. Beer Organoleptic Optimisation: Utilising Swarm Intelligence and Evolutionary Computation Methods // Foods. 2020.

18 Johnson R., Smith K. Artificial Intelligence in Brewing: A Comprehensive Review // Journal of Food Engineering. 2020. V. 45. P. 123–135.

19 Brown L., Taylor M. AI-Driven Quality Control in Beer Production // International Journal of Brewing Science. 2021. Vol. 12. P. 89–102.

20 Lee H., Park J. Application of Neural Networks for Flavor Profiling in Craft Beer // Food Research International. 2022. V. 56. P. 210–225.

References

1 Anisimov A.Yu., Aleksakhin A.N., Aleksakhina S.A., Alyokhin E.I. Artificial intelligence in modern society: current state and assessment of development prospects // Natural sciences and humanities research. 2024. no. 4 (54). pp. 31-34. (in Russian).

2 Vasiliev A.I. Artificial intelligence in beer quality management // Brewing and non-alcoholic industry. 2021. no. 1. pp. 22-28. (in Russian).

3 Dementiev K. I. Analysis of the world experience of using artificial intelligence to optimize business processes of enterprises. Management consulting. 2023. no. 1 (169). pp. 107-120. (in Russian).

4 Drogin A.V. Artificial intelligence in brewing. 2017. Available at: https://drogin.ru/iskusstvennyj-intellekt-v-pivovarenii/ (in Russian).

5 Ibragimova N.A., Ibragimov Z.Z. Effective use of artificial intelligence in production // Scientific Bulletin: Finance, Banks, Investments. 2019. pp. 639–642. (in Russian).

6 Maltseva I.F., Shulgina Yu.V. The use of artificial intelligence systems in management and production processes // Natural Sciences and Humanities Research. 2024. no. 5. pp. 220-228. (in Russian).

7 Mikheev P.N. Artificial intelligence technologies in the food industry // Innovation and Investment. 2023. no.4. pp. 536–539. (in Russian).

8 Monakhov R.R., Batishchev A.V. The use of artificial intelligence in their own business in the field of information technology // Natural sciences and humanities research. 2024. no. 2. pp. 514-520. (in Russian).

9 Komarov N.M., Pashchenko D.S. Application of artificial intelligence technologies in the innovative activities of industrial enterprises. The Eurasian Scientific Journal. 2023. vol. 15. no.6. (in Russian).

10 Rusov A.V. Modern trends and the use of artificial intelligence and machine learning in business and scientific research // Scientific Journal. 2023. pp. 172–177. (in Russian).

11 Skripnikov A.V., Frolova L.N., Savvina E.A., Kuligin D.R. et al. Digitalization using AI as a factor of improving quality and efficiency in alcohol production // Collection of scientific articles and reports of the XI International Scientific and Practical Conference 2024. pp. 594-600. (in Russian).

12 Smirnov S.I. Intelligent systems in brewing: from data analysis to production management // Technologies of the food industry. 2021. no. 3. pp. 12-18. (in Russian).

13 Timchuk E.G. Application of artificial intelligence in the food industry // Scientific Works of Dalrybvtuz. 2022. vol. 61. no.3. pp. 21–42. (in Russian).

14 Timchuk E.G. Importance of artificial intelligence and robotics in food and beverage industry // Scientific Proceedings of Dalrybvtuz. 2022. vol. 61. no. 4. pp. 24–44. (in Russian).

15 Khatskelevich A.N., Rudakov S.A., Egorov G.A. The use of artificial intelligence technologies as one of the factors of business competitiveness in the fourth industrial Revolution // Bulletin of PNRPU. Socio-economic sciences. 2024. no. 1. pp. 184-199. (in Russian).

16 Anderson T., White R. Machine Learning Applications in Brewing: A Case Study // Journal of Artificial Intelligence in Food Science. 2023. vol. 7. pp. 45–60.

17 Majid al-Rifaie M., Cavazza M. Beer Organoleptic Optimisation: Utilising Swarm Intelligence and Evolutionary Computation Methods // Foods. 2020.

18 Johnson R., Smith K. Artificial Intelligence in Brewing: A Comprehensive Review // Journal of Food Engineering. 2020. vol. 45. pp. 123–135.

19 Brown L., Taylor M. AI-Driven Quality Control in Beer Production // International Journal of Brewing Science. 2021. vol. 12. pp. 89–102.

20 Lee H., Park J. Application of Neural Networks for Flavor Profiling in Craft Beer // Food Research International. – 2022. vol. 56. pp. 210–225.

Сведения об авторах

Даниил Р. Кулигин студент, кафедра технологии бродильных 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

Екатерина А. Саввина к.т.н., доцент, кафедра корпоративных информационных систем и программирования, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, katenok2207@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-0728-8313

Владислав М. Васечкин студент, кафедра корпоративных информационных систем и программирования, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vasechkinvm@gmail.com
https://orcid.org/0009-0003-0700-7344

Леонид С. Чесников студент, кафедра информационных технологий, моделирования и управления., Воронежский государственный университет инженерных технологий, Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия), leonid.chesnikov@ya.ru
https://orcid.org/0009-0002-6124-5426

Екатерина Ю. Желтоухова к.т.н, доцент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, katsturova@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-7463-9013

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

Ekaterina A. Savvina Cand. Sci. (Engin), associate professor, corporate information systems and programming department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, katenok2207@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-0728-8313

Vladislav M. Vasechkin student, corporate information systems and programming department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vasechkinvm@gmail.com
https://orcid.org/0009-0003-0700-7344

Leonid S. Chesnikov student, information technology, modeling and management departament, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, leonid.chesnikov@ya.ru
https://orcid.org/0009-0002-6124-5426

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

Вклад авторов

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

Contribution

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/02/2025	**После редакции** 28/02/2025	**Принята в печать** 14/03/2024

Received 11/02/2025	**Accepted in revised** 28/02/2025	**Accepted** 14/03/2024

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-130-139 Оригинальная статья/Research article
УДК 641.1 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Разработка технологии функционального продукта питания, обогащенного источниками йода и селена

Юлия Ю. Денисович [1] dienisovich.78@mail.ru 0000-002-3022-8810
1 Дальневосточный государственный аграрный университет, ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, 675005, Россия

Аннотация. Разработана технология функционального мясорастительного полуфабриката, обогащённого природными источниками йода и селена – ламинарией (морская капуста) и бразильским орехом. В качестве модельного мясного сырья выбрано мясо цыплят-бройлеров, обладающее оптимальными органолептическими, физико-химическими и технологическими характеристиками, включая низкую жирность, сбалансированный витаминно-минеральный состав и высокую влагосвязывающую способность. В ходе экспериментальных исследований обоснован выбор растительных компонентов на основании их химического состава и физиологической значимости содержащихся микроэлементов. Разработана рецептура мясорастительного полуфабриката (котлеты «Русалочка») с вариативным содержанием ламинарии (20, 25, 30%) и бразильского ореха (2, 4, 6%). Определение оптимального соотношения ингредиентов проведено с использованием органолептической оценки, по результатам которой наивысшие баллы получили образцы с добавлением 25% ламинарии и 4% ореха. Проведён комплексный анализ готового продукта по показателям микробиологической безопасности, физико-химическим свойствам и токсикологической чистоте. Установлено, что значения всех показателей соответствуют нормативным требованиям ТР ТС 021/2011. Уровень содержания белка в полуфабрикате составил 15,2%, содержание жира – 9,3%. Определено содержание йода – 0,66 мг/кг и селена – 0,26 мг/кг, что при потреблении 100 г продукта обеспечивает до 44% суточной потребности в йоде и до 47% – в селене для взрослого населения. Разработанный полуфабрикат может быть классифицирован как функциональный продукт питания с целевым действием, способствующим частичной коррекции йодной и селеновой недостаточности. Продукт рекомендован к применению в системе лечебно-профилактического и диетического питания, особенно в регионах с установленным дефицитом йода и селена, с целью снижения риска развития нарушений функций щитовидной железы и сопутствующих метаболических расстройств.

Ключевые слова: функциональные продукты питания, мясорастительный полуфабрикат, йод, селен, ламинария, бразильский орех.

Development of technology for a functional food product enriched with iodine and selenium sources

Yulia Y. Denisovich [1] dienisovich.78@mail.ru 0000-002-3022-8810
1 Far Eastern State Agrarian University, street Politechnicheskaya,86 Blagoveshchensk, 675005, Russia

Abstract. A technology has been developed for a functional meat-vegetable semi-finished product enriched with natural sources of iodine and selenium – kelp (seaweed) and Brazil nuts. The meat of broiler chickens was chosen as the model meat raw material, as it has optimal organoleptic, physicochemical and technological characteristics, including low fat content, balanced vitamin and mineral composition and high moisture-binding capacity. During the experimental studies, the choice of plant components was substantiated based on their chemical composition and the physiological significance of the contained microelements. A recipe for a meat-vegetable semi-finished product with variable content of kelp (20, 25, 30%) and Brazil nuts (2, 4, 6%) was developed. The optimal ratio of ingredients was determined using organoleptic evaluation, according to the results of which the highest scores were given to samples with the addition of 25% kelp and 4% nuts. A comprehensive analysis of the finished product was conducted in terms of microbiological safety, physical and chemical properties and toxicological purity. It was established that the values of all indicators comply with the regulatory requirements of TR CU 021/2011. The protein content in the semi-finished product was 15,2%, the fat content was 9,3%. The iodine content was determined to be 0.66 mg/kg and selenium to be 0,26 mg/kg, which, when consuming 100 g of the product, provides up to 44% of the daily requirement for iodine and up to 47% for selenium for the adult population. The developed semi-finished product can be classified as a functional food product with a targeted effect, facilitating partial correction of iodine and selenium deficiency. The product is recommended for use in the system of therapeutic and preventive and dietary nutrition, especially in regions with established iodine and selenium deficiency, in order to reduce the risk of developing thyroid dysfunction and associated metabolic disorders.

Keywords: functional foods, meat and vegetable semi-finished product, iodine, selenium, kelp, Brazil nut.

Введение

Проблема йодной недостаточности у жителей РФ наблюдаются давно, и является актуальной [1].

Йоддефицитные заболевания представляют собой группу патологических состояний, обусловленных хроническим недостатком йода в рационе питания, развитие которых может быть полностью предотвращено при адекватном восполнении данного микроэлемента. Данные заболевания характеризуются широким спектром клинических проявлений и затрагивают лиц всех возрастных категорий [2].

Дефицит йода сопровождается широким спектром неблагоприятных последствий для здоровья, поскольку данный микроэлемент является необходимым структурным компонентом тиреоидных гормонов, играющих ключевую роль

Для цитирования
Денисович Ю.Ю. Разработка технологии функционального продукта питания, обогащенного источниками йода и селена // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 130–139. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-130-139

For citation
Denisovich Y.Y. Development of technology for a functional food product enriched with iodine and selenium sources. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 130–139. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-130-139

© 2025, Денисович Ю.Ю. / Denisovich Y.Y.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

в регуляции процессов роста, развития и общего функционирования организма человека [3].

Трошиной Е.А. отмечается динамика распространенности и заболеваемости ЙДЗ у детского и взрослого населения Российской Федерации [2].

В исследовании И.И. Дедова представлена статистика заболеваемости, которая демонстрирует не только преобладание заболеваний щитовидной железы (ЩЖ) в общей структуре эндокринной патологии, но и тенденцию к значительному увеличению частоты заболеваний ЩЖ среди населения Российской Федерации, что проявляется в двукратном росте заболеваемости за последние десять лет [4].

Однако, эффективное функционирование щитовидной железы требует не только коррекции йодного дефицита, но и последующей нормализации уровня селена, учитывая его ключевую роль в метаболизме тиреоидных гормонов и антиоксидантной защите тканей железы.

Селен является эссенциальным микроэлементом, необходимым для нормального функционирования организма человека, в том числе центральной нервной системы [5].

Биологические функции селена, включая его антиоксидантную активность, участие в регуляции иммунного ответа, функционировании щитовидной железы и других физиологических процессов, подробно рассмотрены в ряде исследований отечественных и зарубежных авторов [6–13].

Таким образом, йод и селен выполняют критически важные функции в организме человека, дефицит которых способен нарушать метаболические процессы и способствовать развитию функциональных и органических нарушений в организме.

Анализ представленных данных свидетельствует о высокой распространенности йододефицитных состояний и растущей заболеваемости патологией щитовидной железы в России, а также подчёркивает взаимосвязанную роль йода и селена в поддержании эндокринного и общего здоровья человека. Учитывая широкую распространённость дефицита этих микроэлементов и доказанную эффективность их профилактического и терапевтического применения, особую актуальность приобретает разработка и внедрение в рацион функциональных продуктов питания, обогащённых биодоступными формами йода и селена. Такие продукты представляют собой перспективное направление в системе общественного здоровья, способное обеспечить долгосрочную коррекцию микронутриентной недостаточности и снизить риски, связанные с нарушением функций щитовидной железы и иммунной дисрегуляцией.

Анализ работ отечественных и зарубежных ученых показывает, что перспективным растительным сырьем для производства пищевых продуктов, обогащенных йодом, является морская капуста (ламинария).

Шевченко Н.П. с коллегами обосновали эффективность применения сухой ламинарии (*Laminaria thalli*) в качестве функционального ингредиента в мясных продуктах. Экспериментальные исследования на модельных фаршевых системах показали, что добавление 300 г. ламинарии на 100 кг мясного сырья обеспечивает содержание йода, соответствующее 25% суточной потребности человека в 100 г. готового изделия [14].

В работе Ю.В. Шокиной представлены результаты исследований, направленных на разработку рецептуры мучного изделия «Хлебцы ржаные, обогащённые йодом». Экспериментально установлено, что содержание йода в применяемой ламинарии составляет от 0,38 до 0,42% в пересчёте на сухое вещество, что позволяет отнести полученный продукт к категории обогащённых по содержанию данного микроэлемента [19].

Зарубежными учеными установлено положительное влияние ламинарии на структурно-механические, микроструктурные и хлебопекарные свойства замороженного теста для производства хлебобулочных изделий [15].

Новожиловой Е.А. доказана целесообразность применения ламинарии в технологии кисломолочных продуктов (йогуртов). Анализ, полученных авторами данных, позволяет сделать вывод о высокой биологической ценности и наличии функциональных свойств разработанных продуктов [17].

В качестве природного источника органического селена, обладающего функциональными свойствами, используется бразильский орех (*Bertholletia excelsa*).

По количеству микронутриентов, имеющих важное пищевое и физиологическое значение для организма человека, орехи бразильские отличаются высоким содержанием Ca, Fe, Se, Mg, P и Zn, а так же Cu, Mn, Co, Mo и др. [20].

По результатам исследований Лукина А.А. применение ядер бразильского ореха в технологии фаршированных мясных изделий в количестве 10% улучшает вкусоароматические свойства, повышает содержание микроэлементов пищевых волокон [21].

Целью исследований Агутовой С.И. и др. послужило – обоснование технологии соевого белкового напитка обогащенного состава за счет сочетания соевого молока и орехового сырья, как источника селена. В результате применения технологии обогащения соевого белкового напитка селеном с использованием

тонкоизмельченного порошка бразильского ореха (размер частиц около 0,55 мкм) была получена стабильная коллоидная пищевая система что, предотвратило расслоение и осаждение твердых фракций. Введение порошка на заключительном этапе позволило сохранить активность и равномерность распределения селенсодержащего компонента в напитке, обеспечив его точное дозирование. Кроме того, напиток приобрел улучшенные органолептические характеристики [22].

Учёные Южно-Уральского государственного университета разработали технологию производства сыра, обогащённого микроэлементами селена и марганца путём введения в рецептуру смеси фундука и бразильского ореха. Проведённые исследования показали, что потребление 100 г экспериментальных образцов способствует значительному удовлетворению суточной потребности в селене и марганце. Кроме того, установлено увеличение содержания цинка, фосфора и магния в готовом продукте [23].

В работах зарубежных исследователей также представлены данные о разработке функциональных пищевых продуктов с использованием ядер бразильского ореха в качестве обогащающего компонента [24, 25].

Таким образом, представленные данные отечественных и зарубежных исследований убедительно свидетельствуют о высокой актуальности разработки функциональных продуктов питания, обогащённых йодом и селеном. Высокая распространенность йододефицитных состояний и заболеваний щитовидной железы среди населения Российской Федерации, доказанная важная роль йода и селена в поддержании метаболического равновесия, иммунной функции и общего состояния здоровья, а также перспективность использования растительного сырья в качестве источников данных микроэлементов подчеркивают необходимость активного поиска и внедрения инновационных пищевых решений. Создание функциональных продуктов на основе ламинарии и бразильского ореха не только позволяет эффективно устранять микронутриентную недостаточность, но и вносит значительный вклад в формирование современных стратегий профилактики и укрепления здоровья населения.

Цель исследования – разработка технологии мясорастительного полуфабриката, обогащенного источниками йода и селена.

Материалы и методы

Объекты исследования: мясо цыпленка-бройлера (производитель ООО «Амурский бройлер», г. Благовещенск), морская капуста (ламинария японская) – производитель ООО «Остров», Сахалинская область, г. Невельск, бразильский орех (производитель «ПримФуд», г. Владивосток), лабораторный образец (контроль), приготовленный по стандартной рецептуре № 608 «Котлеты, биточки, шницели» и технологической схеме, опытные образцы мясорастительного полуфабриката из мяса цыплят-бройлеров, с добавлением 20, 25 и 30% морской капусты и 2, 4 и 6% бразильского ореха – котлеты «Русалочка» (опыт).

Отбор проб, подготовку сырья, определение показателей качества и безопасности проводили по стандартным методикам в соответствии с нормативной документацией. Физико-химические показатели определяли по ГОСТ 23042–2015 п. 7, ГОСТ 25011–2017 п. 6, ГОСТ 9957–2015 п. 7, ГОСТ 31470–2012 п. 5, ГОСТ 9794–2015 п. 7.; микробиологические показатели по ГОСТ 10444.15–94, ГОСТ 31747–2012, ГОСТ 31659–2012, ГОСТ 28560–90, ГОСТ 32031–2022, ГОСТ 31746–2012. Показатели безопасности по ГОСТ 33824–2016 п. 10 (1 способ), ГОСТ 33824–2016 п. 11 (1 способ), ГОСТ 31628–2012, ГОСТ 26927–86 п. 2. Полученные значения показателей сравнивали с ТР ТС 021/2011 приложение 3, ГОСТ 31936–2012. Значения йода (общего и селена) согласно МУ 31–21/07 (ФР.1.31.2008.05138) и МУ 31–07/04 (ФР.1.31.2004.01166) на анализаторе вольтамперометрическом ТА-4, (свидетельство о поверке № С-БА/06–05–2024/336781935 от 06.05.2024, действителен до 05.05.2026). Органолептическую оценку котлет «Русалочка» проводили после тепловой обработки по 5-балльной шкале в соответствии с ГОСТ 31986–2012.

Результаты

На первоначальном этапе исследований проведено обоснование выбора мясного и растительного сырья для создания функционального продукта, проведена оценка его качества и безопасности.

Для органолептической оценки были выбраны образцы мяса курицы, индейки и утки. Оценка органолептических характеристик мяса птицы различных видов проводилась по следующим критериям: внешний вид, цвет, консистенция, запах, сочность, прозрачность и аромат бульона (в соответствии с ГОСТ 31470–2012). Все образцы оценивались по 9-балльной шкале.

Результаты органолептической оценки показали, что мясо цыплят-бройлеров обладает лучшими потребительскими характеристиками, получив наивысшую общую оценку 8,5 балла («отлично» по ГОСТ), что сделало его предпочтительным сырьём для создания функционального продукта.

На следующем этапе исследований был проведён анализ химического состава мяса птицы различных видов (рисунок 1).

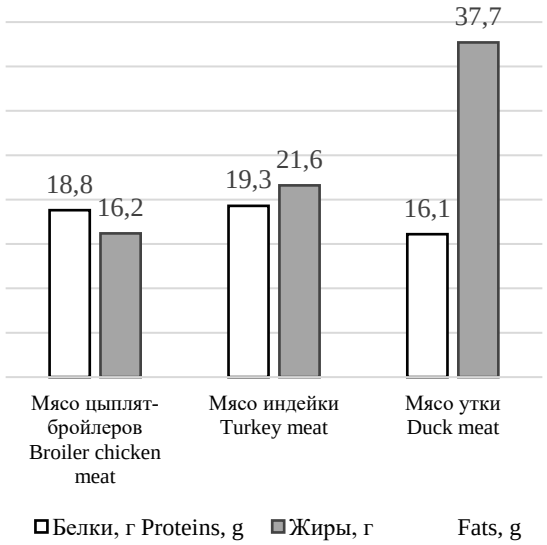


Рисунок 1. Химический состав различных видов птицы

Figure 1. Chemical composition of different types of poultry

Анализ химического состава мяса различных видов птицы свидетельствует о том, что максимальное содержание белка характерно для мяса индейки (19,3 г на 100 г продукта), тогда как минимальное содержание жира наблюдается в мясе цыплят-бройлеров (16,2 г на 100 г продукта). Мясо утки, напротив, отличается наиболее высоким уровнем жировой составляющей (37,7 г) при сравнительно низком содержании белка (16,1 г). Полученные результаты указывают на то, что мясо индейки и цыплят-бройлеров может рассматриваться как более предпочтительное с точки зрения диетологии и рационального питания за счёт оптимального соотношения белков и жиров.

Значение pH является одним из ключевых показателей качества мяса, так как от него в значительной степени зависят органолептические характеристики продукта, включая цвет, запах, свежесть, срок хранения, а также пригодность для дальнейшей переработки. В ходе проведённого исследования установлено, что значения pH всех исследуемых образцов соответствуют показателям, характерным для мяса свежей и здоровой птицы.

Проведённое исследование влагосвязывающей способности показало, что все образцы мясного сырья обладают высокой ВСС, что является положительным фактором для производства мясных полуфабрикатов. Максимальное значение ВСС наблюдается у мяса цыплят-бройлеров (78,3%), несколько ниже данный показатель у мяса индейки (78,1%) и мяса утки (77,9%), что свидетельствует о высоком уровне качества исследуемых образцов и их соответствующей технологической пригодности для дальнейшей переработки.

Сведения о витаминном и минеральном составе мяса птицы приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1.

Витаминный состав мяса птицы

Table 1.

Vitamin composition of poultry meat

Витамин, мг Vitamin, mg	Содержание на 100 г продукта Content per 100 g of product		
	Цыплята-бройлеры Broiler chicken meat	Мясо индейки Turkey meat	Мясо утки Duck meat
A	40,00	10,00	50,00
B1	0,09	0,05	0,12
B2	0,15	0,22	0,17
B4	118,00	139,00	119,00
B5	0,79	0,65	0,60
B6	0,51	0,33	0,23
B9	3,30	9,60	3,50
B12	0,42	-	-
C	2,00	-	-
E	0,30	0,30	0,30
H	8,40	-	-
PP	11,10	13,30	8,70

Из таблицы 1 следует, что мясо птицы различных видов имеет различный витаминный состав. Цыплята-бройлеры характеризуются высоким содержанием витаминов группы B (B5, B6, B12), а также витаминов C и H. Индейка выделяется повышенным уровнем витаминов B2, B4 и B9, в то время как утка имеет наибольшее содержание витамина A, но уступает по содержанию витаминов группы B.

Таблица 2.

Минеральный состав мяса птицы разных видов

Table 2.

Mineral composition of poultry meat of different types

Показатель Indicator	Содержание на 100 г продукта Content per 100 g of product		
	Цыплята-бройлеры Broiler chicken meat	Мясо индейки Turkey meat	Мясо утки Duck meat
1	**2**	**3**	**4**
Макроэлементы, Macronutrients			
Калий, мг Potassium, mg	236,0	210,0	156,0
Кальций, мг Calcium, mg	14,0	12,0	10,0
Магний, мг Magnesium, mg	19,0	19,0	15,0
Натрий, мг Sodium, mg	70,0	90,0	58,0
Фосфор, мг Phosphorus, mg	160,0	200,0	136,0
Хлор, мг Chlorine, mg	76,0	90,0	80,0

Продолжение таблицы 2 | Continuation of table 2

1	2	3	4
Микроэлементы, Microelements			
Железо, мг Iron, mg	1,30	1,40	1,90
Йод, мкг | Iodine, mcg	4,00	-	4,00
Кобальт, мкг Cobalt, mcg	10,00	15,00	9,00
Марганец, мг Manganese, mg	0,02	0,01	0,02
Медь, мкг Copper, mcg	70,00	90,00	450,00
Молибден, мкг Molybdenum, mcg	5,00	29,00	9,00
Фтор, мкг Fluorine, mcg	130,00	-	128,00
Хром, мкг Chromium, mcg	8,00	11,00	15,00
Цинк, мг | Zinc, mg	1,26	2,45	2,47

Анализ минерального состава мяса различных видов птицы демонстрирует значительные различия в содержании макро- и микроэлементов. Мясо цыплят-бройлеров является наиболее богатым источником калия (236 мг) и фосфора (160 мг), мясо индейки, в свою очередь, выделяется более высоким содержанием фосфора (200 мг), натрия (90 мг), цинка (2,45 мг) и кобальта (15 мкг), мясо утки характеризуется наибольшим содержанием меди (450 мкг) и железа (1,90 мг). Важным фактором является наличие йода и фтора в мясе цыплят-бройлеров и утки, что делает их полезными для поддержания функции щитовидной железы, в то время как индейка не содержит этих элементов. Можно заключить, выбор мясного сырья зависит от специфических потребностей организма в макро- и микроэлементах.

Анализ органолептических, физико-химических и технологических характеристик мяса различных видов птицы позволяет обоснованно заключить о целесообразности использования мяса цыплят-бройлеров в качестве модельной мясной системы.

В качестве источников растительного сырья, обогащённого селеном и йодом, были выбраны бразильский орех и ламинария японская (морская капуста). Обоснование выбора данных компонентов основано на их установленном физико-химическом составе, а также подтверждено результатами исследований, проведённых отечественными и зарубежными учеными.

На следующем этапе исследования была сформирована рецептура мясорастительного полуфабриката на основе мяса цыплят-бройлеров с добавлением функциональных ингредиентов: морской капусты в количестве 20, 25 и 30%, а также бразильского ореха в дозировке 2, 4 и 6% от массы мясного сырья (таблица 3).

Определение уровней введения данных компонентов осуществлялось с учётом их химического состава, а также в соответствии с нормативами, установленными «Нормами физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». В качестве контрольного образца использовался полуфабрикат, приготовленный по стандартной рецептуре № 608 «Котлеты, биточки, шницели».

Таблица 3.

Вариации внесения функциональных компонентов к массе мясного сырья, %

Table 3.

Variations in the introduction of functional components to the mass of meat raw materials, %

Образец Sample	Капуста сушеная (ламинария) Dried cabbage (laminaria)	Бразильский орех Brazil nut
№ 1	20	2
№ 2	20	4
№ 3	20	6
№ 4	25	2
№ 5	25	4
№ 6	25	6
№ 7	30	2
№ 8	30	4
№ 9	30	6

Далее, была разработана технология мясорастительного полуфабриката – котлеты «Русалочка», приготовлены опытные образцы и проведена органолептическая оценка.

Технология приготовления мясорастительного полуфабриката: куриное филе нарезают на куски и пропускают через мясорубку, соединяют с черствым пшеничным хлебом, предварительно замоченным в молоке, добавляют соль и перемешивают. Сушеную морскую капусту промывают и замачивают в холодной воде на 5–6 часов в соотношении 1:6. Бразильский орех промывают, прокаливают в жарочном шкафу при температуре 180 °С в течение 5–8 минут и измельчают на мельнице (кофемолке). Котлетную массу соединяют с подготовленными капустой и орехами, дважды пропускают через мясорубку. Готовую котлетную массу разделывают на изделия овально-приплюснутой формы с заостренными концами (котлеты). Котлеты запекают без предварительного обжаривания при температуре 180 °С в течение 20–25 мин.

В лабораторных условиях по разработанной технологической схеме были приготовленые и контрольный образцы (рисунок 2 и 3).

По результатам органолептической оценки наивысшие баллы получили образцы № 5 (с добавлением 25% морской капусты и 4% бразильского ореха) и № 2 (при внесении 25% морской капусты и 2% ореха соответственно).

Добавление морской капусты в количестве 25% от массы мяса цыплят-бройлеров способствовало улучшению структурно-механических свойств продукции, обеспечивая нежную и сочную консистенцию, а также придавая изделиям лёгкий аромат и привкус морской капусты. При введении в рецептуру 20% морской капусты изменения показателей «внешний вид», «цвет» и «консистенция» были незначительными. Наименьшее количество баллов получили образцы № 3, 6 и 9, где уровень добавления морской капусты составлял 30%. Это сопровождалось выраженным изменением внешнего вида, интенсивным запахом и вкусом морской капусты, а также чрезмерным уплотнением консистенции изделия.

Таким образом, можно сделать вывод, что оптимальным считается внесение морской капусты к массе мяса цыплят-бройлеров в количестве 25%, бразильского ореха – в количестве 4% к массе мясного сырья.

Рисунок 2. Внешний вид мясорастительных полуфабрикатов

Figure 2. Appearance of meat and vegetable semi-finished products

Рисунок 3. Внешний вид котлет «Русалочка»

Figure 3. Appearance of the «Mermaid» cutlets

На завершающем этапе, определены показатели качества и безопасности мясорастительного полуфабриката – котлет «Русалочка». Данные представлены в таблицах 4–6.

Таблица 4.

Микробиологические показатели котлет «Русалочка»

Table 4.

Microbiological indicators of the «Mermaid» cutlets

Показатель Indicator	Результат испытаний Test result	Норматив Standard
Listeria monocytogenes	Не обнаружено Not found	Не допускается в 25 г. Not allowed in 25 g
Staphylococcus aureus	Не обнаружено Not found	Не допускается в 1,0 г Not allowed in 1,0 g
БГКП (колиформы) Coliform bacteria	Не обнаружено Not found	Не допускается в 1,0 г Not allowed in 1,0 g
Бактрии рода Proteus Bactria of the genus Proteus	Не обнаружено Not found	Не допускается в 0,1 г Not allowed in 1,0 g
КМАФАнМ, КОЕ/г QMAFAnM, The number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms CFU/g	$5{,}8 \times 10^2$	Не более 1×10^3 No more than 1×10^3
Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы Pathogenic microorganisms, including salmonella	Не обнаружено Not found	Не допускается в 25 г. Not allowed in 25 g
*** Примечание** – по данным ФГБУ «Амурский референтный центр Россельхознадзора» (протокол лабораторных исследований № 7776 от 28.05.2024 г.).		

Анализ данных таблицы 4, свидетельствует о том, что микробиологические показатели котлет «Русалочка» не превышают допустимых значений, находятся в пределах нормы и соответствуют значениям, указанным в ТР ТС 021/2011.

Таблица 5.

Физико-химические показатели котлет «Русалочка»

Table 5.

Physicochemical properties of the «Mermaid» cutlets

Показатель Indicator	Результат испытаний Test result	Норматив Standard
Массовая концентрация хлористого натрия, % Mass concentration of sodium chloride, %	1,2	< 1,8
Массовая доля жира, % Mass fraction of fat, %	9,3	< 40
Массовая доля белка, % Mass fraction of protein, %	15,2	> 8
Общая кислотность, Т ° Total acidity, T °	0,9	< 4,0
Массовая доля общего фосфора, % | Mass fraction of total phosphorus, %	0,4	< 0,4
*** Примечание** – по данным ФБУ «Амурский ЦСМ» (протокол лабораторных исследований № 405 от 24.05.2024 г.)		

Из таблицы 5 следует, что значения физико-химических показателей в разработанном полуфабрикате соответствуют требованиям ГОСТ 31936–2012 «Полуфабрикаты из мяса и субпродуктов птицы». Кроме того, следует отметить, что содержание жира в котлетах «Русалочка» ниже норматива на 76,75%, что позволяет отнести разработанный полуфабрикат к категории продукции с низким содержанием жира и позволяет рекомендовать его к употреблению при диетическом и лечебно-профилактическом питании. Содержание белка, напротив выше нормируемого показателя на 49%, что свидетельствует о наличии в продукте полноценного белка, который может обеспечить организм всеми незаменимыми аминокислотами. Особо стоит обратить внимание на показатель кислотности, который ниже норматива в 4 раза, т. к. употреблять необходимо продукты с более щелочными показателями, поскольку нормальная кислотно-щелочная среда крайне важна для состояния крови и общего состояния организма.

Таблица 6.

Показатели безопасности котлет «Русалочка»

Table 6.

Safety indicators of the «Mermaid» cutlets

Массовая концентрация, мг/кг Mass concentration, mg/kg	Результат испытаний Test result	Норматив Standard
Свинец | Lead	0,1	0,5
Кадмий | Cadmium	< 0,001	0,05
Ртуть | Mercury	< 0,003	0,03
Мышьяк | Arsenic	< 0,001	0,1
* **Примечание** – по данным ФБУ «Амурский ЦСМ» (протокол лабораторных исследований № 405 от 24.05.2024 г.)		

Результаты исследований, представленные в таблице 6, свидетельствуют о безопасности разработанных мясорастительных полуфабрикатов. Все показатели находятся в пределах допустимых значений и соответствуют требованиям нормативных документов ТР ТС 021/2011 (приложение 3) и ГОСТ 31936–2012.

О значимости таких химических элементов, как йод и селен упоминалось в нашей работе выше.

В соответствии с целью исследований, основной из задач являлось обогащение мясорастительного полуфабриката источниками йода и селена. Результаты представлены в таблице 7.

Таблица 7.

Содержание йода и селена в котлетах «Русалочка»

Table 7.

Iodine and selenium content in «Mermaid» cutlets

Показатель Indicator	Результат испытаний[1] Test result	Суточная норма потребления, мкг[2] Daily intake rate
Селен, мг/кг Selenium, mg/kg	0,26 ± 0,14	55–70
Йод (общий), мг/кг Iodine (total), mg/kg	0,66 ± 0,31	150
***Примечание**: 1 – по данным ФБУ «Амурский ЦСМ» (протокол лабораторных исследований № 405 от 24.05.2024 г.); 2 – Суточная норма потребления указана в соответствии с методическими рекомендациями МР 2.3.1.0253–21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации»		

Результаты таблицы 7, свидетельствуют о наличии йода и селена в разработанных мясорастительных полуфабрикатах (готовом продукте) в количестве 0,26 ± 0,14 и 0,66 ± 0,31 мг/кг соответственно. Добавление морской капусты (ламинарии) способствовало обогащению полуфабриката йодом. В 100 граммах готового изделия содержится приблизительно 66 мкг йода, что составляет 44% от его суточной потребности для взрослого человека. Использование бразильского ореха в рецептуре позволило удовлетворить суточную потребность взрослого человека в селене на 37% для мужчин и 47% д ля женщин. Таким образом, количество микроэлементов в исследуемом образце позволяет отнести котлеты «Русалочка» к группе функциональных продуктов питания.

Обсуждение

Проведённое исследование продемонстрировало высокую актуальность разработки функциональных продуктов питания, обогащённых йодом и селеном, для коррекции микронутриентной недостаточности населения России. Использование в рецептуре мясорастительного полуфабриката морской капусты (источник йода) и бразильского ореха (источник органического селена) доказало свою эффективность как с точки зрения обеспечения суточной потребности в этих микроэлементах, так и по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям. Оптимальным признан состав с добавлением 25% ламинарии и 4%

бразильского ореха, обеспечивающий 44% от суточной потребности в йоде и до 47% – в селене.

Продукт отличается высоким содержанием белка, низким уровнем жира и безопасен по содержанию токсичных элементов. Таким образом, разработанные котлеты «Русалочка» можно отнести к группе функциональных продуктов с потенциалом использования в лечебно-профилактическом питании. Данная технология представляет собой перспективное направление в области здорового питания и профилактики заболеваний щитовидной железы. Результаты подтверждают целесообразность расширения ассортимента продуктов, обогащённых биодоступными формами йода и селена.

Литература

1 Пронь Е.А. К решению проблемы йоддефицита с помощью питания // Наука и молодежь: материалы XX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Барнаул, 17–21 апреля 2023 года. Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2023. С. 290–292.

2 Трошина Е.А., Мельниченко Г.А. Профилактика заболеваний, связанных с дефицитом йода – важное звено национальных проектов, посвященных сбережению здоровья нации // Вестник Российской академии медицинских наук. 2024. Т. 79. № 4. С. 366–372. doi: 10.15690/vramn17970.

3 Абдулхабирова Ф.М., Безлепкина О.Б., Бровин Д.Н. и др. Клинические рекомендации «Заболевания и состояния, связанные с дефицитом йода» // Проблемы эндокринологии. 2021. Т. 67. № 3. С. 10–25. doi: 10.14341/probl12750.

4 Дедов И.И., Трошина Е.А., Платонова Н.М. и др. Профилактика йододефицитных заболеваний: в фокусе региональные целевые программы // Проблемы эндокринологии. 2022. Т. 68. № 3. С. 16–20. doi: 10.14341/probl13119.

5 Мазилина А.Н., Скальный А.В., Ракитский В.Н. и др. Коррекция обеспеченности организма селеном как инструмент профилактической медицины // Здравоохранение Российской Федерации. 2021. Т. 65. № 5. С. 447–453. doi: 10.47470/0044-197X-2021-65-5-447-453.

6 Бубнова Н.В., Тимофеева Н.Ю., Кострова О.Ю. и др. Биологическая роль селена (обзор литературы) // Acta Medica Eurasica. 2023. № 2. С. 114–123. doi: 10.47026/2413-4864-2023-2-114-123.

7 Жигайлов А.С., Козлова О.В. Роль селена в организме человека: обогащение продуктов питания и поддержание здоровья // Пищевые добавки: рынок, инновации и перспективы: материалы междунар. науч.-практ. интернет-конф., Донецк, 27 ноября 2024 года. Донецк: ДонНУЭТ им. М. Туган-Барановского, 2024. С. 50–53.

8 Учасов Д.С., Фролова О.Н. Селен в питании спортсменов: физиологические и гигиенические аспекты // Автономия личности. 2024. № 1(31). С. 143–150.

9 Golubkina N.A., Alfthan G.V. The human selenium status in 27 regions of Russia // J. Trace Elem. Med. Biol. 1999. Vol. 13. № 1–2. P. 15–20. doi: 10.1016/S0946-672X(99)80018-2.

10 Bai S., Zhang M., Tang S. et al. Effects and impact of selenium on human health: a review // Molecules. 2024. Vol. 30. № 1. P. 50. doi: 10.3390/molecules30010050.

11 Zhang D., Yang X., Li Q. et al. Research advance on the important role of selenoprotein in human health // Chinese Sci. Bull. 2022. Vol. 67. № 6. P. 473–480. doi: 10.1360/TB2021-1019.

12 Minich W.B. Selenium metabolism and biosynthesis of selenoproteins in the human body // Biochemistry (Moscow). 2022. Vol. 87. Suppl. 1. P. S168–S177. doi: 10.1134/S0006297922140139.

13 Hou J. et al. Association of selenium levels with the prevention and control of Keshan disease: a cross-sectional study // J. Trace Elem. Med. Biol. 2021. Vol. 68.

14 Шевченко Н.П., Каледина М.В., Байдина И.А. и др. Содержание селена в пищевых продуктах // Вестник КрасГАУ. 2023. № 9(198). С. 182–191. doi: 10.36718/1819-4036-2023-9-182-191.

15 Yang F., Liu X., Xie Q. et al. Effects of Laminaria japonica polysaccharides on frozen dough bread // LWT. 2021. Vol. 151. Article 112239. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112239.

16 Khramova A.V., Korolyov Ya.I., Khramova [et al.]. Development of iodine-enriched poultry products // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. Vol. 848. P. 012032. doi: 10.1088/1755-1315/848/1/012032.

17 Новожилова Е.А., Тациенко Е.А., Шокина Ю.В., Кучина Ю.А. Моделирование и оптимизация рецептур функциональной кисломолочной продукции // Сборник тезисов науч.-практ. конф., Сочи, 23–27 января 2020 г. Сочи: КГМТУ, 2020. С. 193–197.

18 Шокина Ю.В., Савкина К.Н., Симутина Н.Н. Ламинария в продуктах, обогащённых йодом: опыт и перспективы // Рыбное хозяйство. 2023. № 1. С. 102–108. doi: 10.37663/0131-6184-2023-1-102-108.

19 Наумова Н.Л. Пищевая ценность бразильского ореха // Modern Science. 2021. № 3–1. С. 35–37.

20 Лукин А.А., Бец Ю.А., Наумова Н.Л. Использование ядер бразильского ореха в мясных изделиях // Вестник КамчатГТУ. 2021. № 56. С. 42–53. doi: 10.17217/2079-0333-2021-56-42-53.

21 Агутова С.И., Глотова И.А., Галочкина Н.А. Фортификация соевого напитка // Технологии пищ. и перераб. пром-сти АПК – продукты здорового питания. 2022. № 4. С. 100–106. doi: 10.24412/2311-6447-2022-4-100-106.

22 Меренкова С.П., Фильков А.А. Технология сыров, обогащенных орехами // Науч. ж. НИУ ИТМО. Сер.: Процессы и аппараты пищевых производств. 2021. № 1(47). С. 34–42. doi: 10.17586/2310-1164-2021-14-1-34-42.

23 Santos O.V., Azevedo G.O., Santos Â.C., Lopes A.S. Nutraceutical from Brazil nut lipid by-products // Foods. 2023. Vol. 12, № 7. P. 1446. doi: 10.3390/foods12071446.

24 Vasquez-Rojas W.V., Martín D., Fornari T., Cano M.P. Brazil nut beverage by high-pressure homogenization // Molecules. 2023. Vol. 28, № 12. P. 4675. doi: 10.3390/molecules28124675.

References

1 Pron E.A. Towards solving the problem of iodine deficiency with the help of nutrition. Science and Youth: Materials of the XX All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists, Barnaul, April 17–21, 2023. Barnaul: Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, 2023. pp. 290–292.

2 Troshina E.A., Melnichenko G.A. Prevention of diseases associated with iodine deficiency – an important link in national projects dedicated to preserving the nation's health. Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences. 2024. vol. 79. no. 4. pp. 366–372. doi: 10.15690/vramn17970.

3 Abdulkhabirova F.M., Bezlepkina O.B., Brovin D.N. et al. Clinical guidelines: Diseases and conditions associated with iodine deficiency. Problems of Endocrinology. 2021. vol. 67. no. 3. pp. 10–25. doi: 10.14341/probl12750.

4 Dedov I.I., Troshina E.A., Platonova N.M. et al. Prevention of iodine deficiency diseases: Focus on regional target programs. Problems of Endocrinology. 2022. vol. 68, no. 3. pp. 16–20. doi: 10.14341/probl13119.

5 Mazilina A.N., Skalny A.V., Rakitsky V.N. et al. Correction of selenium supply in the body as a preventive medicine tool. Healthcare of the Russian Federation. 2021. vol. 65. no. 5. pp. 447–453. doi: 10.47470/0044-197X-2021-65-5-447-453.

6 Bubnova N.V., Timofeeva N.Y., Kostrova O.Y. et al. The biological role of selenium (literature review). Acta Medica Eurasica. 2023. no. 2. pp. 114–123. doi: 10.47026/2413-4864-2023-2-114-123.

7 Zhigaylov A.S., Kozlova O.V. The role of selenium in the human body: Food fortification and health support. In: Food Additives: Market, Innovations and Prospects. Proc. Intern. Sci.-Pract. Conf., Donetsk, November 27, 2024. Donetsk: DonNUET, 2024. pp. 50–53.

8 Uchasov D.S., Frolova O.N. Selenium in athletes' diets: Physiological and hygienic aspects. Autonomy of the Individual. 2024. no. 1(31). pp. 143–150.

9 Golubkina N.A., Alfthan G.V. The human selenium status in 27 regions of Russia. J. Trace Elem. Med. Biol. 1999. vol. 13. no. 1–2. pp. 15–20. doi: 10.1016/S0946-672X(99)80018-2.

10 Bai S., Zhang M., Tang S. et al. Effects and impact of selenium on human health: A review. Molecules. 2024. vol. 30. no. 1. p. 50. doi: 10.3390/molecules30010050.

11 Zhang D., Yang X., Li Q. et al. Advances in the study of the critical role of selenoproteins in human health. Chinese Sci. Bull. 2022. vol. 67. no. 6. pp. 473–480. doi: 10.1360/TB2021-1019.

12 Minich W.B. Selenium metabolism and selenoprotein biosynthesis in the human body. Biochemistry (Moscow). 2022. Vol. 87. Suppl. 1. pp. S168–S177. doi: 10.1134/S0006297922140139.

13 Hou J. et al. Association of selenium levels with Keshan disease prevention and control: A cross-sectional study. J. Trace Elem. Med. Biol. 2021. Vol. 68.

14 Shevchenko N.P., Kaledina M.V., Baidina I.A. et al. Selenium content in food products. Bulletin of KrasGAU. 2023. no. 9(198). pp. 182–191. doi: 10.36718/1819-4036-2023-9-182-191.

15 Yang F., Liu X., Xie Q. et al. Effects of Laminaria japonica polysaccharides on the quality of frozen dough bread. LWT. 2021. vol. 151. Article 112239. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112239.

16 Khramova A.V., Korolyov Ya.I., Khramova A. et al. Development of iodine-enriched semi-finished poultry products. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. vol. 848. p. 012032. doi: 10.1088/1755-1315/848/1/012032.

17 Novozhilova E.A., Tatsienko E.A., Shokina Y.V., Kuchina Y.A. Modeling and optimization of formulations for functional fermented milk products. In: Abstracts of Sci.-Pract. Conf., Sochi, Jan 23–27, 2020. Sochi: Kerch State Maritime Technological University, 2020. pp. 193–197.

18 Shokina Y.V., Savkina K.N., Simutina N.N. Laminaria in iodine-enriched foods: Experience and commercialization. Fish Industry. 2023. no. 1. pp. 102–108. doi: 10.37663/0131-6184-2023-1-102-108.

19 Naumova N.L. Nutritional value of Brazil nuts. Modern Science. 2021. no. 3-1. pp. 35–37.

20 Lukin A.A., Bets Y.A., Naumova N.L. Use of Brazil nut kernels in stuffed meat products. Bulletin of Kamchatka State Technical University. 2021. no. 56. pp. 42–53. doi: 10.17217/2079-0333-2021-56-42-53.

21 Agutova S.I., Glotova I.A., Galochkina N.A. Fortification of soy protein drinks with functional and nutritional properties. Technol. Food Process. Agro-Ind. Complex – Healthy Foods. 2022. no. 4. pp. 100–106. doi: 10.24412/2311-6447-2022-4-100-106.

22 Merenkova S.P., Filkov A.A. Cheese technology enriched with nut blends. Sci. J. NRU ITMO. Ser.: Processes and Equipment of Food Production. 2021. no. 1(47). pp. 34–42. doi: 10.17586/2310-1164-2021-14-1-34-42.

23 Santos O.V., Azevedo G.O., Santos A.C., Lopes A.S. Development of a nutraceutical product derived from Brazil nut lipid extraction by-products. Foods. 2023. vol. 12. no. 7. p. 1446. doi: 10.3390/foods12071446.

24 Vasquez-Rojas W.V., Martín D., Fornari T., Cano M.P. High-pressure homogenized Brazil nut beverage: Composition and antioxidant capacity during cold storage. Molecules. 2023. vol. 28. no. 12. p. 4675. doi: 10.3390/molecules28124675.

Сведения об авторах

Юлия Ю. Денисович к.т.н., доцент, кафедра менеджмента и сервиса, Дальневосточный государственный аграрный университет, ул. Политехническая, 86 г. Благовещенск, 675005, Россия, dienisovich.78@mail.ru
https://orcid.org/0000-002-3022-8810

Information about authors

Yulia Y. Denisovich Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Management and Service, Far Eastern State Agrarian University, 86 Politekhnicheskaya St., Blagoveshchensk, Russia, dienisovich.78@mail.ru
https://orcid.org/0000-002-3022-8810

Вклад авторов

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

Contribution

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/03/2025	**После редакции** 28/03/2025	**Принята в печать** 10/04/2025

Received 01/03/2025	**Accepted in revised** 28/03/2025	**Accepted** 10/04/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-140-148 Оригинальная статья/Research article
УДК 663.915.23 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Разработка состава для приготовления шоколадной массы и шоколада повышенной пищевой ценности с профилактическим свойством

Манана Е. Ткешелашвили [1] mananatk@ya.ru 0000-0002-5269-7933
Галина А. Бобожонова [1] batay96@mail.ru 0000-0002-5421-0287
Газибег О. Магомедов [2] gazibeck.magomedov@ya.ru 0000-0002-7201-8387

1 Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, г. Москва, 115054, Россия
2 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Распространенность избыточного веса и ожирения за последние десятилетия практически во всех регионах мира достигла эпидемических показателей. Существенный вклад в указанную проблему вносят кондитерские изделия, поэтому создание кондитерских изделий, в которых кроме пищевых свойств уделяется внимание свойствам профилактическим, является актуальным. Цель исследования заключалась в разработке состава шоколадной массы и шоколада с повышенной пищевой ценностью готового продукта, придание ему профилактического свойства, способствующего стабилизации массы тела. Объектом изучения являлся горький шоколад. В разрабатываемый состав шоколадной массы было предложено ввести свекольный порошок, который содержит пищевые волокна, ускоряющие прохождение пищи через кишечник, препятствуя усвоению углеводов, и экстракт гарцинии камбоджийской, который содержит гидроксилимонную кислоту, оказывающую влияние на метаболизм углеводов и липидов в организме. В ходе проведенных исследований установлено количество для введения в состав шоколадной массы свекольного порошка (5,0-10,0 мас. %) необходимое для обеспечения суточной нормы потребления пищевых волокон, и порошка экстракта плодов гарцинии камбоджийской (0,16-0,5 мас. %), обеспечивающее поступление в организм действующего активного вещества – гидроксилимонной кислоты от адекватного до верхнего допустимого уровня потребления суточной нормы. Исследования качества полученных шоколадных масс показали, что массовая доля влаги, не превышает стандартных требований, динамическая вязкость возрастает с увеличением содержания обогащающих добавок в составе, но ее значение находится в интервале оптимальных значений 40-90 сП. Свекольный порошок обогащает вкусовой профиль шоколада и приводит к изменению цвета готового продукта, придавая ему характерный оттенок от светло-фиолетового до фиолетового. Внесение порошка экстракта плодов гарцинии камбоджийской не оказывает влияние на органолептические показатели готового продукта. Разработана технологическая схема приготовления шоколада, обеспечивающая максимальную сохранность свойств активных компонентов вводимых пищевых ингредиентов, придающих в совокупности, шоколаду профилактическое свойство, способствующее стабилизации массы тела.

Ключевые слова: шоколад, избыточная масса тела, экстракт гарцинии камбоджийской, гидроксилимонная кислота, пищевые волокна, свекольный порошок.

Development of a composition for the preparation of chocolate mass and chocolate of increased nutritional value with preventive properties

Manana E. Tkeshelashvili [1] mananatk@ya.ru 0000-0002-5269-7933
Galina A. Bobozhonova [1] batay96@mail.ru 0000-0002-5421-0287
Gazibeg O. Magomedov [2] gazibeck.magomedov@ya.ru 0000-0002-7201-8387

1 Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane., 36, Moscow, 115054, Russia
2 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The prevalence of overweight and obesity has reached epidemic levels in almost all regions of the world in recent decades. Confectionery products make a significant contribution to the problem therefore the creation of confectioneries is relevant in which, in addition to nutritional properties, paid attention to preventive properties. The purpose of the study was to develop a composition of chocolate mass and chocolate with increased nutritional value of the finished product, giving it a preventive property that helps stabilize body mass. The object of study was dark chocolate. It was proposed to introduce beetroot powder, which contains dietary fiber that accelerates the passage of food through the intestines, preventing the absorption of carbohydrates, and garcinia cambogia extract, containing hydroxycitric acid, which affects the metabolism of carbohydrates and lipids in the body, into the developed composition of the chocolate mass. The amount of beetroot powder (5.0-10.0 mass, %) required to be introduced into the chocolate mass to ensure the daily intake of dietary fiber and powder of garcinia cambogia extract (0.16-0.5 mass, %), ensuring the intake of the active substance - hydroxycitric acid into the body from an adequate to the upper permissible level of daily intake was established in the course of the conducted studies. Studies of the quality of the obtained chocolate masses showed that the mass fraction of moisture does not exceed standard requirements, the dynamic viscosity increases with an increase in the content of enriching additives in the composition, but its value is in the range of optimal values 40-90 sP. Beetroot powder enriches the flavor profile of chocolate and changes the color of the finished product, giving it a characteristic shade from light purple to purple. The introduction of powder garcinia cambogia extract does not affect the organoleptic properties of the finished product. A technological scheme for the preparation of chocolate has been developed, ensuring maximum preservation of the properties of the active components of the introduced food ingredients, which together give chocolate a preventive property that helps stabilize body mass.

Keywords: chocolate, overweight, garcinia cambogia extract, hydroxycitric acid, dietary fiber, beetroot powder.

Для цитирования
Ткешелашвили М.Е., Бобожонова Г.А., Магомедов Г.О. Разработка состава для приготовления шоколадной массы и шоколада повышенной пищевой ценности с профилактическим свойством // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 140–148. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-140-148

For citation
Tkeshelashvili M.E., Bobozhonova G.A., Magomedov G.O. Development of a composition for the preparation of chocolate mass and chocolate of increased nutritional value with preventive properties. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 140–148. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-140-148

© 2025, Ткешелашвили М.Е.и др. / Tkeshelashvili M.E. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Всемирная организация здравоохранения на рубеже XX–XXI веков признала ожирение неинфекционной эпидемией, назвав это заболевание чрезвычайной угрозой для человечества. Число лиц с ожирением превышает число лиц с пониженной массой тела практически во всех регионах мира. Согласно прогнозам ВОЗ, в списке причин смертности ожирение уже к 2030 году выйдет на седьмое место.

В настоящее время ожирение рассматривается как хроническое заболевание, проявляющееся избыточным увеличением массы тела преимущественно за счет чрезмерного накопления жировой ткани и сопровождающееся увеличением общей и сердечно-сосудистой заболеваемости. Ожирение способствует ухудшению качества жизни, возникновению социальных, психологических и экономических проблем, развитию ряда хронических заболеваний, увеличивает расходы на медицинскую помощь [1]. В современном обществе в условиях повышенной стрессогенности в сочетании с гиподинамичным образом жизни создаются предпосылки к развитию ожирения и избыточной массы тела [2]. Психоэмоциональные стрессовые ситуации могут способствовать развитию алиментарного ожирения, поскольку лица, испытывающие стресс, склонны к нерациональному питанию, чрезмерному употреблению сахаросодержащих продуктов.

К первостепенным причинам набора лишнего веса относят злоупотребление высококалорийной, богатой простыми углеводами, пищей. В результате избыточной калорийности рациона и сдвига его качественного состава в сторону легкоусвояемых углеводов и насыщенных жиров, а также вследствие гиподинамии происходит нарушение баланса между количеством потребляемых и расходуемых калорий, формируется сначала небольшой избыток массы тела, а затем ожирение [1].

Существенный вклад в указанную проблему вносят кондитерские изделия. Кондитерские изделия являются одним из востребованных продуктов питания у большинства населения, поэтому создание кондитерских изделий, в которых кроме пищевых свойств уделяется внимание свойствам профилактическим, является важным резервом улучшения здоровья населения. Решить поставленную задачу возможно путем разработки новых и усовершенствования существующих рецептур кондитерских изделий с использованием нетрадиционных пищевых ингредиентов.

На протяжении десятилетий шоколад остаётся популярным деликатесным пищевым продуктом среди всех групп населения, часто шоколадом «заедают» стресс. Но композиции существующих масс шоколада имеют как полезные, так и потенциально вредные для здоровья свойства. Большая часть выпускаемых промышленностью традиционных шоколадных масс и изготовленных из них шоколадных изделий, за исключением некоторых специальных видов шоколада, имеет высокое содержание сахарозы. Сахароза является легкоусвояемым углеводом и имеет высокий гликемический индекс, что влечет за собой неконтролируемое увеличение веса у потребителей.

В современном мире постоянно разрабатываются [3] и выводятся на рынок [4] новые пищевые продукты с различными полезными потребительскими свойствами. Для повышения пищевой ценности шоколадных масс принимались различные попытки: введение биологически активных добавок или компонентов с повышенным содержанием микроэлементов и т. д. Однако, эти продукты часто повторяют недостатки традиционных изделий, несмотря на наличие новых полезных свойств.

Разработан шоколад без рафинированного сахара, в котором в качестве подсластителя вместо рафинированного сахара полностью или частично используется сушеная сахарная свекла с более высоким уровнем общего сахара (сахарозы, глюкозы и фруктозы), белка, клетчатки, витаминов и минералов, чем у известного кристаллического сахара [5]. Смоделирован состав для приготовления шоколада, содержащий сухой шрот шиповника [6]. Общим недостатком данных разработанных составов является наличие в готовом продукте легкоусвояемых сахаров с высоким гликемическим индексом, и отсутствие веществ, блокирующих / снижающих их усвоение.

Цель исследования – разработка состава шоколадной массы и шоколада с повышенной пищевой ценностью готового продукта, придание ему профилактического свойства, способствующего стабилизации массы тела.

Для реализации поставленной цели решались следующие задачи: (1) исследование возможности разработки шоколада с сохранением традиционных вкусовых свойств и придания ему профилактического свойства, способствующего стабилизации массы тела за счет введения в состав шоколадной массы пищевых волокон и гидроксилимонной кислоты до уровня соотносимого с физиологическими нормами потребления в составе свекольного порошка и порошка экстракта плодов гарцинии камбоджийской;

(2) исследование влияния свекольного порошка и порошка экстракта плодов гарцинии камбоджийской на органолептические, физико-химические и технологические свойства шоколадных масс и шоколада повышенной пищевой ценности с профилактическим свойством.

Теоретическое обоснование

Свекольный порошок как ингредиент для обогащения пищевых продуктов дополнительными нутриентами

Одним из возможных компонентов при производстве пищевых продуктов может стать такая ценная пищевая овощная культура, как свекла столовая, которая содержит в своем составе комплекс веществ с доказанными полезными свойствами [7; 8]. Свекла низкокалорийный продукт, что позволяет использовать ее в рационах для снижения веса, а сок – в меню лечебно-профилактических диет. Свекла широко применяется в пищевой промышленности, а свекольный порошок в настоящее время набирает популярность в этом секторе и включение его в рецептуры разных видов продуктов питания является актуальным.

Свекольный порошок имеет в себе тот же набор питательных веществ, витаминов (B_1, B_2, C, и PP), минералов, что и сама свекла. Порошок богат антиоксидантами, содержит кальций, железо, калий, магний, фосфор и марганец, оказывает благоприятное влияние на здоровье человека за счет содержания в нем пищевых волокон, которые необходимы для улучшения пищеварения и выведения из организма канцерогенных и токсичных пищевых компонентов.

В соответствии с МР 2.3.1.0253–21 физиологическая потребность в пищевых волокнах для взрослого человека составляет 20–25 г/сутки или 10 г/1000 ккал. В суточном рационе человека часто присутствует недостаток пищевых волокон, что приводит к росту таких заболеваний, как ожирение, сахарный диабет 2 типа, метаболический синдром, атеросклероз коронарных артерий и связанных с ним заболеваний, рак толстой и прямой кишки и др. [9]

Свойство пищевых волокон ускорять прохождение пищи через органы пищеварения очень важно в условиях стремительного роста числа людей с избыточной массой тела. Употребление с пищей достаточного количества клетчатки нормализует работу кишечника. Связываясь с желчными кислотами, пищевые волокна уменьшают всасывание жира и снижают уровень холестерина в крови, а обволакивая слизистую кишечника, замедляют всасывание сахара после приема пищи, что полезно для больных сахарным диабетом [9].

Изучено применение порошка свеклы в качестве обогатителя при производстве йогурта функционального назначения [10], кондитерской глазури [11], зерновых экструдированных продуктов [12], хлебобулочных изделий [13], блинчиков [14], что позволило повысить пищевую ценность данных продуктов, обогатив пищевыми волокнами, витаминами, макро- и микроэлементами.

Применение гарцинии камбоджийской для коррекции массы тела

Гарциния камбоджийская – дерево, произрастающее в вечнозеленых лесах Индии, Непала и Шри-Ланки. Плоды гарцинии камбоджийской размером с апельсин, но напоминают маленькую желтоватую или красноватую тыкву. Кожура плодов традиционно используется для лечения желудочно-кишечных заболеваний, часто используется в аюрведической и традиционной медицине для лечения многих заболеваний. In vivo и in vitro экстракт из неочищенного плода обладает противовоспалительным [15], противораковым, глистогонным, антимикробным и антиоксидантным действием [16; 17]. Различные вторичные метаболиты, такие как органические кислоты – гидроксилимонная кислота, флавоноиды, терпены, полисахариды и полиизопренилированные бензофеноны – гарцинол, ксантохимол, гуттиферон, бензофенон, ксантон, бифлавоноиды, алкалоиды, дубильные вещества, фенолы и сапонины, выделенные из плода гарцинии камбоджийской, обладают разнообразной фармакологической активностью [17].

Плоды гарцинии камбоджийской с ее активным компонентом гидроксилимонной кислотой широко используются для похудения. Потенциальная эффективность гарцинии камбоджийской в снижении массы тела и жировых отложений была подтверждена в нескольких исследованиях, как на экспериментальных животных, так и на людях [18].

Приведены результаты исследований [19] по оценке эффективности экстракта гарцинии камбоджийской в регуляции эндогенного биосинтеза липидов. Авторы объясняют данный эффект тем, что гидроксилимонная кислота ингибирует фермент АТФ-цитратлиазу, непосредственно участвующий в процессе образования липидов. Установлено [20], что гидроксилимонная кислота в сочетании с диетой для снижения веса может значительно уменьшить висцеральную жировую ткань.

Проведенные исследования подтверждают свойство гидроксилимонной кислоты,

имеющейся в составе экстракта гарцинии камбоджийской, влиять на метаболизм пищевых веществ [18, 21], что позволяет использовать продукты переработки гарцинии камбоджийской для коррекции массы тела.

В Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (утв. решением комиссии ТС от 28.05.2010 г. № 299) внесены нормы потребления гидроксилимонной кислоты, которые составляют 100–300 мг в сутки.

Материалы и методы

Объектом исследования являлись экспериментальные образцы горького шоколада, обогащенные свекольным порошком и порошком экстракта плодов гарцинии камбоджийской, а также контрольный образец, изготовленный по рецептуре и технологии горького шоколада.

В исследовании применяли свекольный порошок (ООО «ВИТБИОКОР», Республика Беларусь), представляющий собой мелкодисперсный сыпучий гигроскопичный порошок с массовой долей влаги не более 8,0 %, с характерным запахом, фиолетового цвета и порошок экстракта плодов гарцинии камбоджийской (Китай), содержание гидроксилимонной кислоты 60,56 %, порошок от белого до светло-бежевого цвета.

Исследование проводилось с применением следующих методов:

- органолептического – определение органолептических показателей (внешний вид, вкус и запах, консистенция, структура);
- экстракционно-гравиметрического метода – наличие и содержание жира с использованием автоматической экстракционной установки «Soxtherm» фирмы «Gerhardt»;
- термогравиметрического (определение содержания влаги путем высушивания навески пробы товара до постоянной массы при температуре 130 °С в сушильном шкафу фирмы «Binder» (Германия);
- активность воды (Aw) находили как отношение парциального давления водяного пара над поверхностью продукта к давлению насыщенного водяного пара при той же температуре. Активность воды (Aw) измеряли на приборе «АКВАЛАБ».
- вязкость – на вискозиметре «Brookfield ametek». работа которого основана на измерении крутящего момента ротора, создаваемого исследуемым продуктом. Изменение крутящего момента определяется датчиком угла вращения по закручиванию измерительной пружины. После измерений все числовые значения выводятся на дисплей. В данном исследовании использовали шпиндель 63, диаметр которого составлял 120 мм, при скорости вращения – 1 RPM. Измеряли динамическую вязкость продукта при температурах 40 °С. Для термостатирования проб использовали лабораторную баню.

Результаты и их обсуждение

Создание шоколадной массы и шоколада повышенной пищевой ценности с профилактическим свойством

Для получения шоколада с повышенной пищевой ценностью с профилактическим свойством разработан следующий состав шоколадной массы, представленный в таблице 1. Необходимые свойства обеспечиваются за счет сочетания компонентов заявленного состава.

Проведенные исследования показали, что уменьшение количества какао-тертого ниже 39,0 мас. % и какао масла ниже 13 мас. % приводит к ухудшению технологических и органолептических свойств продукта, выражающихся в потере усадки и характерного блеска.

Увеличение количества какао-тертого выше 40,0 мас. % и какао масла выше 16 мас. % приводит к ухудшению технологических свойств получаемых шоколадных масс – снижению вязкости и повышению текучести массы, необоснованному удорожанию продукта, уменьшению массовой доли вводимых полезных добавок.

Содержание соевого фосфатидного концентрата (лецитина) 0,3–0,6 мас. % обеспечивает оптимальную вязкость и текучесть шоколадной массы. Снижение количества соевого фосфатидного концентрата (лецитина) ниже 0,3 мас. % приводит к увеличению вязкости шоколадной массы, а увеличение количества соевого фосфатидного концентрата (лецитина) выше 0,6 мас. % приводит к увеличению текучести шоколадной массы. Оба изменения значительно усложняют ведение технологического процесса.

Уменьшение количества свекольного порошка ниже 5,0 мас. % нецелесообразно, учитывая цель получение массы повышенной пищевой ценности и необходимость обеспечения 25–50 % от суточной нормы потребления пищевых волокон. Увеличение количества выше 10,0 мас. % ведет к ухудшению органолептических свойств, плитка плохо структурируется при охлаждении, масса приобретает пластилиноподобную структуру, и порошковый привкус. Единовременное увеличение массовой доли какао-тертого, какао-масла и соевого фосфатидного концентрата в рецептуре № 3 связано с резким повышением вязкости шоколадной массы при введении 10 % свекольного порошка.

Таблица 1.

Состав разработанной шоколадной массы повышенной пищевой ценности с профилактическим свойством

Table 1.

Composition of the developed chocolate mass of increased nutritional value with preventive properties

Ингредиент Ingredient	Содержание, мас. % Content, mass, %		
	Образец № 1 Sample No.1	Образец № 2 Sample No.2	Образец № 3 Sample No.3
Сахарная пудра | Powdered sugar	42,44	38,05	32,70
Какао тертое | Crude chocolate	39,0	39,5	40,0
Какао масло | Cocoa butter	13,0	14,5	16,0
Свекольный порошок | Beetroot powder	5,0	7,0	10,0
Соевый фосфатидный концентрат | Soya phosphatide concentrate	0,3	0,5	0,6
Ароматизатор | Flavouring	0,1	0,15	0,2
Порошок экстракта плодов гарцинии камбоджийской Garcinia cambogia extract powder	0,16	0,30	0,50
Итого | Total	100	100	100

В состав шоколадной массы входит порошок экстракта плодов гарцинии камбоджийской 0,16–0,5 мас. %. В данном количестве ингредиента содержится от адекватного до верхнего допустимого уровня потребления суточной нормы гидроксилимонной кислоты.

Технологическая схема приготовления шоколада повышенной пищевой ценности с профилактическим свойством

Шоколад разработанного состава готовили следующим образом. Сахар измельчали до сахарной пудры. Затем дозировали рецептурные компоненты в следующей последовательности: какао тертое, какао масло, свекольный порошок, сахарная пудра, смешивали полученную рецептурную смесь в меланжерах в течение 20 минут до получения массы с однородной, пластичной консистенцией. Осуществляли измельчение полученной шоколадной смеси с помощью шариковой мельницы. Степень измельчения составляла 20–30 мкн. Далее следовали процессы разведения и гомогенизации шоколадной массы, они являлись единой технологической стадией, на этой стадии происходило добавление ароматизатора, смешанного с порошком экстракта плодов гарцинии камбоджийской и лецитина, и перевод шоколадной массы в текучее состояние с требуемой вязкостью. Конширование шоколадной массы осуществляли в конш-машине в течение 4–5 часов при 45–55 °С.

Готовая шоколадная масса через фильтрование поступала в приемники для темперирования, оттемперированную шоколадную массу подавали в воронку отливочной головки. Затем, шоколадная масса поступала для заполнения форм и далее на вибротранспортер для удаления пузырьков воздуха и равномерного распределения. Далее шоколадные плитки проходили стадию охлаждения, выколотки и упаковки.

Оценка качества шоколадной массы и шоколада повышенной пищевой ценности с профилактическим свойством

Определяли влияние свекольного порошка и порошка экстракта плодов гарцинии камбоджийской на физико-химические и технологические свойства шоколадных масс (таблица 2).

Таблица 2.

Влияние свекольного порошка и порошка экстракта плодов гарцинии камбоджийской на физико-химические и технологические свойства шоколадных масс

Table 2.

The influence of beetroot powder and garcinia cambogia extract powder on the physicochemical and technological properties of chocolate masses

Показатель Indicator	Контроль Control	Экспериментальные обогащенные образцы шоколадных масс Experimental enriched samples of chocolate masses		
		Образец № 1 Sample No.1	Образец № 2 Sample No.2	Образец № 3 Sample No.3
Массовая доля влаги, % Moisture content, %	1,3	1,2	1,3	1,4
Активность воды, Aw Water activity	0,219	0,186	0,192	0,205
Массовая доля жира, % Weight fraction	32,8	35,6	34,5	36,3
Динамическая вязкость, сП Dynamic viscosity	47,68	63,24	72,04	81,24

Исследования качества полученных шоколадных масс показали, что массовые доли жира и влаги в них в соответствии с расчетным содержанием по рецептуре с учетом допускаемых отклонений. Массовая доля влаги, не превышает стандартных требований – 2 % (таблица 2). Установлено, что динамическая вязкость шоколадной массы возрастает с увеличением содержания свекольного порошка и порошка экстракта плодов гарцинии камбоджийской в ее составе, и ее значение находится в интервале оптимальных значений 40–90 сП. Следовательно, введение обогащающих добавок в указанных количествах не приведет к технологическим трудностям.

По активности воды экспериментальные образцы шоколадных масс относятся к продуктам с низкой влажностью Aw < 0,6 (таблица 2). Чем выше Aw в продукте, тем наиболее вероятна жизнедеятельность тех или иных видов микрофлоры. В продуктах с низкой влажностью микробиологические процессы не протекают, они сохраняют свое качество длительное время, что подтверждает реальность увеличения срока хранения экспериментального продукта.

Органолептическую оценку выработанных образцов шоколада проводили группой экспертов-дегустаторов (таблица 3). Экспертами отмечены оптимальные вкусовые характеристики у всех образцов шоколада. Свекольный порошок обогащает вкусовой профиль изделия.

Таблица 3.

Результаты органолептической оценки разработанного шоколада повышенной пищевой ценности с профилактическим свойством

Table 3.

Results of organoleptic evaluation of the developed chocolate with increased nutritional value and preventive properties

Показатель Indicator	Характеристика | Characteristic		
	Образец № 1 Sample No.1	Образец № 2 Sample No.2	Образец № 3 Sample No.3
Вкус и запах Flavor and smell	вкус и запах выраженные, свойственные для шоколада pronounced flavor and smell, typical of chocolate	вкус и запах выраженные, свойственные для шоколада pronounced flavor and smell, typical of chocolate	вкус и запах выраженные, свойственные для шоколада pronounced flavor and smell, typical of chocolate
Внешний вид Appearance	лицевая поверхность блестящая, цвет темно-коричневый со светло-фиолетовым оттенком | shiny front surface, dark brown color with a light purple tint	лицевая поверхность блестящая, цвет темно-коричневый со светло-фиолетовым оттенком | shiny front surface, dark brown color with a light purple tint	лицевая поверхность блестящая, цвет темно-коричневый с фиолетовым оттенком | shiny front surface, dark brown color with a purple tint
Консистенция | Texture	твердая | hard	твердая | hard	твердая | hard
Структура | Structure	однородная | homogeneous	однородная | homogeneous	однородная | homogeneous

Использование свекольного порошка в количестве 5,0–10,0 мас. % приводит к изменению цвета готового продукта, придавая ему характерный оттенок от светло-фиолетового до фиолетового. Внесение порошка экстракта плодов гарцинии камбоджийской в рецептурный состав шоколадной массы не оказывает влияние на органолептические показатели готового продукта.

Заключение

В результате проведенных исследований по разработке состава для приготовления шоколадной массы и шоколада повышенной пищевой ценности с профилактическим свойством:

– установлена возможность применения свекольного порошка и порошка экстракта плодов гарцинии камбоджийской в производстве шоколада без ухудшения его потребительских характеристик.

– определено оптимальное количество вводимого в состав шоколадной массы свекольного порошка (5,0–10,0 мас. %) необходимое для обеспечения суточной нормы потребления пищевых волокон, и порошка экстракта плодов гарцинии камбоджийской (0,16–0,5 мас. %), обеспечивающее поступление в организм действующего активного вещества – гидроксилимонной кислоты от адекватного до верхнего допустимого уровня потребления суточной нормы.

– разработана технологическая схема приготовления шоколада, обеспечивающая максимальную сохранность свойств активных компонентов вводимых пищевых ингредиентов, придающих в совокупности, шоколаду профилактическое свойство, способствующее стабилизации массы тела;

– установленные изменения физико-химических и технологических показателей

шоколадных масс в зависимости от содержания в рецептуре свекольного порошка и порошка экстракта плодов гарцинии камбоджийской позволяют моделировать шоколадные изделия с заданными пищевой ценностью и структурно-механическими характеристиками.

Дальнейшие исследования будут направлены на расширение рецептур кондитерских сахаристых и мучных изделий с использованием пищевых ингредиентов, оказывающих корректное воздействие на метаболизм человека с факторами риска ожирения или его наличия при их употреблении в составе изделий, а также на определение соответствующих технологических параметров производства изделий, обеспечивающих максимальную сохранность свойств активных компонентов вводимых пищевых ингредиентов.

Литература

1. Драпкина О.М., Самородская И.В., Старинская М.А., Ким О.Т., Неймарк, А.Е. Ожирение: оценка и тактика ведения пациентов. Коллективная монография. М.: ФГБУ «НМИЦ ТПМ» Минздрава России; ООО «Силицея-Полиграф». 2021. с. 174.

2. Мазурина Н.В., Лескова И.В., Трошина Е.А., Логвинова О.В., Адамская Л.В., Красниковский В.Я. Ожирение и стресс: эндокринные и социальные аспекты проблемы в современном российском обществе // Ожирение и метаболизм. 2019. Т. 16. № 4. С. 18–24. doi:10.14341/omet9975.

3. Агунович Ю.А., Чмыхалова В.Б. Разработка технологии шоколада с пищевыми обогатителями из морепродуктов // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2023. № 64. С. 8–21. doi: 10.17217/2079–0333–2023–64–8–21

4. Горлов С.М., Першакова Т.В., Яковлева Т.В., Семиряжко Е.С. Перспективы рынка производства шоколадных изделий, обогащенных функциональными ингредиентами // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. 2022. № 3. С. 187–192. doi: 10.24412/2311–6447–2022–3–187–192

5. Пат. № 042113, EA, A23L 19/10, A23G 1/32. Шоколад, подслащенный сушеной сахарной свеклой / Канатли А.Ф. № 201992686; заявл. 01.11. 2017; опубл. 17.01. 2023.

6. Пат. № 2548487, RU, A23G 1/30, A23G 1/48. Состав для получения шоколада / Шепеленко В.Б., Черниченко В.В. № 2014104729/13; заявл. 12.02.2014; опубл. 20.04.2015.

7. Ceclu L., Oana-Viorela N. Red Beetroot: Composition and health effects – A Review // Journal of Nutritional Medicine and Diet Care. 2020. Vol. 6. № 1. P. 1–9. https://doi.org/10.23937/2572–3278.1510043

8. Razzak M.A., Sharif M.K., Naz T., Rauf M.A., Shahid F., Shahzad R., Saleem R., Aslam T., Inam A. Evaluating the Bioactive Compounds of Beetroot and Their Pharmacological Activities in Promoting Health // European Journal of Health Sciences. 2024. Vol. 10. № 1. P. 13–30. https://doi.org/10.47672/ejhs.1802

9. Броновец И.Н. Пищевые волокна – важная составляющая сбалансированного здорового питания // Медицинские новости. 2015. № 10. С. 46–48.

10. Журавлева Д.А., Селезнева И.С., Колядина Л.И. Использование порошка сушеной свеклы в технологии йогурта функционального назначения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2022. Т. 10. № 1. С. 86–97. doi: 10.14529/food220110

11. Мазукабзова Э.В., Зайцева Л.В. Органолептические, реологические и кристаллизационные свойства кондитерской глазури с порошком из свеклы // Пищевые системы. 2022. Т. 5. № 2. С. 132–138. doi: 10.21323/2618–9771–2021–5–2–132–138

12. Бакуменко О.Е., Алексеенко Е.В., Рубан Н.В. Возможности использования сублимированных растительных порошков при производстве зерновых экструдированных продуктов // Хранение и переработка сельхозсырья. 2019. № 1. С. 116–129. doi: 10.36107/spfp.2019.75

13. Кудряков Д.Н., Гарькина П.К. Применение свекольного порошка в хлебопечении // Инновационная техника и технология. 2024. Т. 11. № 3. С. 29–32.

14. Kopylova A.V., Sapozhnikov A.N., Kim V.I. Development of formulation and technology of pancakes with beetroot powder of infrared drying // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 451. P. 04006. doi: 10.1051/e3sconf/202345104006

15. Feng Z., Chen J., Feng L., Chen C., Ye Y., Lin L. Polyisoprenylated benzophenone derivatives from Garcinia cambogia and their anti-inflammatory activities // Food & Function. 2021. Vol. 12. № 14. P. 6432–6441. doi: 10.1039/d1fo00972a

16. Gaur P., Ambrish S., Rishabh N.A., Verma S., Gautam D.K., Shrivastava, U., Shukla P.K., Verma H., Singh V. A Comprehensive Review on the Phytochemistry, Pharmacological Properties, and Clinical Efficacy of Garcinia gummi-gutta (Malabar Tamarind) // Journal of Advances in Biology & Biotechnology. 2024. Vol. 27. № 11. P. 1110–1119. doi: 10.9734/jabb/2024/v27i111696

17. Anilkumar A.T., Manoharan S., Balasubramanian S., Perumal E. Garcinia gummi-gutta: Phytochemicals and pharmacological applications // Biofactors. 2023. Vol. 49. № 3. P. 584–599. doi: 10.1002/biof.1943

18. Raina R., Verma P.K., Taku I., Malik J.K., Gupta R.C. Garcinia cambogia // In Nutraceuticals. Elsevier. 2021. P. 975–990.

19. Márquez F., Babio N., Bulló M., Salas-Salvadó J. Evaluation of the safety and efficacy of hydroxycitric acid or Garcinia cambogia extracts in humans // Critical reviews in food science and nutrition. 2012. Vol. 52. № 7. P. 585–594. doi: 10.1080/10408398.2010.500551

20. Tutunchi H., Arefhosseini S., Nomi-Golzar S., Ebrahimi-Mameghani M. Effects of Hydroxycitric Acid Supplementation on Body Composition, Obesity Indices, Appetite, Leptin, and Adiponectin of Women with NAFLD on a Calorie-Restricted Diet // International Journal of Clinical Practice. 2023. № 1. P. 1–8. doi: 10.1155/2023/6492478.

21. Noreena, S., Khan Naizia M., Tufaila T., Hassanb F., Awuch C.G. Nutraceutical, functional, and therapeutic properties of Garcinia cambogia: a review // International Journal of Food Properties. 2023. Vol. 26. № 1. P. 729–738. doi: 10.1080/10942912.2023.2178458

References

1. Drapkina O.M., Samorodskaya I.V., Starinskaya M.A., Kim O.T., Neimark A.E. Obesity: assessment and tactics of patient management. Collective monograph. Moscow: FGBU «NMSC TPM» of the Ministry of Health of the Russian Federation; OOO «Silitseya-Polygraf». 2021. 174 p. (in Russian).

2. Mazurina N.V., Leskova I.V., Troshina E.A. Logvinova O.V., Adamskaya L.V., Krasnovsky V. Ya. Obesity and stress: endocrine and social aspects of the problem in modern Russian society. Obesity and metabolism. 2019. vol. 16. no. 4. pp. 18–24. doi:10.14341/omet9975 (in Russian).

3. Agunovich Yu. A., Chmyhalova V.B. Development of chocolate technology with seafood food additives. Bulletin of Kamchatka State Technical University. 2023. no. 64. pp. 8–21. doi: 10.17217/2079–0333–2023–64–8–21 (in Russian).

4. Gorlov S.M., Pershakova T.V., Yakovleva T.V., Semiryazhko, E.S. Market prospects for chocolate products enriched with functional ingredients. Technologies for the food and processing industry of AIC healthy food. 2022. no. 3. pp. 187–192. doi: 10.24412/2311–6447–2022–3–187–192 (in Russian).

5. Kanatli A.F. Chocolate sweetened with dried sugar beet. Patent EA, no. 042113. 2023.

6. Shepelenko V.B., Chernichenko V.V. Composition for chocolate production. Patent RF, no. 2548487. 2015.

7. Ceclu L., Oana-Viorela N. Red Beetroot: Composition and health effects – A Review // Journal of Nutritional Medicine and Diet Care. 2020. vol. 6. no. 1. pp. 1–9. doi: 10.23937/2572–3278.1510043

8. Razzak M.A., Sharif M.K., Naz T., Rauf M.A., Shahid F., Shahzad R., Saleem R., Aslam T., Inam A. Evaluating the Bioactive Compounds of Beetroot and Their Pharmacological Activities in Promoting Health // European Journal of Health Sciences. 2024. vol. 10. no. 1. pp. 13–30. doi: 10.47672/ejhs.1802

9. Bronovets I.N. Dietary fibers – an important part of a balanced healthy diet. Medical news. 2015. no. 10. pp. 46–48. (in Russian)

10. Zhuravleva D.A., Selezneva I.S., Kolyadina L.I. The use of dried beetroot powder in functional yogurt technology. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology. 2022. vol. 10. no. 1. pp. 86–97. doi: 10.14529/food220110 (in Russian).

11. Mazukabzova E.V., Zajceva, L.V. Organoleptic, rheological and crystallization properties of confectionery glaze with beet powder. Food Systems. 2022. vol. 5. no. 2. pp. 132–138. doi: 10.21323/2618–9771–2021–5–2–132–138 (in Russian).

12. Bakumenko O.E., Alekseenko E.V., Ruban N.V. The Possibility of Using Freeze-Dried Vegetable Powders in the Production of Extruded Cereal Products. Storage and Processing of Farm Products. 2019. no. 1. pp. 116–129. doi: 10.36107/spfp.2019.75 (in Russian)

13. Kudryakov D.N., Garkina P.K. The effect of vegetable powders on the quality of bakery products. Innovative Machinery and Technology. 2024. vol. 11. no. 3. pp. 29–32. (in Russian).

14. Kopylova A.V., Sapozhniko A.N., Kim, V.I. Development of formulation and technology of pancakes with beetroot powder of infrared drying. E3S Web of Conferences (2023). vol. 451. pp. 04006. doi: 10.1051/e3sconf/202345104006

15. Feng Z., Chen J., Feng L., Chen C., Ye Y., Lin L. Polyisoprenylated benzophenone derivatives from Garcinia cambogia and their anti-inflammatory activities. Food & Function. 2021. vol. 12. no. 14. pp. 6432–6441. doi:10.1039/d1fo00972a

16. Gaur P., Ambrish S., Rishabh N.A., Verma S., Gautam D.K., Shrivastava U., Shukla P.K., Verma H., Singh, V. A Comprehensive Review on the Phytochemistry, Pharmacological Properties, and Clinical Efficacy of Garcinia gummi-gutta (Malabar Tamarind). Journal of Advances in Biology & Biotechnology. 2024. vol. 27. no. 11. pp. 1110–1119. doi: 10.9734/jabb/2024/v27i111696

17. Anilkumar A.T., Manoharan S., Balasubramanian S., Perumal E. Garcinia gummi-gutta: Phytochemicals and pharmacological applications. Biofactors. 2023. vol. 49. no. 3. pp. 584–599. doi: 10.1002/biof.1943

18. Raina R., Verma P.K., Taku I., Malik J.K., Gupta R.C. Garcinia cambogia. In Nutraceuticals; Elsevier. 2021. pp. 975–990.

19. Márquez F., Babio N., Bulló M., Salas-Salvadó J. Evaluation of the safety and efficacy of hydroxycitric acid or garcinia cambogia extracts in humans. Critical reviews in food science and nutrition. 2012. vol. 52. no. 7. pp. 585–594. doi: 10.1080/10408398.2010.500551

20. Tutunchi H., Arefhossein S., Nomi-Golzar S., Ebrahimi-Mameghani M. Effects of Hydroxycitric Acid Supplementation on Body Composition, Obesity Indices, Appetite, Leptin, and Adiponectin of Women with NAFLD on a Calorie-Restricted Diet. International Journal of Clinical Practice. 2023. no. 1. pp. 1–8.doi: 10.1155/2023/6492478.

21. Noreena, S., Khan Naizia M., Tufaila T., Hassanb F., Awuch C.G. Nutraceutical, functional, and therapeutic properties of Garcinia cambogia: a review. International Journal of Food Properties. 2023. vol. 26. no. 1. pp. 729–738. doi: 10.1080/10942912.2023.2178458.

Сведения об авторах

Манана Е. Ткешелашвили к.т.н., научно-исследовательский институт продовольственной безопасности, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, г. Москва, 115054, Россия, mananatk@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-5269-7933

Галина А. Бобожонова к.т.н., доцент, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, г. Москва, 115054, Россия, batay96@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5421-0287

Газибег О. Магомедов д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологи, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gazibeck.magomedov@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-7201-8387

Information about authors

Manana E. Tkeshelashvili Cand. Sci. (Engin.), research institute of the food security, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane., 36, Moscow, 115054, Russia, mananatk@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-5269-7933

Galina A. Bobozhonova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, commodity examination and customs chair, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane., 36, Moscow, 115054, Russia, batay96@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5421-0287

Gazibeg O. Magomedov Dr. Sci. (Engin.), professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, gazibeck.magomedov@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-7201-8387

Вклад авторов

Манана Е. Ткешелашвили предложила методику проведения эксперимента и организовала производственные испытания
Галина А. Бобожонова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Газибег О. Магомедов консультация в ходе исследования

Contribution

Manana E. Tkeshelashvili proposed a scheme of the experiment and organized production trials
Galina A. Bobozhonova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Gazibeg O. Magomedov consultation during the study

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 28/01/2025	**После редакции** 18/03/2025	**Принята в печать** 08/04/2025

Received 28/01/2025	**Accepted in revised** 18/03/2025	**Accepted** 08/04/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-149-156 Обзорная статья/Review article
УДК 637.33:338.439.4 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Региональное развитие российского сыроделия

Татьяна В. Рыбченко [1] tv.rybchenko@omgau.org 0000-0003-2614-2309
Сергей А. Коновалов [1] sa.konovalov@omgau.org 0000-0003-3537-8081
Анна А. Дерканосова [2] aa-derk@ya.ru 0000-0002-9726-9262
Константин К. Полянский [2.3] mto.vrn@mail.ru 0000-0002-8817-1466

1 Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, ул. Институтская пл., 1, г. Омск, 644008, Россия
2 Воронежский государственных университет инженерных технологий, пр-т Революций, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
3 Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, ул. Карла Маркса, 67А, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные вопросы, связанные с особенностями потребления сыров в России, дана исчерпывающая характеристика пищевой и биологической ценности сыра, как жизненно необходимого и полноценного продукта питания в рационе современного человека. Материал статьи содержит подробную информацию о современном состоянии и перспективных направлениях развития Российского сыроделия на федеральном и региональном уровнях, приведен подробный обзор состояния отечественного рынка сыров после введения санкций против Российской Федерации и ухода зарубежных товаропроизводителей молочного оборудования и комплектующих к нему, пищевых и технологических добавок, заквасочных культур и ферментных препаратов необходимых для производства сыра. В статье описываются современные ингредиенты, необходимые для производства сыра: закваски, защитные культуры, молокосвертывающие ферментные препараты нового поколения. Показано, что для развития сыроделия в России и выпуска сыров высокого качества, приобретают первостепенное значение показатели качества и биологической полноценности молока, его химический состав, физико-химические и технологические свойства в зависимости от сезона года, а также рациона питания, состояния здоровья, породы и условий содержания молочного стада. В статье приводится информация о деятельности компании ООО «Юнилайн»/Sacco System, неотъемлемой частью которой является тесное взаимодействие с экспериментальными цехами, малыми и крупными предприятиями по совместному выпуску опытных партий элитных сыров, проведение производственных стажировок и обучающих семинаров ведущими специалистами компании, совместно с научными и образовательными организациями страны в целях подготовки высококвалифицированных кадров для молочной промышленности и повышения квалификации специалистов, работающих в молочной отрасли. Представлена миссия и логистическая стратегия ООО «Юнилайн»/Sacco System, базирующаяся на передовом опыте, логистических концепциях и технологиях, применяемых ведущими мировыми компаниями производителями сыр

Ключевые слова: сыроделие, защитные культуры, закваски, молокосвертывающие ферментные препараты, сыропригодность молока.

Regional development of russian cheese making

Tatyana V. Rybchenko [1] tv.rybchenko@omgau.org 0000-0003-2614-2309
Sergey A. Konovalov [1] sa.konovalov@omgau.org 0000-0003-3537-8081
Anna A. Derkanosova [2] aa-derk@ya.ru 0000-0002-9726-9262
Konstantin K. Polyansky [2.3] mto.vrn@mail.ru 0000-0002-8817-1466

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

Abstract. This paper examines current issues related to the characteristics of cheese consumption in Russia, and provides a comprehensive description of the nutritional and biological value of cheese as a vital food product in the diet of a modern person. This paper contains detailed information on the current state and prospective directions of development of Russian cheese making at the federal and regional levels, a detailed review of the state of the domestic cheese market after the introduction of sanctions against the Russian Federation and the departure of foreign manufacturers of dairy equipment and components for it, food and technological additives, starter cultures and enzyme preparations necessary for cheese production. This paper describes modern ingredients necessary for cheese production: starters, protective cultures, new generation milk-clotting enzyme preparations. It has been shown that for the development of cheese making in Russia and the production of high-quality cheeses, the indicators of the quality and biological value of milk, its chemical composition, physicochemical and technological properties, depending on the season of the year, as well as the diet, health status, breed and conditions of keeping the dairy herd, are of primary importance. This article provides information about the activities of the company Uniline LLC/Sacco System, an integral part of which is close interaction with experimental shops, small and large enterprises for the joint production of pilot batches of elite cheeses, conducting industrial internships and training seminars by leading specialists of the company, together with scientific and educational organizations of the country in order to train highly qualified personnel for the dairy industry and improve the skills of specialists working in the dairy industry. The mission and logistics strategy of Uniline LLC/Sacco System, based on best practices, logistics concepts and technologies used by the world's leading cheese producing companies, is presented

Keywords: cheese making, protective cultures, starters, milk-clotting enzyme preparations, suitability of milk for cheese making.

Для цитирования
Рыбченко Т.В., Коновалов С.А., Дерканосова А.А., Полянский К.К. Региональное развитие российского сыроделия // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 149–156. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-149-156

For citation
Rybchenko T.V., Konovalov S.A., Derkanosova A.A., Polyansky K.K. Regional development of russian cheese making. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 149–156. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-149-156

© 2025, Рыбченко Т.В. и др. / Rybchenko T.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Питание играет ключевую роль в поддержании активного образа жизни, сохранении здоровья и увеличении продолжительности жизни. Современному человеку крайне важно употреблять полноценные, сбалансированные и, что особенно важно, безопасные продукты. Одним из таких продуктов является сыр, который является привычным продуктом как ежедневного, так и праздничного меню для большинства людей в России и за её пределами. Пищевая ценность сыра определяется его составом, который включает белки, жиры, минеральные соли и витамины, сбалансированные и легко усваиваемые организмом. Одной из ключевых характеристик сыра как пищевого продукта является его способность к длительному хранению. Сыры, изготовленные по традиционным технологиям, могут храниться несколько месяцев. В России традиционно производят полутвердые сычужные сыры с длительным сроком созревания: от одного до двух месяцев для сыров с низкой температурой второго нагревания и от четырех до шести и более месяцев для сыров с высокой температурой второго нагревания. Эти сыры изготавливаются в стране из местного сырья. Ранее сегмент рынка, включающий премиальные сыры с сложной технологией, в значительной степени заполнялся импортными продуктами. Однако с усложнением внешнеполитической ситуации и введением санкций рынок сыра претерпел значительные изменения. Поставки сыров из многих недружественных стран, таких как Италия, Франция, Германия, США и других, прекратились. В результате с рынка исчезли многие сложные сорта сыров, которые не производятся в России и полностью зависели от импорта. Серьезной проблемой стали поставки импортного оборудования для производства сыров, а также комплектующих и ингредиентов, таких как закваски, ферменты и красители. Это вызвало значительное потрясение на рынке, но одновременно дало стимул и новые возможности для развития отечественного сыроделия. Главной задачей стало замещение ранее импортируемых сложных сортов сыра отечественными аналогами и поиск замен для импортного оборудования, комплектующих и ингредиентов. Для производства таких сыров не хватало технологий, оборудования, заквасок и других компонентов, что затрудняло оперативное внедрение на российских сыродельных заводах производства Пармезана, Грюйера, Моцареллы, Горгонзоллы и других сложных сортов. Технологии производства сложных сортов сыра первыми освоили небольшие сыроварни, которые быстро адаптировались к новым условиям и выпустили на рынок первые аналоги импортных сыров. Можно утверждать, что введение санкций против России способствовало развитию крафтового сыроделия в стране.

Достижение поставленных целей в молочной промышленности требует времени и системного подхода. Необходимо комплексное развитие: совершенствование сельского хозяйства, укрепление животноводческой отрасли и активное стимулирование промышленного производства молочной продукции, включая сыроварение. Создание высококачественных сыров предполагает внедрение современных технологий, приобретение специализированного оборудования и обеспечение производства необходимыми компонентами. Особое значение имеет наличие достаточного объема молока – сырья, соответствующего высоким требованиям сыроделия. На протяжении долгого времени надежным партнером многих предприятий является компания ООО «Юнилайн» (входит в группу Sacco System), которая на протяжении длительного времени успешно сотрудничает как с крупными предприятиями молочной промышленности, так и с небольшими крафтовыми производствами, включая мини-сыроварни. Компания обеспечивает своих клиентов сертифицированными ингредиентами для производства молочной продукции, уделяя особое внимание качеству поставляемых материалов. Специалистам этой компании важно не только поднять свои продажи, но и добиться видимого результата и максимальной эффективности производства на каждом предприятии и в каждом случае.

Специалисты компании ООО «Юнилайн»/ Sacco System придерживаются персонального подхода к каждому партнеру и активно занимаются проведением комплексных научных исследований. В процессе своей работы они взаимодействуют с широким кругом организаций: от учебных заведений до производственных предприятий различного масштаба, включая экспериментальные цеха. К числу их заслуг можно отнести и различные профессиональные обучающие мероприятия, и семинары для специалистов молочной промышленности, они активно участвуют в подготовке кадров. Процесс внедрения инновационных технологий, базирующихся на продукции компании, осуществляется поэтапно: сначала проводятся совместные научные исследования с партнерами, затем следует тестирование в условиях экспериментального производства, и только после успешной апробации технология внедряется в основное производство.

Особого внимания заслуживают ключевые научные партнеры компании: Омский государственный университет имени П.А. Столыпина и Международный колледж сыроделия и профессиональных технологий в Барнауле. В дополнение к своей научной деятельности компания ООО «Юнилайн»/Sacco System активно развивает образовательную сферу. Организация проводит специализированные мероприятия для профессионалов отрасли и участвует в формировании кадрового потенциала молочной промышленности. Производство сыра – это искусство, где конечный результат во многом зависит от квалификации и мастерства сыровара. Профессионализм сотрудников играет столь же важную роль, как и качество используемого сырья. Хотя привлечение зарубежных специалистов может показаться решением кадрового вопроса, такой подход имеет существенные недостатки. Импортные специалисты требуют значительных финансовых затрат, что неизбежно влияет на себестоимость продукции. Кроме того, в условиях действующих санкций это становится особенно проблематичным. Не стоит забывать и о нестабильности такого решения – иностранный специалист может в любой момент прекратить работу в России, а поиск замены может занять продолжительное время. Именно поэтому ООО «Юнилайн»/Sacco System выбрало более сложный, но стратегически правильный путь – развитие собственного направления по подготовке технологических специалистов и сыроделов. Такой подход позволяет компании не только решать текущие задачи, но и создавать прочный фундамент для будущего развития отрасли.

В настоящее время российский рынок сыроделия демонстрирует стабильный рост и развитие. Особую актуальность приобретает производство высококачественных сыров, изготовленных из отборного сырья. Ключевым аспектом отрасли становится сохранение традиционных технологий и поддержание высокого уровня качества как для классических российских сортов, так и для новых разновидностей, созданных по зарубежным рецептурам. Наблюдается значимая тенденция в предпочтениях российских покупателей: всё больше потребителей отдают предпочтение натуральным, полезным сырам. Они осознанно выбирают продукцию, изготовленную из цельного молока, отказываясь от так называемых “сырных продуктов”, которые производятся с использованием заменителей основных компонентов и по упрощённой технологии, не способной обеспечить достойное качество конечного продукта.

Материалы и методы

Исследование было сосредоточено на изучении региональных рынков сыра и сырной продукции в ключевых регионах России, перспективных для производства молочной продукции. В выборку вошли: Алтайский край, Республика Татарстан, Республика Адыгея, а также Московская, Воронежская, Брянская, Омская и Белгородская области.

В работе использовались национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 52054-2023 Молоко коровье сырое, межгосударственные стандарты ГОСТ 34372-2017 «Закваски бактериальные для молочной продукции. Технические условия», ГОСТ ISO 11815-2015 «Молоко. Определение общей молокосвертывающей активности говяжьего сычужного фермента. Технические условия».

Особое внимание уделялось соблюдению требований безопасности, установленных Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 033/2013 “О безопасности молока и молочной продукции”. В процессе исследования также учитывались профессиональные рекомендации В.П. Шидловской. В работе также использовали методы микробиологического анализа - ГОСТ 32901-2014

Результаты

Исследование современного состояния сыродельной отрасли в России демонстрирует положительную динамику развития производства сыра. Формируются собственные сырные бренды, которые успешно превращаются в территориальные бренды, способствуя экономическому росту не только отдельных предприятий, но и целых регионов. Территориальный брендинг становится эффективным инструментом для продвижения местной продукции как на внутреннем, так и на международном рынках. Лидерами в развитии сыроварения являются: Алтайский край, Республика Татарстан, Республика Адыгея, а также Московская, Воронежская, Брянская, Омская и Белгородская области [1].

Сделать хороший сыр нелегко. Производство качественного сыра требует комплексного подхода и учета множества факторов. Основными из них являются: качество и безопасность сырья, наличие современного оборудования, профессионализм сыроваров, сыропригодность молока. На характеристики молока, пригодного для сыроделия, влияют: порода и возраст коров, условия содержания, состояние здоровья животных, особенности рациона, а также климатические условия региона. В случаях, когда молоко не соответствует необходимым

параметрам, применяются специальные методы улучшения его качества. Особое внимание уделяется показателю бактериальной обсемененности и составу первичной микрофлоры. Для борьбы с высокой бактериальной обсемененностью сырья эффективно использование защитных культур. Термин «защитные бактериальные закваски и закваски бактериальные концентрированные» регламентирован межгосударственным стандартом ГОСТ 34372-2017 «Закваски бактериальные для молочной продукции. Технические условия» [2]. Согласно данному ГОСТу, защитные бактериальные закваски должны: соответствовать естественной микрофлоре продукта, не влиять на органолептические свойства, подавлять патогенную микрофлору. В сыроделии применяются специальные защитные культуры серии SLB (Shelf Life Boosting), содержащие *Lactobacillus rhamnosus* и *Lactobacillus plantarum*. Эти культуры эффективно подавляют рост дрожжей, плесневых грибов, БГКП, маслянокислых бактерий. Механизм действия защитных культур основан на выработке бактериоцинов – природных антибиотических веществ, которые препятствуют развитию нежелательной микрофлоры и предотвращают такие дефекты как позднее вспучивание сыров.

Обсуждение

На мировом и российском рынках особое место занимают защитные бактериальные закваски серии Crealat SLB (Shelf Life Boosting), которые зарекомендовали себя как высокоэффективные продукты [3].

Закваски ООО «Юнилайн»/Sacco System поставляются в глубокозамороженном виде, что исключает необходимость их активации. Это существенно сокращает лаг-фазу и минимизирует риск развития нежелательной микрофлоры, позволяя защитным метаболитам вырабатываться практически мгновенно после внесения культуры в молоко.

В Сибирском регионе, особенно в Омской области, закваски Crealat активно используются на молочных предприятиях. Совместные исследования специалистов Омского ГАУ и представителей ООО «Юнилайн»/Sacco System подтвердили их эффективность в следующих аспектах:

1. Продление срока хранения молочной продукции без использования консервантов.
2. Улучшение вкусовых качеств за счет подавления нежелательной микрофлоры.
3. Предотвращение дефектов при производстве сыра (раннее и позднее вспучивание).
4. Стабилизация качества сырого молока на предприятиях и фермах.

Важно отметить, что использование защитных бактериальных заквасок является дополнительным фактором качества продукции, но не заменяет строгого соблюдения технологического процесса и санитарных норм.

В сыроделии внесение заквасочных культур является критически важным этапом производства. Ключевым параметром качества заквасок выступает видовой состав микрофлоры, определяющий их функциональные свойства и пригодность для конкретных видов сыров. Наибольшая вариативность наблюдается именно в штаммовом и видовом составе закваски. ООО «Юнилайн»/Sacco System представляет на российском рынке итальянский ассортимент заквасок высокого качества для производства различных типов сыров, ассортимент заквасок приведен на рисунке 1.

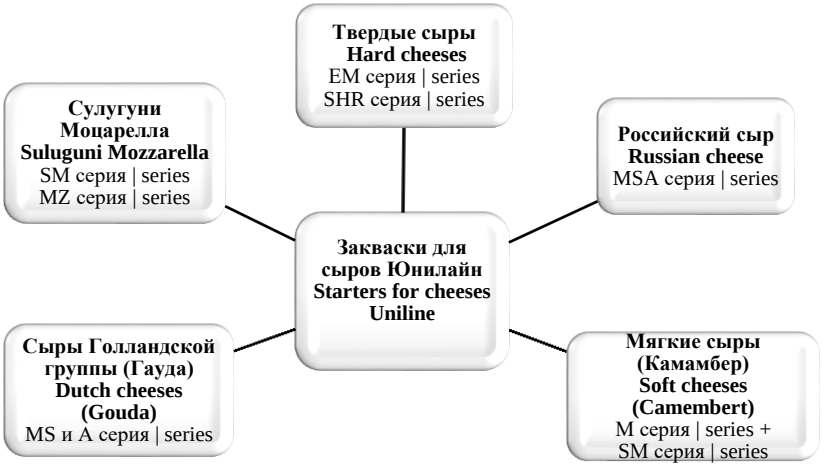


Рисунок 1. Ассортимент заквасок компании ООО «Юнилайн»/Sacco System

Figure 1. Assortment of starters from Uniline LLC/Sacco System

ООО «Юнилайн»/Sacco System предлагает на российский рынок профессиональный ассортимент заквасок глубокой заморозки для производства широкой линейки сыров. В каталоге компании представлены решения для производства полутвердых сыров российской и голландской групп: Gauda, Edam, Tilsiter, включая премиальные сорта Старая Гауда и Старый Амстердам; сыра Maasdam с применением пропионовокислых культур; твердых сыров: Gruyere, Emmental, Пармезан; мягких и рассольных сыров, включая стабильно популярную у российских потребителей Моцареллу.

Созревательные и вкусовые культуры, входящие в состав заквасок глубокой заморозки для сыров, поставляемых компанией ООО «Юнилайн»/Sacco System на российский рынок, ускоряют процесс созревания и обогащают вкусовой профиль продукта. В линейке представлены как классические штаммы (*L. helveticus, L. delbrueckii ssp. lactis, Propionibacterium freudereichii ssp. shermanii*), так и эксклюзивные уникальные штаммы, применяемые для создания элитных видов сыров с особыми вкусовыми характеристиками. В линейке заквасок компании присутствуют и культуры, применяемые для усиления процесса газообразования, что позводяет получить более ажурный рисунок. Широкий ассортимент заквасок и профессиональная работа специалистов компании ООО «Юнилайн»/Sacco System позволяет молокоперерабатывающим предприятиям-партнерам создать свой уникальный вкусовой профиль сыра - визитную карточку предприятия, наиболее узнаваемый и любимый потребителями аспект [4]

Ключевым этапом производства натуральных сыров является ферментативное свертывание молока. Традиционно для этого процесса применяют сычужный фермент, однако существуют и альтернативные молокосвертывающие ферменты. Важно отметить, что свертывание молока не является единственной функцией ферментного препарата при производстве сыра. В процессе созревания сыра происходит расщепление белковой составляющей сырной массы, которое происходит при совместном воздействии молокосвертывающего фермента и ферментов, которые продуцируются различными микроорганизмами.

При производстве полутвёрдых сыров огромное значение при формировании их вкуса, аромата и текстуры имеют видовой состав и качество микрофлоры закваски. В тоже время молокосвёртывающие ферментные препараты (МФП) играют ключевую роль в процессе коагуляции белков молока. Продолжительность процесса свёртывания и полученные структурно-механические свойства сгустка и полученного из него сырного зерна являются критически важными параметрами, которые определяют качество готового сыра.

Выбор молокосвёртывающего ферментного препарата не менее значим, чем выбор заквасочной культуры. Различия протеолитической активности МФП могут приводить к значительным изменениям текстуры и вкуса сыров. При выдборе заквасок важно учитывать их взаимодействие с используемыми молокосвёртывающими ферментными препаратами. Понимание технологических особенностей молокосвёртывающих ферментов является важным инструментом для технолога сыроваренного производства. Это знание позволяет выбрать оптимальный фермент и обеспечить высокое качество конечного продукта, учитывая взаимодействие между ферментами и заквасочными культурами.

Компания ООО «Юнилайн»/Sacco System предлагает достойный выбор натуральных ферментов Crearen, включающие: молокосвертывающие ферменты животного происхождения, лизоцим, липазы.

Ассортимент молокосвёртывающих ферментных препаратов животного происхождения, реализуемых под торговой маркой MF, включает препараты с различным соотношением в их составе химозина и пепсина, они доступны производителям сыра как в сухой, так и в жидкой форме. Использование молокосвёртывающих ферментов животного происхождения способствует созданию сыра с насыщенным вкусом, поскольку такие ферменты не только обеспечивают свёртывание молочного белка в процессе получения сгустка, но и оказывают влияние на белок в процессе созревания сыра. Ферменты серии Crearen MF L (Crearen MF L2, Crearen MF L3, Crearen MF P) представляют собой МФП животного происхождения, извлечённые из желудков телят, что позволяет сделать вывод об их натуральном происхождении, к тому же они доступны в жидкой форме. Отдельного внимания заслуживает тот факт, что препараты Crearen MF L не содержат ферментов микробного происхождения, свиного пепсина, рекомбинантного химозина и генетически модифицированных организмов (ГМО). Основные характеристики молокосвёртывающих ферментов животного происхождения торговой марки Crearen MF L представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Характеристика Crearen MF L

Table 1.

Characteristics of Crearen MF L

Наименование | Name	Состав | Composition	Активность | Activity
Crearen MF L Crearen MF L	Химозин 92%, Пепсин 8% Chymosin 92%, Pepsin 8%	220 IMCU/мл 220 IMCU/ml
Crearen MF L2 Crearen MF L2	Химозин 96%, Пепсин 4% Chymosin 96%, Pepsin 4%	580 IMCU/мл (+ 5%) 580 IMCU/ml (+ 5%)
Crearen MF L3 Crearen MF L3	Химозин 80 %, Пепсин 20 % Chymosin 80%, Pepsin 20%	220 IMCU/мл (+ 5%) 220 IMCU/ml (+ 5%)
Crearen MF P Crearen MF P	Химозин 96%, Пепсин 4% Chymosin 96%, Pepsin 4%	1000 IMCU/мл (+ 5%) 1000 IMCU/ml (+ 5%)
Crearen FPC | Crearen FPC	Химозин 100% |Chymosin 100%	2000 IMCU/мл (+ 5%) | 2000 IMCU/ml (+ 5%)
Albamax |Albamax	Химозин 100% | Chymosin 100%	1000 IMCU/мл (+ 5%) |1000 IMCU/ml (+ 5%)
Albamax | Albamax	Химозин 100% | Chymosin 100%	600 IMCU/мл (+ 5%) | 600 IMCU/ml (+ 5%)

Успешная работа предприятий-партнеров компании ООО «Юнилайн»/Sacco System требует не только гарантировано высокого качества продукции, но и своевременности поставок, особенно в условиях введения санкций в отношении России. Чтобы успешно справиться с поставленной задачей, компания осуществила оптимизацию логистической цепочки «снабжение-производство», достигая этого посредством координации и интеграции логистических процессов с маркетинговой и коммерческой сферами. В целях повышения эффективности функционального и поддерживающего комплекса логистики ООО «Юнилайн»/Sacco System также были оптимизированы логистика складирования, транспортировка в логистических системах, управление запасами и цепями поставок и администрирование логистической деятельности.

Логистическая стратегия и миссия компании ООО «Юнилайн»/Sacco System принимают во внимание определённый уровень развития логистики как внутри компании, так и за её пределами. Этот уровень основывается на использовании логистических концепций и технологий, которые применяют передовые предприятия в своей деятельности.

Заключение

Взаимодействие с компанией ООО «Юнилайн»/ Sacco System представляет собой многообещающую возможность для большинства молокоперерабатывающих предприятий, независимо от их производственных мощностей, форм собственности, уровня оснащённости и прочих индивидуальных характеристик. Копания ООО «Юнилайн»/ Sacco System специализируется на производстве широкого спектра продукции, включая защитные закваски глубокой заморозки, молокосвёртывающие ферменты и другие необходимые ингредиенты.

ООО «Юнилайн»/Sacco System зарекомендовало себя как надёжный партнёр, способствующий повышению прибыльности и рентабельности сыроваренного бизнеса. Основные преимущества сотрудничества с компанией включают: апробацию всех предлагаемых продуктов на предприятиях в России; регулярное проведение контрольных выработок; разработку индивидуальных и эксклюзивных рецептур и технологий, направленных на оптимизацию производственных затрат; своевременный сервис и техническую поддержку локальных технологов; привлечение международных специалистов при необходимости.

Одним из перспективных путей улучшения производства высококачественных и безопасных сыров в различных регионах России является:

- Создание комплексной программы, направленной на обеспечение высоких стандартов качества и безопасности молочного сырья. Это включает в себя ужесточение санитарно-гигиенических требований к производству молока на фермах и перерабатывающих предприятиях, что позволяет снизить уровень бактериального загрязнения;
- Использование «защитных культур» для уменьшения высокой бактериальной обсеменённости сырого коровьего молока и повышения его пригодности для сыроделия;
- Оптимизация вкуса и текстуры сыров за счёт тщательно подобранного состава микрофлоры закваски и её взаимодействия с молокосвёртывающими ферментами;
- Повышение квалификации персонала, занимающегося сбором, производством и контролем качества и безопасности молока и молочной продукции, что способствует более эффективному выполнению всех производственных процессов.

На сегодняшний день для успешного производства разнообразных сыров и сырной продукции ключевую роль играет задача по организации собственного производства заквасок беспересадочным методом и ферментативных препаратов с различной протеолитической активностью. Что позволяет существенно снизить себестоимость продукции, уменьшить зависимость от импортных ингредиентов, а также

повысить уровень конкурентоспособности отечественной сыродельной отрасли. Беспересадочное производство заквасок и ферментов способствует снижению затрат и укреплению независимости от зарубежных поставок, что в свою очередь способствует усилению позиций отечественных производителей на рынке.

Литература

1 Сурай, Н.М. Регионы-лидеры сыроделия: создание собственных сырных брендов и их трансформация в бренды территорий / Н.М. Сурай, А.Л. Таточенко, А.А. Терехова и др. // Сыроделие и маслоделие. 2021. № 1. С. 10-25.

2 ГОСТ 34372-2017 «Закваски бактериальные для молочной продукции. Технические условия»

3 Жданеева, Н.П. Защитные культуры "Crealat" для сохранения качества молочных продуктов / Н.П. Жданеева, Т.В. Рыбченко // Молочная промышленность. 2019. № 12. С. 44-45.

4 ЮНИЛАЙН. Официальный представитель компании SACCO SYSTEM в России [Электронный ресурс] // М., 2016–2024. URL: http://www.uniline.com.ru/ (дата обращения: 04.06.2026).

5 Скотт Р., Робинсон Р.К., Уилби Р.А. Производство сыра: научные основы и технологии. СПб.: Профессия, 2005. 464 с.

6 Карычев Р.З., Ласточкина В.А. Биозащита для продления сроков годности кисломолочных продуктов и сыров // Молочная промышленность. 2018. № 4. С. 44.

7 Гришкова А.В. Научное обоснование и практическая реализация композиций протеолитических и липолитических ферментных препаратов с заданными характеристиками для интенсификации процесса созревания сыров: дис. ... д-ра биол. наук. Барнаул, 2024. 420 с.

8 ТР ТС 033/2013 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции» (с изменениями на 20 декабря 2017 года), ред. от 15.07.2018.

9 Жданеева Н.П., Рыбченко Т.В. Применение защитных культур «Crealat» для сохранения качества молочных продуктов // Молочная промышленность. 2019. № 12. С. 62–63.

10 Свириденко Г.М., Сорокина Н.П. Защитные культуры при производстве ферментированных молочных продуктов // Переработка молока. 2019. № 6. С. 10–13.

11 Шалимов Н.С., Рыбченко Т.В., Жданеева Н.П. Технология производства мягкого рассольного сыра с использованием растительного сырья // Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. Воронеж, 2018.

12 Kanawjia S.K., Khetra Y. Cheese Technology. AgriMoon, 2016. 129 p.

13 Mileriene J., Serniene L., Henriques M., Gomes D. et al. Effect of liquid whey protein concentrate-based edible coating enriched with cinnamon carbon dioxide extract on the quality and shelf life of Eastern European curd cheese // Journal of Dairy Science. 2021. V. 104. Is. 2. P. 1504–1517.

14 Pertsevoy F.V., Rubina V.V., Oboznaya M.V. Investigation of structural and mechanical properties of soft cheese product using corn flour // Bulletin of Kharkov National Technical University of Agriculture Petro Vasilenko. Modern trends of technology and mechanization of processing and food industries. 2009. № 88. P. 223–229.

15 Рудаков О.Б., Саранов И.А., Полянский К.К. и др. Комплексный подход в контроле качества молочного жира // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение: сб. науч. ст. и докл. XI Междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 28–29 нояб. 2024 г. Воронеж: ВГУИТ, 2024. С. 405–411.

16 Саранов И.А., Рудаков О.Б., Полянский К.К. Жирнокислотный состав молочного жира коров разных пород // Переработка молока. 2024. № 5(295). С. 66–69. doi: 10.33465/2222-5455-2024-5-66-69.

17 Полянский К.К., Макаров Е.И., Макаров М.Е. Концептуальные подходы к системе качества молочной продукции на основе технологии блокчейн // Сыроделие и маслоделие. 2018. № 5. С. 28–31.

18 Sachan R.S.K., Karnwal A. Advancement in cheese production technology // Advances in Dairy Microbial Products. Woodhead Publishing, 2022. P. 191–208. doi: 0.1016/B978-0-323-85793-2.00023-0

19 Oštarić F., Proikakis S., Anagnostopoulos A.K. et al. Challenging sustainable and innovative technologies in cheese production: A review // Processes. 2022. Vol. 10. № 3. C. 529. doi: 10.3390/pr10030529

20 Myagkonosov D.S., Smykov I.T., Abramov D.V. et al. Influence of different milk-clotting enzymes on the process of producing semihard cheeses // Food systems. 2023. Vol. 6. № 1. P. 103–116. doi: 10.21323/2618-9771-2023-6-1-103-116

21 Bouroutzika E., Proikakis S., Anagnostopoulos A.K. et al. Proteomics analysis in dairy products: cheese – a review // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. № 16. P. 7622. doi: 10.3390/app11167622

References

1 Surai N.M., Tatochenko A.L., Terekhova A.A. et al. Leading regions of cheese-making: creating own cheese brands and transforming them into territorial brands. Cheesemaking and Buttermaking. 2021. no. 1. pp. 10–25. (in Russian)

2 GOST 34372–2017. Bacterial starter cultures for dairy products. Technical specifications. (in Russian)

3 Zhdaneeva N.P., Rybchenko T.V. Protective cultures 'Crealat' for preserving the quality of dairy products. Dairy Industry. 2019. no. 12. pp. 44–45. (in Russian)

4 UNILINE. Official representative of SACCO SYSTEM in Russia [Electronic resource]. M., 2016–2024. URL: http://www.uniline.com.ru/ (accessed: 04.06.2026).

5 Scott R., Robinson R.K., Wilby R.A. Cheese production: scientific foundations and technologies. St. Petersburg: Profession, 2005. 464 p. (in Russian)

6 Karychev R.Z., Lastochkina V.A. Bioprotection to extend shelf life of fermented milk products and cheeses. Dairy Industry. 2018. no. 4. p. 44. (in Russian)

7 Grishkova A.V. Scientific substantiation and implementation of proteolytic and lipolytic enzyme compositions with specified characteristics for cheese ripening intensification. Doctoral dissertation. Barnaul, 2024. 420 p. (in Russian)

8 TR CU 033/2013. Technical Regulation of the Customs Union 'On Safety of Milk and Dairy Products' (ed. of 15.07.2018). (in Russian)

9 Zhdaneeva N.P., Rybchenko T.V. Use of 'Crealat' protective cultures to maintain quality of dairy products. Dairy Industry. 2019. no. 12. pp. 62–63. (in Russian)

10 Sviridenko G.M., Sorokina N.P. Protective cultures in fermented milk product manufacturing. Milk Processing. 2019. no. 6. pp. 10–13. (in Russian)

11 Shalimov N.S., Rybchenko T.V., Zhdaneeva N.P. Technology of soft brined cheese production using plant raw materials. In: Innovative technologies in the food industry: science, education and production. Proc. of the V Int. Sci.-Pract. Conf. Voronezh, 2018. (in Russian)

12 Kanawjia S.K., Khetra Y. Cheese Technology. AgriMoon, 2016. 129 p.

13 Mileriene J., Serniene L., Henriques M., Gomes D. et al. Effect of liquid whey protein concentrate-based edible coating enriched with cinnamon CO2 extract on quality and shelf life of Eastern European curd cheese. Journal of Dairy Science. 2021. vol. 104. no. 2. pp. 1504–1517.

14 Pertsevoy F.V., Rubina V.V., Oboznaya M.V. Investigation of structural and mechanical properties of soft cheese product using corn flour. Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture Petro Vasilenko. 2009. no. 88. pp. 223–229. (in Russian)

15 Rudakov O.B., Saranov I.A., Polyansky K.K. et al. Integrated approach to the quality control of milk fat. In: Food Security: Scientific, Personnel and Information Support. Proc. of the XI Int. Sci.-Pract. Conf. Voronezh, Nov. 28–29, 2024. Voronezh: VSUET, 2024. pp. 405–411. (in Russian)

16 Saranov I.A., Rudakov O.B., Polyansky K.K. Fatty acid composition of milk fat from different cow breeds. Milk Processing. 2024. no. 5(295). pp. 66–69. doi: 10.33465/2222-5455-2024-5-66-69. EDN PEMCSS. (in Russian)

17 Polyansky K.K., Makarov E.I., Makarov M.E. Conceptual approaches to dairy quality systems based on blockchain technology. Cheesemaking and Buttermaking. 2018. no. 5. pp. 28–31. (in Russian)

18 Sachan R.S.K., Karnwal A. Advancement in cheese production technology. In: Advances in Dairy Microbial Products. Woodhead Publishing, 2022. pp. 191–208. doi: 10.1016/B978-0-323-85793-2.00023-0

19 Oštarić F., Proikakis S., Anagnostopoulos A.K. et al. Challenging sustainable and innovative technologies in cheese production: A review. Processes. 2022. vol. 10. no. 3. p. 529. doi: 10.3390/pr10030529

20 Myagkonosov D.S., Smykov I.T., Abramov D.V. et al. Influence of various milk-clotting enzymes on semihard cheese production. Food Systems. 2023. vol. 6. no. 1. pp. 103–116. doi: 10.21323/2618-9771-2023-6-1-103-116

21 Bouroutzika E., Proikakis S., Anagnostopoulos A.K. et al. Proteomics analysis in dairy products: cheese – a review. Applied Sciences. 2021. vol. 11. no. 16. p. 7622. doi: 10.3390/app11167622

Сведения об авторах

Татьяна В. Рыбченко 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), tv.rybchenko@omgau.org
https://orcid.org/0000-0003-2614-2309

Сергей А. Коновалов 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), sa.konovalov@omgau.org
https://orcid.org/0000-0003-3537-8081

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

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/0000-0002-8817-1466

Information about authors

Tatyana V. Rybchenko Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, food and food biotechnology department, Omsk State Agrarian University named after. P.A. Stolypin, Institutskaya square, 1, Omsk, 644008, Russia, tv.rybchenko@omgau.org
https://orcid.org/0000-0003-2614-2309

Sergey A. Konovalov Cand. Sci. (Engin.), assistant 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

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/0000-0002-9726-9262

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, mto.vrn@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8817-1466

Вклад авторов

обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент, выполнил расчёты

Contribution

proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 03/02/2025	**После редакции** 24/02/2025	**Принята в печать** 10/03/2025

Received 03/02/2025	**Accepted in revised** 24/02/2025	**Accepted** 10/03/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-157-167 Обзорная статья/Review article
УДК 636.085.13 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Использование защищенных белковых добавок в кормлении коров: цели применения, влияние на физиологические показатели животных и экономическую эффективность производства молока (обзор)

Наталья А. Перова [1] nataliy3103@ya.ru 0009-0001-1451-9255
Владислав Н. Калаев [1] dr_huixs@mail.ru 0000-0002-4247-4509
Оксана Ю. Мальцева [2] ksenia2002@list.ru 0000-0002-3815-123X
Инна В. Новикова [2] noviv@list.ru 0000-0002-2360-5892

1 Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1, г. Воронеж, 394018, Россиия
2 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Введение защищённых белковых добавок в рационы высокопродуктивных коров является одной из современных стратегий повышения эффективности животноводства. Эти добавки представляют собой белки, защищённые от протеолиза в рубце и поступающие непосредственно в тонкий отдел кишечника, что способствует их более полному усвоению и повышению продуктивности животных. В данной обзорной статье рассмотрены основные механизмы действия защищённых белков, их биологические эффекты, а также особенности использования добавок на основе соевого и подсолнечного сырья. Анализ литературных данных показывает, что включение данных добавок в корм способствует увеличению продуктивности коров: улучшает показатели молочной продуктивности, положительно влияет на состав молока и способствует поддержанию физиологического состояния животных. Кроме того, защищённые белковые добавки позволяют повысить усвояемость аминокислот, снизить уровень потерь протеина, оптимизировать затраты на кормление и обеспечить стабильный уровень производства молока даже в условиях высоких нагрузок. В статье обсуждаются сравнительные характеристики различных видов защищённого белка, их эффективность и экономическая целесообразность применения в кормлении. Проанализированы технологии производства защищённых белков, выявлены ключевые преимущества различных методов защиты белка от разрушения в рубце, включая термическую обработку, химическую модификацию, инкапсуляцию и экструзию. Рассмотрены перспективы дальнейшего внедрения указанных добавок в молочное животноводство с учётом их влияния на здоровье животных, качество продукции и необходимость уточнения оптимальных дозировок. Особое внимание уделено экологическим аспектам, таким как снижение выбросов азота благодаря оптимизации протеинового обмена. Сделаны выводы о значении защищённых белковых добавок для повышения продуктивности высокопродуктивных коров и оптимизации их кормления, что способствует устойчивому, высокоэффективному и экологически безопасному производству молока на современном уровне сельского хозяйства.

Ключевые слова: защищенные белки, кормление коров, молочная продуктивность, соевый белок, подсолнечный белок, биологическая доступность.

Use of protected protein supplements in cow feeding: purposes of application, impact on physiological parameters of animals and economic efficiency of milk production (review)

Natalia A. Perovas [1] nataliy3103@ya.ru 0009-0001-1451-9255
Vladislav N. Kalaev [1] dr_huixs@mail.ru 0000-0002-4247-4509
Oksana Yu. Maltseva [2] ksenia2002@list.ru 0000-0002-3815-123X
Inna V. Novikova [2] noviv@list.ru 0000-0002-2360-5892

1 Voronezh State University, Uniersiteskaya Sq., 1 Voronezh, 394018, Russia
2 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The introduction of protected protein supplements into the diets of high-yielding cows is one of the modern strategies for enhancing livestock efficiency. These supplements consist of proteins protected from degradation in the rumen and delivered directly to the small intestine, promoting their more complete absorption and increasing animal productivity. This review article examines the primary mechanisms of action of protected proteins, their biological effects, and the specific features of using supplements derived from soybean and sunflower raw materials. An analysis of literary data demonstrates that incorporating these supplements into feed increases cow productivity, improves milk production metrics, positively affects milk composition, and supports the physiological condition of the animals. Furthermore, protected protein supplements enhance amino acid digestibility, reduce protein losses, optimize feeding costs, and ensure a stable milk production level even under high-performance demands. The article discusses the comparative characteristics of different types of protected proteins, their effectiveness, and the economic feasibility of their use in feeding. An analysis of the production technologies for protected proteins is conducted, identifying the key advantages of various methods for protecting protein from rumen degradation, including thermal processing, chemical modification, encapsulation, and extrusion. The prospects for further integrating these supplements into dairy farming are explored, considering their impact on animal health, product quality, and the need to refine optimal dosages. Particular attention is given to environmental aspects, such as reducing nitrogen emissions through optimized protein metabolism. Conclusions are drawn regarding the significance of protected protein supplements in enhancing the productivity of high-yielding cows and optimizing their feeding, contributing to sustainable, highly efficient, and environmentally safe milk production at the modern agricultural level.

Keywords: protected proteins, cow feeding, milk productivity, soybean protein, sunflower protein, bioavailability.

Для цитирования
Перова Н.А., Калаев В.Н., Мальцева О.Ю., Новикова И.В. Использование защищенных белковых добавок в кормлении коров: цели применения, влияние на физиологические показатели животных и экономическую эффективность производства молока (обзор) // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 157–167. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-157-167

For citation
Perova N.A., Kalaev V.N., Maltseva O.Y., Novikova I.V. Use of protected protein supplements in cow feeding: purposes of application, impact on physiological parameters of animals and economic efficiency of milk production (review). Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 157–167. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-157-167

© 2025, Перова Н.А. и др. / Perova N.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Современное животноводство предъявляет повышенные требования к рациону кормления высокопродуктивных коров [1]. Одним из значимых направлений является применение защищенных белков, которые позволяют улучшить усвоение питательных веществ и повысить продуктивность животных. Однако в настоящее время существует множество различных видов защищенных белковых добавок, отличающихся по составу, способу защиты и биологической эффективности. Возникает необходимость в систематическом анализе их влияния на продуктивность животных и выявлении наиболее эффективных решений для кормления.

Цель – обзор существующих исследований по использованию защищенных белковых добавок на основе подсолнечного и соевого сырья, анализ их влияния на продуктивность высокопродуктивных коров и оценка эффективности их применения.

Определение и основные характеристики защищенных белков

Защищенные белки представляют собой специализированные кормовые добавки, разработанные для улучшения питания жвачных животных, таких как коровы. Это белки, которые подвергаются обработке с целью защиты от микробного распада в рубце – первом отделе желудка жвачных, где происходит ферментация корма под действием микроорганизмов. Основная задача защиты белков – обеспечить их прохождение через рубец в неизмененном виде и доставку в тонкий кишечник, где они могут быть расщеплены ферментами до аминокислот и эффективно усвоены организмом животного. Такой подход позволяет повысить биологическую доступность белка, что особенно важно для высокопродуктивных коров, чьи потребности в питательных веществах значительно возрастают в периоды интенсивной лактации [2].

В обычных условиях значительная часть белка из традиционных кормов (например, соевого или подсолнечного шрота) в рубце расщепляется микроорганизмами до аммиака. Этот аммиак затем используется для синтеза микробного белка, который частично покрывает потребности животного. Однако для высокопродуктивных коров, производящих более 30–40 литров молока в день, микробный белок часто не обеспечивает достаточного количества незаменимых аминокислот, таких как лизин и метионин. Защищенные белки решают эту проблему, обеспечивая прямую доставку высококачественного белка в тонкий кишечник, минуя потери в рубце.

Виды защищенных белков

Существует несколько основных методов защиты белков, каждый из которых имеет свои особенности, преимущества и недостатки:

1. Термическая обработка. Этот метод заключается в нагревании белкового сырья до определенной температуры, что приводит к денатурации белка и снижению его растворимости в рубце. Пример: соевый шрот подвергается контролируемому нагреву до 110–120 °C в течение 20–30 минут, что делает его менее доступным для микробов, но сохраняет усвояемость в кишечнике. Преимущества включают простоту технологии и низкую стоимость, а недостатки – риск переобработки, которая может снизить биологическую ценность белка [3].

2. Химическая модификация. Используются химические агенты, такие как формальдегид, танины или органические кислоты, которые связываются с белком, уменьшая его растворимость в рубце. Например, обработка соевого шрота формальдегидом (0,3–0,5% от массы) позволяет защитить до 70–80% белка от распада. Этот метод эффективен, но требует строгого контроля дозировки во избежание токсичности [4].

3. Инкапсуляция. Белок покрывается защитным слоем (например, жирами, полимерами или углеводами), который устойчив к действию ферментов рубца, но растворяется в кислой среде тонкого кишечника. Пример: гранулы подсолнечного шрота, покрытые гидрогенизированным жиром, обеспечивают защиту белка на уровне 60–70%. Преимущество – высокая точность доставки, недостаток – более высокая стоимость производства [5].

Все перечисленные методы идентичны по результату и могут быть применимы для различного сырья в целях защиты белка от расщепления в рубце и обеспечения его полноценного усвоения в кишечнике [6].

Источники сырья для производства защищенных белков

Для производства защищенных белков используются различные растительные материалы, наиболее популярными из которых являются:

Соевый шрот. Один из самых распространенных источников благодаря высокому содержанию белка (44–48%) и сбалансированному аминокислотному профилю. Особенно богат лизином (около 6% от общего белка) и метионином (1,3–1,5%), что делает его идеальным для высокопродуктивных коров [7].

Подсолнечный шрот. Содержит 36–40% белка и является экономически выгодной альтернативой сое. Однако его аминокислотный профиль менее сбалансирован: ниже содержание лизина (около 3,5%), но выше серосодержащих аминокислот (цистеин и метионин – до 2,5% в сумме). Наличие оболочек в подсолнечном шроте может усложнять процесс защиты [8].

Рапсовый шрот. Содержит 34–38% белка и используется реже из-за присутствия антипитательных веществ (глюкозинолатов), которые требуют дополнительной обработки. Однако при правильной защите он может быть эффективным [9].

Технологии производства защищенных белков

Технологии производства защищенных белков постоянно совершенствуются, чтобы повысить их эффективность и снизить затраты. Рассмотрим несколько примеров:

1. Метод реакции Майяра. Разработанный Виновски (1987), этот метод включает смешивание шрота масличных культур (например, соевого) с редуцирующими сахарами (глюкозой или фруктозой) и нагрев до 90–100 °C. В результате реакции Майяра образуются устойчивые комплексы, которые защищают белок от микробного распада. Уровень защиты достигает 65–75%, при этом аминокислоты остаются доступными в кишечнике. Но важно отметить, что процесс реакции Майяра может также приводить к образованию побочных продуктов, таких как меланоидины, что может снизить биологическую ценность некоторых аминокислот [10].

2. Экструзия. Процесс пропускания сырья через экструдер под высоким давлением и температурой (130–150 °C) изменяет структуру белка, делая его устойчивым к действию ферментов рубца. Пример: экструдированный соевый шрот увеличивает долю нерасщепляемого в рубце белка (RUP) с 30% до 60%. Стоит отметить, что температурные режимы (130–150 °C) и продолжительность обработки могут оказывать влияние на конечный результат [11].

3. Гранулирование с покрытием. Подсолнечный или соевый шрот гранулируется и покрывается слоем жира или полимера. Например, использование пальмового жира повышает защиту белка до 70% и улучшает его усвояемость. Эффективность такого метода может зависеть от типа покрытия и его растворимости, а также от других факторов, таких как тип корма и кормление животных [12].

Для лучшего понимания характеристик защищенных белков приведем таблицу с основными параметрами различных видов сырья и методов защиты (таблица 1):

Таблица 1.

Основные параметры различных видов сырья для производства защищенных белковых добавок и методов защиты

Table 1.

Key parameters of different types of raw materials and protection methods

Источник сырья Raw material source	Содержание белка (%) Protein content (%)	Основные аминокислоты Essential amino acids	Метод защиты Protection method	Доля RUP (%) Share of RUP (%)	Преимущества Advantages	Недостатки Disadvantages
Соевый шрот [по 13] Soybean meal [by 13]	44–48	Лизин (6%), Метионин (1,5%) Lysine (6%), Methionine (1.5%)	Термическая Thermal	55–65	Высокая биодоступность High bioavailability	Высокая стоимость High cost
Соевый шрот [по 13] Soybean meal [by 13]	44–48	Лизин (6%), Метионин (1,5%) Lysine (6%), Methionine (1.5%)	Химическая Chemical	70–80	Высокая эффективность High efficacy	Риск токсичности Risk of toxicity
Подсолнечный шрот [по 14] Sunflower meal [by 14]	36–40	Лизин (3,5%), Серосодержащие (2,5%) Lysine (3.5%), Sulfur (2.5%)	Инкапсуляция Encapsulation	60–70	Низкая стоимость Low cost	Меньше лизина Less lysine
Рапсовый шрот [по 15] Rapeseed meal [by 15]	34–38	Лизин (5%), Метионин (2%) Lysine (5%), Methionine (2%)	Экструзия Extrusion	50–60	Доступность Availability	Антипитательные вещества Anti-nutrients

Примечание: RUP (Rumen Undegradable Protein) – доля белка, нерасщепляемого в рубце

Note: RUP (Rumen Undegradable Protein) is the proportion of protein that is not degraded in the rumen

Сравнение эффективности защищенных белков из соевого и подсолнечного сырья в кормлении высокопродуктивных коров показывает различия в их воздействии на продуктивность и экономическую целесообразность.

Соевый шрот. Благодаря высокому содержанию лизина и метионина, защищенный соевый шрот обеспечивает прирост молочной продуктивности на 1–3 кг в день у коров с удоем более 30 литров. Например, исследование Smith et al. (2015) [16] показало, что добавление термически обработанного соевого шрота (доля белка, нерасщепляемого в рубце – 65%) в рацион увеличило содержание белка в молоке с 3,2 до 3,5%. Однако стоимость сои выше, что может ограничивать ее использование в некоторых хозяйствах.

Подсолнечный шрот. Защищенный подсолнечный шрот дает прирост удоя на 0,5–2 кг в день, что чуть ниже, чем у сои, но его экономическая выгода очевидна в регионах, где подсолнечник является основной культурой. Например, при использовании инкапсулированного подсолнечного шрота (доля белка, нерасщепляемого в рубце, – 60%) наблюдалось улучшение роста молодняка на 10–15% по сравнению с контрольной группой (Johnson, 2018) [17]. Низкое содержание лизина компенсируется добавлением синтетических аминокислот, если это необходимо.

Для лучшего понимания эффективности защищенных белков из различного сырья приведем таблицу с основными показателями эффективности соевого и подсолнечного шротов (таблица 2):

Таблица 2.

Сравнительная таблица эффективности соевого и подсолнечного шротов

Table 2.

Comparative table of effectiveness

Показатель Indicator	Соевый шрот Soybean meal	Подсолнечный шрот Sunflower meal
Прирост удоя (кг/день) | Increase in milk yield (kg/day)	1–3 [11]	0,5–2 [12]
Содержание белка в молоке (%) | Milk protein content (%)	+0,2–0,3 [18]	+0,1–0,2 [19]
Стоимость (условные единицы/т) | Cost (units/t)	400–500 [20]	250–300 [20]
Биодоступность аминокислот | Amino acid bioavailability	Высокая [18] | High	Средняя [19] | Medium
Экономическая эффективность | Economic efficiency	Высокая при больших удоях High for high yields	Высокая при ограниченном бюджете High for limited budget

Для чего делают защищенные белки?

В современном животноводстве, особенно при содержании высокопродуктивных коров, правильное питание играет ключевую роль в обеспечении их здоровья и максимальной продуктивности. Одним из важных элементов рациона таких животных являются защищенные белки [21]. Но для чего их делают и почему они так важны?

Высокопродуктивные коровы, дающие более 30–40 литров молока в день, имеют повышенные потребности в белке, особенно в незаменимых аминокислотах, таких как лизин и метионин. В обычном рационе значительная часть белка из кормов (например, соевого или подсолнечного шрота) расщепляется в рубце – первом отделе желудка жвачных животных – под действием микроорганизмов. Этот процесс приводит к образованию аммиака, который затем используется для синтеза микробного белка [22]. Однако микробный белок не всегда может полностью удовлетворить потребности высокопродуктивных животных. Защищенные белки разработаны так, чтобы пройти через рубец в неизмененном виде и попасть в тонкий кишечник, где они расщепляются и усваиваются в виде аминокислот. Это позволяет обеспечить коров необходимыми питательными веществами более эффективно.

Основные цели использования защищенных белков

Использование защищенных белков в рационе высокопродуктивных коров преследует несколько ключевых целей, которые можно разделить на два основных направления: улучшение физиологических показателей животных и повышение экономической эффективности производства молока.

1. Улучшение физиологических показателей животных.

Защищенные белки оказывают значительное влияние на обмен веществ, перевариваемость, иммунитет, показатели воспроизводства и продуктивность животных.

– Обмен веществ и перевариваемость питательных веществ корма.

В обычных условиях белок из корма подвергается микробному разложению в рубце, что приводит к образованию аммиака. Защищенные белки проходят через рубец

в неизменном виде, что гарантирует их доставку в тонкий кишечник, где они расщепляются до аминокислот с помощью ферментов, таких как трипсин и химотрипсин. Эти аминокислоты затем всасываются в кровь и используются организмом для синтеза белка и других физиологических процессов. Этот механизм гарантирует более качественное и сбалансированное питание, чем традиционные белки, усваивающиеся в рубце [23]. Защищенные белки эффективно усваиваются в тонком кишечнике, минуя рубец, где происходит значительная потеря питательных веществ. Это позволяет животным получать больше необходимых аминокислот, что улучшает обмен веществ.

Помимо этого, защищенный белок способен влиять на микробиоту рубца. Снижение количества белка, доступного для микробов, способствует улучшению ферментации и переваривания клетчатки. Это помогает поддерживать оптимальный баланс микробных популяций в рубце, что в свою очередь улучшает пищеварение и усвоение других питательных веществ [24].

В исследовании «Влияние новых рецептов комбикормов на продуктивность скота», Кадырова Ч.Т., Конурбаева А. изучали влияние экструдирования кукурузы и ячменя с добавлением соевого шрота в рацион коров. Полученные результаты показали, что такая обработка улучшает питательность и переваримость корма, что положительно сказывается на молочной продуктивности животных [24].

В исследовании, проведенном в ООО "Суворово" (Краснодарский край), изучалось влияние кормовой добавки "Белкофф" на продуктивность молочных коров. При включении кормовой добавки "Белкофф" в рацион коров с продуктивностью около 5000 кг молока в год и дозировке 1 кг на голову в сутки наблюдалось увеличение суточного удоя молока на 15–18%, рост содержания молочного белка на 12%, снижение затрат кормов на 20%. Эти результаты подтверждают эффективность использования защищенных белков для повышения продуктивности и улучшения обмена веществ у молочных коров [25].

– Иммунитет и показатели воспроизводства.

Защищенные белки предотвращают дефицит аминокислот, который может спровоцировать метаболические нарушения, такие как кетоз или ацидоз. Стабильное снабжение питательными веществами поддерживает нормальный обмен веществ и уменьшает физиологический стресс, что особенно актуально для коров с высокой молочной продуктивностью.

Аминокислоты, такие как глутамин и аргинин, поступающие из защищенных белков, играют ключевую роль в работе иммунной системы [23]. Это снижает восприимчивость коров к инфекционным заболеваниям и улучшает их общее состояние здоровья, что важно для длительного поддержания продуктивности.

Достаточное поступление аминокислот также поддерживает гормональный баланс и репродуктивное здоровье коров. Это выражается в повышении оплодотворяемости и сокращении интервала между отелами, что позволяет сохранять стабильную продуктивность стада и снижать потери, связанные с задержками в воспроизводстве [26].

В исследовании Кузнецова С. отмечается, что внедрение в корма защищенных белков в долевом соотношении 35–38% от всей белковой массы существенно повышает содержание белка в молоке коров, положительно сказывается на их здоровье и продуктивности [27].

– Продуктивность.

За счет более полного усвоения аминокислот из защищенных белков коровы получают дополнительные строительные материалы для синтеза молока.

Испытания в хозяйстве «Дружба» (Краснодарский край) показали, что включение защищенного белка в рацион повышает продуктивность коров на 18%, а содержание белка в молоке – на 12%. Исследования на фермах «Красного Востока-Агро» в Татарстане показали рост удоя на корову 4 кг/сут [26].

Таким образом, перечисленные выше исследования подтверждают, что использование защищенных белковых добавок в рационе высокопродуктивных коров приводит к ряду биологических эффектов, которые положительно сказываются на их здоровье и продуктивности. Эти эффекты связаны с улучшенным усвоением аминокислот и более эффективным использованием белка в организме животных, что особенно важно в условиях интенсивной лактации. Эти биологические эффекты делают защищенные белковые добавки важным элементом рациона высокопродуктивных коров, обеспечивая не только рост продуктивности, но и устойчивое здоровье животных в течение всего периода лактации.

2. Повышение экономической эффективности производства молока.

Защищенные белки оказывают влияние на качество продукции, оптимизацию кормления и снижение затрат, а также способствуют экологической устойчивости.

– Качество молока.

Защищенные белки не только увеличивают количество молока, но и улучшают его качественный состав.

Улучшенное обеспечение животных аминокислотами способствует синтезу белков и молочного жира. Особенно заметный эффект наблюдается при применении соевых защищенных белков, которые повышают жирность молока, что важно для производства высококачественных молочных продуктов, таких как сыр или сливки. Также добавление защищенного соевого шрота может повысить содержание белка в молоке с 3,2% до 3,5%, что улучшает его технологические свойства и рыночную стоимость.

Например, было показано, что применение защищенного белка из различного сырья в кормлении коров приводит к повышению содержания белка в молоке: при использовании защищенного соевого шрота – на 0,2–0,3%, а при использовании подсолнечного шрота – на 0,1–0,2%. Такой прирост улучшает питательную ценность молока и его пригодность для переработки [28].

В исследовании, проведенном Ноттингемским университетом, 44 высокопродуктивных коровы голштино-фризской породы получали рационы с различными источниками белка: соевый шрот с дозировкой 2,5 кг на голову в день и добавку NovaPro (смесь защищенных белков) с дозировкой 3,0 кг на голову в день. Результаты показали, что кормление NovaPro способствовало увеличению суточного надоя молока на 1,7 кг на корову, повышению содержания жира и белка в молоке, увеличению потребления сухого вещества на 1,2 кг в день.

Кроме того, использование NovaPro способствовало снижению уровня мочевины в молоке, что положительно сказывается на его качестве [29].

Эти данные подтверждают, что использование защищенных белков, способствует улучшению качества молока, повышая содержание белков и жиров в молоке, снижая уровень мочевины.

– Оптимизация кормления, снижение затрат и соответствие экологической устойчивости.

Традиционные белки, расщепляясь в рубце, теряют часть азота в виде аммиака, который выводится через мочу, снижая эффективность корма и увеличивая экологическую нагрузку. Защищенные белки минимизируют эти потери, поскольку они усваиваются в тонком кишечнике. Это снижает выбросы азота в окружающую среду и делает кормление более экономичным и экологически безопасным [23].

За счет высокой усвояемости защищенных белков снижается потребность в традиционных добавках, которые теряются в рубце. Это позволяет уменьшить затраты на кормление. Например, использование защищенного белка Полиамин способствует повышению молочной продуктивности коров и сокращению затрат на концентрированные корма [30].

Использование защищенных белков снижает выбросы азота в окружающую среду, поскольку минимизирует потери белка в рубце и их превращение в аммиак. Это делает молочное производство более экологически устойчивым и помогает соответствовать современным стандартам устойчивого развития.

В исследовании, проведенном компанией Kemin, было установлено, что включение в рацион жвачных животных защищенных аминокислот, таких как метионин и лизин, приводит к снижению выбросов азота (N) и оксида азота (N_2O) в атмосферу. Это достигается за счет повышения эффективности использования кормов и снижения их избыточного потребления. Кроме того, оптимизация кормления позволяет снизить углеродный след производства молока и мяса, что делает отрасль более экологически устойчивой. [31].

Внедрение защищенных белков в рацион высокопродуктивных коров способствует не только улучшению физиологических показателей животных, но и позволяет повысить экономическую эффективность производства молока за счет улучшения качества продукции, оптимизации кормления, снижения затрат на кормление и соответствие экологической устойчивости.

Где используются защищенные белковые добавки и почему

Защищенные белковые добавки находят широкое применение в молочном животноводстве, особенно в хозяйствах, ориентированных на высокую продуктивность коров. Их использование обусловлено как практическими, так и экономическими факторами, которые помогают оптимизировать кормление и повысить рентабельность производства [32].

Первое – молочные фермы с высокопродуктивными коровами. На фермах, где коровы дают 30–40 литров молока в день и более, потребность в белке и незаменимых аминокислотах значительно возрастает. Защищенные белки компенсируют недостаток микробного белка, обеспечивая животных необходимыми питательными веществами для поддержания высоких удоев, что делает их незаменимыми в таких условиях [33].

Второе – регионы с ограниченным доступом к качественным кормам. В местностях, где соевый шрот дорог или труднодоступен, защищенные добавки из подсолнечного шрота становятся экономически выгодной альтернативой. Это особенно актуально для стран, где подсолнечник – основная масличная культура, например, в России или на Украине, что позволяет снизить затраты на кормление без потери продуктивности [34].

Третье – фермы, стремящиеся к экологической устойчивости, или фермы, использующие интенсивные технологии кормления. Защищенные белки уменьшают потери белка в рубце, снижая выделение аммиака и мочевины, а значит, и выбросы азота в окружающую среду. Это делает их привлекательными для хозяйств, которые ориентированы на устойчивое развитие и соответствие экологическим стандартам, минимизируя негативное воздействие на природу. В системах интенсивного кормления, где требуется максимальная эффективность использования кормовых ресурсов, защищенные белки сокращают общее потребление белковых добавок за счет их высокой эффективности [35].

Четвертое – хозяйства, ориентированные на улучшение качества молока. Повышение содержания белка и жира в молоке благодаря защищенным белкам важно для производителей, поставляющих молоко на переработку. Улучшенный состав молока позволяет повысить его рыночную стоимость и конкурентоспособность, что особенно выгодно для ферм, работающих с крупными переработчиками [36].

Заключение

Проведенное исследование показало, что защищенные белковые добавки на основе соевого и подсолнечного шрота эффективно повышают продуктивность высокопродуктивных коров. Защищенные белки обеспечивают доставку аминокислот в тонкий кишечник, предотвращая его распад в рубце, что увеличивает содержание белка в молоке на 0,2–0,3% при использовании сои [16] и на 0,1–0,2% при применении подсолнечника. Прирост удоя составляет 1–3 кг/день для соевого шрота и 0,5–2 кг/день для подсолнечного, как показало исследование Johnson (2018) [17] на примере инкапсулированного шрота. Соевый шрот превосходит подсолнечный по биодоступности аминокислот, тогда как подсолнечный шрот выгоден экономически. Методы защиты повышают долю белка, не расщепляемого в рубце, до 50–80%, улучшая усвояемость. Например, Кадырова и Конурбаева (2020) [24] подтвердили рост продуктивности при экструзии.

Защищенные белки из сои и подсолнечника повышают удой и качество молока, улучшают здоровье коров и снижают затраты на кормление. Соевый шрот эффективен для высокой продуктивности, подсолнечный – для экономии, что делает их применение перспективным в животноводстве.

Рисунок 1. Схема влияния защищенных белков на физиологические показатели животных и экономическую эффективность производства молока

Figure 1. The influence of protected proteins on physiological parameters of animals and economic efficiency of milk production

В результате проведенного исследования было подтверждено, что использование защищенных белков из подсолнечника и сои в кормлении высокопродуктивных коров способствует улучшению молочной продуктивности и усвояемости питательных веществ. Механизмы их воздействия включают улучшение переваримости кормов и увеличение синтеза молока. Полученные данные согласуются с результатами научных исследований и подчеркивают важность выбора источников белка, учитывая физиологические особенности животных и стадии лактации. Для дальнейшего повышения эффективности кормления необходимо продолжить исследования с целью уточнения оптимальных дозировок и режима применения этих добавок в разных условиях.

Для лучшего понимания влияния защищенных белков на животных нами разработана схема влияния защищенных белков на физиологические показатели животных и экономическую эффективность производства молока (рисунок 1).

Литература

1 Волгин В.И., Романенко Л.В., Прохоренко П.Н., Федорова З.Л., Корочкина Е.А. Полноценное кормление молочного скота – основа реализации генетического потенциала продуктивности. Москва: АгроНаука, 2021. 256 с.

2 Харитонов Е.Л., Агафонов В.И., Харитонов Л.В. Организация научно-обоснованного кормления высокопродуктивного молочного скота: практические рекомендации. Боровск: АгроКонсалт, 2020. 112 с.

3 Sekali, M., Mlambo, V., Marume, U., & Mathuthu, M. Replacement of soybean meal with heat-treated canola meal in finishing diets of meatmaster lambs: physiological and meat quality responses //Animals. 2020. Vol. 10. №. 10. P. 1735.

4 Bhatt R. S., Sahoo A. Effect of adding formaldehyde treated protein alone and with Saccharomyces cerevisiae in diet on plane of nutrition, growth performance, rumen fermentation and microbial protein synthesis of finisher lambs //Small Ruminant Research. – 2019. – Т. 171. – С. 42-48. doi: 10.1016/j.smallrumres.2018.12.005

5 Garba A.M., Fırıncıoğlu S.Y. Role of Encapsulation Nutrients for Improvement of Ruminant Performance and Ruminant Derived–Products // Eurasian Journal of Agricultural Research. 2023. Vol. 7. № 2. P. 109–126.

6 Lata M., Mondal B.C. Impact of Bypass protein supplementation in ruminant animals // Just Agriculture: Multi disciplinary newsletter. 2021. Vol. 2. № 1.

7 Giallongo F., Oh J., Frederick T., Isenberg B. и др. Extruded soybean meal increased feed intake and milk production in dairy cows // Journal of Dairy Science. 2015. Vol. 98. № 9. P. 6471–6485. doi: 10.3168/jds.2015-9786

8 Харитонов Е.Л., Девяткин В.А. Подсолнечный шрот в кормлении молочных коров: питательная ценность и особенности // Молочное и мясное скотоводство. 2016. № 4. С. 18–22.

9 Huuskonen A., Tuori M. Rapeseed meal in ruminant diets: composition and processing // Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science. 2010. Vol. 42. № 5. P. 307–316.

10 Naik R.R., Wang Y., Selomulya C. Improvements of plant protein functionalities by Maillard conjugation and Maillard reaction products // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022. Vol. 62. № 25. P. 7036–7061.

11 Berenti A.M., Yari M., Khalaji S. и др. Effect of extrusion of soybean meal on feed spectroscopic molecular structures and on performance, blood metabolites and nutrient digestibility of Holstein dairy calves // Animal Bioscience. 2020. Vol. 34. № 5. pp. 855.

12 Haro A., Gonzalez J., de Evan T. и др. Effects of feeding rumen-protected sunflower seed and meal protein on feed intake, diet digestibility, ruminal, cecal fermentation, and growth performance of lambs // Animals. 2019. Vol. 9. № 7. pp. 415.

13 ГОСТ 12220–96. Шрот соевый кормовой тостированный. Технические условия. Введ. 1997–01–01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996. 9 с.

14 Достижение на рынке кормовых добавок // OilWorld.ru. 18.04.2017. URL: https://www.oilworld.ru/news/forage/259877 (дата обращения: 11.04.2025).

15 Пангус. 40 распространенных кормовых ингредиентов: Исчерпывающее руководство. Рапсовый шрот: Балансирование питательных веществ // PANGOO. URL: https://www.pangoo.biz/ru/40-common-feed-ingredients-a-comprehensive-guide/ (дата обращения: 11.04.2025).

16 Smith J., Brown R., Miller T. Effects of heat-treated soybean meal on milk protein content in high-producing dairy cows // Journal of Dairy Science. 2015. Vol. 98. P. 1234–1240.

17 Johnson K. Impact of encapsulated sunflower meal on growth performance of dairy calves // Animal Feed Science and Technology. 2018. Vol. 245. P. 56–63.

18 Белковое кормление: золотая середина // qazaqsut.kz. URL: https://qazaqsut.kz/ru/stati/belkovoe-kormlenie-zolotaya-seredina (дата обращения: 11.04.2025).

19 Буряков Н.П., Бурякова М.А., Алешин Д.Е. Использование нетрадиционных кормов в кормлении высокопродуктивного молочного скота // Ветеринария сельскохозяйственных животных. 2018. № 9. С. 23–30.

20 Морозова Т.М., Гамко Л.Н. Использование кормосмесей в рационах дойных коров // Вестник Брянской ГСХА. 2010. № 1. С. 25–28.

21 Мартынов В.А., Булгаков А.М., Новиков Н.А., Понамарев Н.М., Жуков В.М., Рагимов Г.И. Влияние балансирующих добавок на уровень молочной продуктивности коров в период раздоя // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (197). С. 68–72.

22 Смит Т. Защищённый белок для высокопродуктивных молочных коров // DairyNews.ru. 2017. URL: https://dairynews.ru/news/zashchishchennyy-belok-dlya-vysokoproduktivnykh-mo.html (дата обращения: 11.04.2025).

23 Ferguson J. D. Nutritional strategies to improve nitrogen efficiency and milk protein synthesis in dairy cows //Achieving sustainable production of milk Volume 1. Burleigh Dodds Science Publishing, 2017. С. 283-331.

24 Жаркынай И.К., Кадырова Ч.Т., Конурбаева А., Айтбекова Ж., Деркенбаев С.М. Влияние новых рецептов комбикормов на продуктивность скота // In The World Of Science and Education. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-novyh-retseptov-kombikormov-na-produktivnost-skota/viewer (дата обращения: 12.04.2025).

25 Белкофф. Применение защищенного соевого белка в рационах высокопродуктивных коров // Белкофф. URL: https://belkoff.biz/page_20.php (дата обращения: 04.04.2025).

26 Агроинвестор. Коров кормят «защищенным белком» // Агроинвестор. 2009. URL: https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/10974-korov-kormyat-zashchishchennym-belkom/ (дата обращения: 04.04.2025).

27 Кузнецов С.Г. Содержание белка в молоке коров: от чего зависит и как повысить этот показатель // Витасоль. 2019. URL: https://vitasol.ru/notes/belok-v-moloke-korov (дата обращения: 04.04.2025).

28 Lee C., Giallongo F., Hristov A.N. и др. Effect of dietary protein level and rumen-protected amino acid supplementation on amino acid utilization for milk protein in lactating dairy cows // Journal of Dairy Science. 2015. Vol. 98. № 3. P. 1885–1902. doi: 10.3168/jds.2014-8496

29 Агровестник «Меньше соевого шрота в рационе коров» // Agrovesti.net. 2019. URL: https://agrovesti.net/lib/tech/feeding-tech/menshe-soevogo-shrota-v-ratsione-korov.html (дата обращения: 04.04.2025).

30 КАМП Казань. «Защищенный белок Полиамин» [б. д.] // КАМП Казань. URL: https://kampkazan.ru/catalog/kormlenie/zashhishhennyj-belok/poliamin/ (дата обращения: 04.04.2025).

31 Kemin. «Экологические и экономические результаты включения в рацион аминокислот» // Kemin. 16.07.2021. URL: https://info.kemin.com/ru/ruminants/blog/sustainable-economic-implications-amino-acids (дата обращения: 04.04.2025).

32 Шляхова О.Г., Филева Н.С., Тантави А.А., Рядчиков В.Г. Использование защищенных аминокислот в питании высокопродуктивных коров // Современные проблемы в животноводстве: состояние, решения, перспективы: материалы международной научно-практической конференции. Краснодар: КубГАУ, 2019. С. 294–299.

33 Дмитрук С.М., Каширин Д.В. Защищённые белки. Принцип работы / С.М. Дмитрук, Д.В. Каширин // csoya.ru. URL: https://csoya.ru/feeding/zashhishhennye-belki-princip-raboty/ (дата обращения: 11.04.2025).

34 Федеральный центр оценки качества зерна. Шрот – ценная пищевая добавка // fczerna.ru. URL: https://fczerna.ru/news/? NAME=shrot-tsennaya-pishchevaya-dobavka (дата обращения: 11.04.2025).

35 Влияние метионина в защищенной от разрушения в рубце форме на продуктивность и выделение азота // IBS Agro. URL: https://www.ibsagro.ru/articles/vliyanie-metionina-v-zashchishchennoy-ot-razrusheniya-v-rubtse-forme-na-produktivnost-i-vydelenie-az/ (дата обращения: 11.04.2025).

36 Подрез В.Н., Красочко П.А., Карпеня М.М. Повышаем надой и качество молока // Животноводство России. 2024. № 3. С. 29–31. doi: 10.25701/ZZR.2024.03.012

References

1 Volgin V.I., Romanenko L.V., Prokhorenko P.N., Fedorova Z.L., Korochkina E.A. Full-scale feeding of dairy cattle – the basis for realizing genetic productivity potential. Moscow: AgroScience, 2021. 256 p. (in Russian)

2 Kharitonov E.L., Agafonov V.I., Kharitonov L.V. Organization of scientifically substantiated feeding of high-producing dairy cattle: practical recommendations. Borovsk: AgroConsult, 2020. 112 p. (in Russian)

3 Sekali M., Mlambo V., Marume U., Mathuthu M. Replacement of soybean meal with heat-treated canola meal in finishing diets of meatmaster lambs: physiological and meat quality responses. Animals. 2020. vol. 10. no. 10. p. 1735.

4 Bhatt R.S., Sahoo A. Effect of adding formaldehyde treated protein alone and with Saccharomyces cerevisiae in diet on plane of nutrition, growth performance, rumen fermentation and microbial protein synthesis of finisher lambs. Small Ruminant Research. 2019. vol. 171. pp. 42–48. doi: 10.1016/j.smallrumres.2018.12.005

5 Garba A.M., Fırıncıoğlu S.Y. Role of Encapsulation Nutrients for Improvement of Ruminant Performance and Ruminant Derived–Products. Eurasian Journal of Agricultural Research. 2023. vol. 7. no. 2. pp. 109–126.

6 Lata M., Mondal B.C. Impact of Bypass protein supplementation in ruminant animals. Just Agriculture: Multi disciplinary newsletter. 2021. vol. 2. no. 1.

7 Giallongo F., Oh J., Frederick T., Isenberg B. et al. Extruded soybean meal increased feed intake and milk production in dairy cows. Journal of Dairy Science. 2015. vol. 98. no. 9. pp. 6471–6485. doi: 10.3168/jds.2015-9786

8 Kharitonov E.L., Devyatkin V.A. Sunflower cake in dairy cattle feeding: nutritional value and features. Dairy and Beef Cattle Breeding. 2016. no. 4. pp. 18–22.

9 Huuskonen A., Tuori M. Rapeseed meal in ruminant diets: composition and processing. Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science. 2010. vol. 42. no. 5. pp. 307–316. (in Russian)

10 Naik R.R., Wang Y., Selomulya C. Improvements of plant protein functionalities by Maillard conjugation and Maillard reaction products. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022. vol. 62. no. 25. pp. 7036–7061.

11 Berenti A.M., Yari M., Khalaji S. et al. Effect of extrusion of soybean meal on feed spectroscopic molecular structures and on performance, blood metabolites and nutrient digestibility of Holstein dairy calves. Animal Bioscience. 2020. vol. 34. no. 5. pp. 855.

12 Haro A., Gonzalez J., de Evan T. et al. Effects of feeding rumen-protected sunflower seed and meal protein on feed intake, diet digestibility, ruminal, cecal fermentation, and growth performance of lambs. Animals. 2019. vol. 9. no. 7. pp. 415.

13 GOST 12220–96. Toasted feed soybean meal. Technical conditions. Introduced 1997–01–01. Moscow: IPK Publishing House of Standards, 1996. 9 p. (in Russian).

14 Achievements in the Feed Additives Market // OilWorld.ru. 18.04.2017. URL: https://www.oilworld.ru/news/forage/259877 (accessed: 11.04.2025).

15 Pangus. 40 Common Feed Ingredients: A Comprehensive Guide. Rapeseed Meal: Nutrient Balancing // PANGOO. URL: https://www.pangoo.biz/ru/40-common-feed-ingredients-a-comprehensive-guide/ (accessed: 11.04.2025).

16 Smith J., Brown R., Miller T. Effects of heat-treated soybean meal on milk protein content in high-producing dairy cows. Journal of Dairy Science. 2015. vol. 98. pp. 1234–1240.

17 Johnson K. Impact of encapsulated sunflower meal on growth performance of dairy calves. Animal Feed Science and Technology. 2018. vol. 245. pp. 56–63.

18 Protein Feeding: The Golden Mean // qazaqsut.kz. URL: https://qazaqsut.kz/ru/stati/belkovoe-kormlenie-zolotaya-seredina (accessed: 11.04.2025). (in Russian)

19 Buryakov N.P., Buryakova M.A., Aleshin D.E. Use of unconventional feeds in the diet of high-producing dairy cattle. Veterinary Science of Agricultural Animals. 2018. no. 9. pp. 23–30. (in Russian)

20 Morozova T.M., Gamko L.N. Use of forage mixes in rations of milk cows. Bulletin of Bryansk State Agricultural Academy. 2010. no. 1. pp. 25–28. (in Russian)

21 Martynov V.A., Bulgakov A.M., Novikov N.A., Ponamarev N.M., Zhukov V.M., Ragimov G.I. Influence of balancing additives on milk productivity in cows during the lactation period. Bulletin of the Altai State Agricultural University. 2021. no. 3 (197). pp. 68–72. (in Russian)

22 Smith, T. Protected Protein for High-Producing Dairy Cows // DairyNews.ru. 2017. URL: https://dairynews.ru/news/zashchishchennyy-belok-dlya-vysokoproduktivnykh-mo.html (accessed: 11.04.2025). (in Russian)

23 Ferguson J.D. Nutritional strategies to improve nitrogen efficiency and milk protein synthesis in dairy cows. Achieving Sustainable Production of Milk Volume 1. Burleigh Dodds Science Publishing, 2017. pp. 283–331.

24 Zharkynay, I. K., Kadyrova, Ch. T., Konurbayeva, A., Aitbekova, Zh., Derkenbaev, S. M. Influence of New Feed Formulas on Cattle Productivity // In The World Of Science and Education. — https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-novyh-retseptov-kombikormov-na-produktivnost-skota/viewer. (accessed: 04.04.2025).

25 Belkoff. “Application of Protected Soy Protein in Diets of High-Producing Cows” // Belkoff. URL: https://belkoff.biz/page_20.php (accessed: 04.04.2025).

26 Agroinvestor. “Cows are Fed ‘Protected Protein’” // Agroinvestor. 2009. URL: https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/10974-korov-kormyat-zashchishchennym-belkom/ (accessed: 04.04.2025).

27 Kuznetsov, S. G. “Protein Content in Cow Milk: What it Depends On and How to Increase This Indicator” // Vitasol. 2019. URL: https://vitasol.ru/notes/belok-v-moloke-korov (accessed: 04.04.2025).

28 Lee C., Giallongo F., Hristov A.N. et al. Effect of dietary protein level and rumen-protected amino acid supplementation on amino acid utilization for milk protein in lactating dairy cows. Journal of Dairy Science. 2015. vol. 98. no. 3. pp. 1885–1902. doi: 10.3168/jds.2014-8496.

29 Agrovestnik “Less Soybean Meal in Cow Diets” // Agrovesti.net. 2019. URL: https://agrovesti.net/lib/tech/feeding-tech/menshe-soevogo-shrota-v-ratsione-korov.html (accessed: 04.04.2025).

30 KAMP Kazan. “Protected Protein Polyamin” [No Date] // KAMP Kazan. URL: https://kampkazan.ru/catalog/kormlenie/zashhishchennyj-belok/poliamin/ (accessed: 04.04.2025).

31 Kemin. “Environmental and Economic Results of Including Amino Acids in Diets” // Kemin. 16.07.2021. URL: https://info.kemin.com/ru/ruminants/blog/sustainable-economic-implications-amino-acids (accessed: 04.04.2025).

32 Shlyakhova O.G., Fileva N.S., Tantavi A.A., Ryadchikov V.G. Use of protected amino acids in feeding high-producing cows. Modern Problems in Animal Husbandry: Status, Solutions, Prospects. Krasnodar: Kuban State Agrarian University, 2019. pp. 294–299. (in Russian)

33 Dmitruk S.M., Kashirin D.V. Protected proteins. Working principle. csoya.ru. URL: https://csoya.ru/feeding/zashhishhennye-belki-princip-raboty/ (accessed: 11.04.2025).

34 Federal Center for Grain Quality Assessment. Meal – a valuable food additive. fczerna.ru. URL: https://fczerna.ru/news/?NAME=shrot-tsennaya-pishchevaya-dobavka (accessed: 11.04.2025).

35 Influence of methionine in a protected form on productivity and nitrogen excretion. IBS Agro. URL: https://www.ibsagro.ru/articles/vliyanie-metionina-v-zashchishchennoy-ot-razrusheniya-v-rubtse-forme-na-produktivnost-i-vydelenie-az/ (accessed: 11.04.2025).

36 Podrez V.N., Krasochko P.A., Karpenya M.M. Increasing milk yield and quality. Animal Husbandry of Russia. 2024. no. 3. pp. 29–31. doi: 10.25701/ZZR.2024.03.012. (in Russian)

Сведения об авторах

Наталья А. Перова аспирант, кафедра генетики, цитологии и биоинженерии, Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1, г. Воронеж, 394018, Россия, nataliy3103@ya.ru
https://orcid.org/0009-0001-1451-9255

Владислав Н. Калаев д.б.н., профессор, кафедра генетики, цитологии и биоинженерии, Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1, г. Воронеж, 394018, Россия, dr_huixs@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4247-4509

Оксана Ю. Мальцева к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ksenia2002@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-3815-123X

Инна В. Новикова д.т.н., профессор, кафедра бродильных 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

Information about authors

Natalia A. Perovas postgraduate student, department of genetics, cytology and bioengineering, Voronezh State University, Universiteskaya Sq., 1 Voronezh, 394018, Russia, nataliy3103@ya.ru
https://orcid.org/0009-0001-1451-9255

Vladislav N. Kalaev Dr. Sci. (Bio.), professor, Department of Genetics, Cytology and Bioengineering, Voronezh State University, Universiteskaya Sq., 1 Voronezh, 394018, Russia, dr_huixs@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4247-4509

Oksana Yu. Maltseva Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Biochemistry and Biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ksenia2002@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-3815-123X

Inna V. Novikova Dr. Sci. (Engin.), professor, Department of Fermentation and Sugar Production, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, noviv@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-2360-5892

Вклад авторов

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

Contribution

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/02/2025	**После редакции** 19/02/2025	**Принята в печать** 11/03/2025
Received 01/02/2025	**Accepted in revised** 19/02/2025	**Accepted** 11/03/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-168-174 Оригинальная статья/Research article
УДК 579.676 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Определение биотического потенциала в картофеле и яблоках

Анна Э. Джабакова [1] dzhabakovaae@mgupp.ru 0000-0002-3341-0722
Татьяна В. Тулякова [1] fermtec-m@mail.ru 0000-0003-3778-8068
Наталья В. Фоменко [1] fomenkonv@mgupp.ru 0009-0005-5230-2830
Ирина Б. Леонова [2] leonova.ib@rea.ru 0000-0002-9653-9056

1 Российский биотехнологический университет, ш. Волоколамское, 11, г. Москва, 125080, Россия
2 Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, Стремянный переулок, д.36, г. Москва,115054, Россия

Аннотация. Исследование посвящено определению биотического потенциала в картофеле и яблоках с использованием инфузорий *Tetrahymena pyriformis*. Из-за необходимости быстро оценивать показатели качества и безопасности, экспресс-методы контроля становятся все более актуальными. *Tetrahymena pyriformis*, благодаря своей высокой чувствительности к изменениям в среде, является удобной тест-системой для биотестирования. Метод биотестирования на инфузориях позволяет быстро и недорого оценить биологическую активность продуктов, их безопасность и общую токсичность. В исследовании использовались образцы картофеля и яблок, измельченные до гомогенного состояния и внесенные в питательную среду. После инкубации в течении 48 ч подсчитывалось количество микроорганизмов, что позволяло рассчитать значение биотического потенциала. Результаты показали, что наибольший рост микроорганизмов наблюдался во всех образцах с содержанием продукта 1 г. Наименьший рост был зафиксирован при содержании 4 г для образцов с яблоками и 0,5 г для образцов картофелем. Это связано с химическим составом продуктов: в картофеле преобладает крахмал, а в яблоках — простые сахара, что влияет на рост числа инфузорий. Выводы исследования подчеркивают сильную зависимость биотического потенциала от химического состава и количества добавляемых продуктов. Рекомендуется продолжить исследования для формирования математических зависимостей с возможностью применения этих зависимостей для разработки рецептур продуктов с наилучшей усваиваемостью. Использование инфузорий для биотестирования позволяет эффективно контролировать качество продуктов и выявлять потенциальные риски для здоровья потребителей.

Ключевые слова: биотестирование, инфузории, Tetrahymena pyriformis, биотический потенциал, овощи, фрукты.

Estimation of biotic potential in potatoes and apples

Anna E. Dzhabakova [1] dzhabakovaae@mgupp.ru 0000-0002-3341-0722
Tatiana V. Tulyakova [1] fermtec-m@mail.ru 0000-0003-3778-8068
Natalia V. Fomenko [1] fomenkonv@mgupp.ru 0009-0005-5230-2830
Irina B. Leonova [2] leonova.ib@rea.ru 0000-0002-9653-9056

1 BIOTECH University, 11 Volokolamskoe Shosse, Moscow 125080, Russia
2 Plekhanov Russian University of Economics, 36 Stremiany pereylok, Moscow 115054, Russia

Abstract. The study focuses on the determination of biotic potential in potatoes and apples using *Tetrahymena pyriformis* infusoria. Rapid control methods are becoming increasingly important due to the need to rapidly assess quality and safety parameters. *Tetrahymena pyriformis* is a convenient test system for biotesting due to its high sensitivity to changes in the environment. The method of biotesting on infusoria allows rapid and inexpensive evaluation of the biological activity of products, their safety and general toxicity. Samples of potatoes and apples, chopped to homogeneous state and introduced into nutrient medium were used in the study. After incubation for 48 h, the number of microorganisms was counted to calculate the biotic potential value. The results showed that the highest growth of microorganisms was observed in all samples with 1 g product content. The least growth was recorded at 4 g content for apple samples and 0.5 g for potato samples. This is linked to the chemical composition of the products: potatoes are predominantly starchy and apples consist of simple sugars, which affects the growth of the number of infusoria. The findings of the study emphasise the strong dependence of biotic potential on the chemical composition and amount of added products. Further research is recommended to form mathematical correlations with the possibility of applying these correlations to develop formulations of products with the best digestibility. The use of infusoria for biotesting allows effective control of product quality and identification of potential health risks for consumers.

Keywords: Biotesting, infusoria, Tetrahymena pyriformis, biotic potential, vegetables, fruits.

Введение

В современных рыночных условиях важным фактором играет время и быстрота реакции, поэтому в основном применяют экспресс-исследования для определения показателей качества и безопасности в продуктах питания.

Инфузории, в частности *Tetrahymena pyriformis*, благодаря своей высокой чувствительности к различным изменениям среды, являются удобной моделью для проведения биотестов. Использование инфузорий позволяет оценить не только наличие патогенных микроорганизмов, но и общую биологическую активность продукта, что особенно важно для

Для цитирования
Джабакова А.Э., Тулякова Т.В., Фоменко Н.В., Леонова И.Б. Определение биотического потенциала в картофеле и яблоках // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 168–174. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-168-174

For citation
Dzhabakova A.E., Tulyakova T.V., Fomenko N.V., Leonova I.B. Estimation of biotic potential in potatoes and apples. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 168–174. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-168-174

© 2025, Джабакова А.Э. и др. / Dzhabakova A.E. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

оценки свежести и качества овощей и фруктов.

Метод биотестирования имеет ряд известных преимуществ перед тестированием объектов на животных [1]:

• быстрота проведения анализа [2];

• большой спектр применения (определения безопасности, безвредности, токсичности; биологической активности функциональных ингредиентов, полноценности пищевых продуктов, кормов, неспецифической активности лекарственных составов; биологический мониторинг разнообразных экологических систем) [3–9];

• недорогая стоимость методики;

• улавливают ультрамалые концентрации токсигенов;

• нет этической стороны вопроса при их использовании в исследовании;

• не используется дорогое и специфическое оборудование.

Применение методов биотестирования на инфузориях может позволить не только контролировать качество продуктов на различных этапах их производства и хранения, но и выявлять потенциальные риски для здоровья потребителей. Биотический потенциал, определяемый как совокупность биологически активных веществ и микроорганизмов, способных влиять на здоровье человека, является важным показателем качества продуктов.

Проведение биотестов на инфузориях включает в себя анализ их жизнедеятельности в присутствии исследуемых продуктов, что позволяет оценить влияние различных факторов на их биологическую активность. В частности, тест реакцией может быть изменения в морфологии, подвижности и скорости размножения инфузорий могут служить индикаторами. Кроме этого, можно также оценивать степень усваиваемости компонентов продуктов питания или продукта в целом [10].

Для определения усваиваемости продуктов питания используют сложные и трудоемкие методы, которые подразумевают использование либо дорогостоящего оборудования, либо получения результата нужно ждать долгое время [11].

В качестве альтернативного метода применяют метод биотестирования, в том числе с использованием инфузорий. Определяют качественное значение усваиваемости по количеству прироста микроорганизмов, а также по ряду других показателей.

Цель работы – сравнительная оценка биотического потенциала продуктов питания на примере яблока и картофеля.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись картофель и яблоки, купленные в магазине. Для определения биотического потенциала в образцах была использована следующая схема исследования рисунок 1. За основу проведения исследования была взята схема методики по ГОСТ 31674 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения общей токсичности» [12] с использованием инфузорий *Tetrahymena pyriformis*. Так как объектом исследования являются фрукты и овощи, поэтому были изменены некоторые этапы из методики. В основном это касается пробоподготовки.

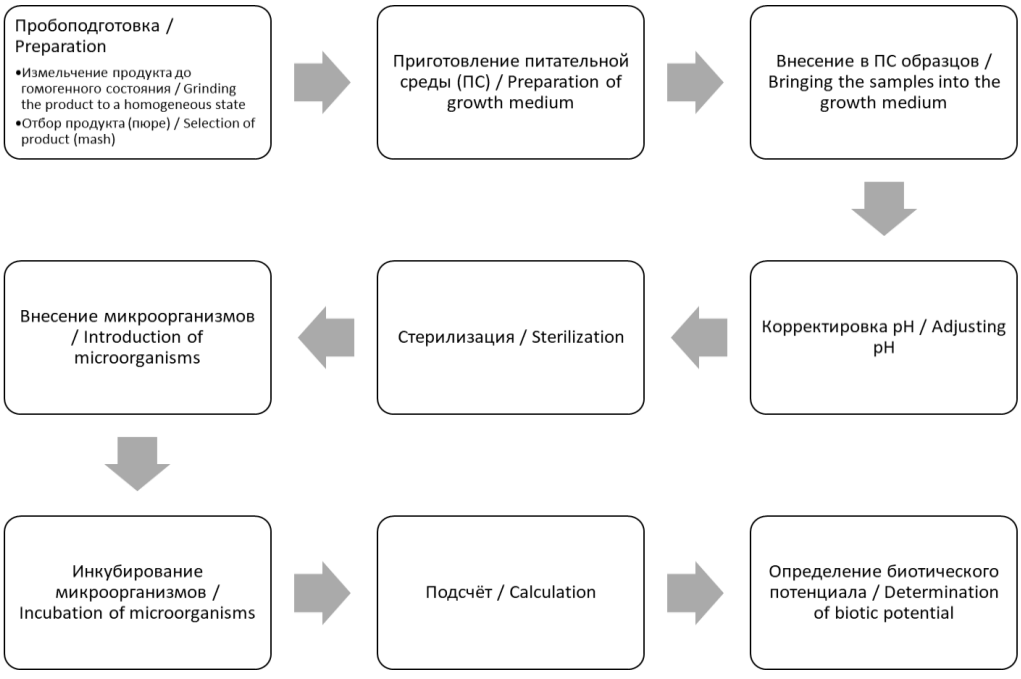


Рисунок 1. Схема проведения исследования

Figure 1. Stages of the study

В этап пробоподготовки входит измельчение продукта до гомогенного состояния и отбор, полученной суспензии (пюре). Последние этапы были также изменены, так как в нашей работе было необходимо получить данные по биотическому потенциалу (БП). Кроме этого, после приготовления ПС, в нее необходимо внести определенное количество исследуемых образцов. Для определения БП в образцах необходимо получить данные о количестве микроорганизмов после инкубирования.

БП рассчитывается по формуле 1:

$$БП = \frac{Nt}{2000} / t \qquad (1)$$

где Nt – количество микроорганизмов, культивируемых в среде на основе экспериментальных образцов; t – продолжительность инкубирования, ч.

В связи с тем, что у *Tetrahymena pyriformis* сходны по основным параметрам обмена веществ с высшими животными, поэтому их применяют для определения перевариваемости и усвояемости продуктов [10]. Применение метода биотестирования позволяет рассчитать такие показатели как БП и стандартизированная относительная биологическая ценность (СОБЦ) продукта.

Получение образцов: для исследования необходимо было измельчить образцы картофеля и яблок по отдельности. Далее отбирали пюре в необходимом количестве каждого образца (данные представлены в таблице 1).

Таблица 1.

Получение ПС с экспериментальными образцами картофеля и яблока

Table 1.

Preparation of growth medium with experimental samples of potato and apple

Продукт / Product	Номер образца / Sample number	Количество продукта, добавленного в ПС, г, на 100г питательной среды / Amount of product added to growth medium, g, per 100g of nutrient medium
Яблоко/ Apple	1–1	0,5
	1–2	1
	1–3	2
	1–4	4
Картофель / Potato	2–1	0,5
	2–2	1
	2–3	2
	2–4	4

После приготовления исследуемую среду стерилизовали, переносили в стерильные пробирки по 9 $см^3$ и вносили по 1 $см^3$ ПС с инфузориями. Исследуемую среду готовили для культивирования микроорганизмов с целью их подсчета после определенного времени инкубирования. Контрольным образцом являлась ПС, которую также стерилизовали и переносили в стерильные пробирки в соотношении ПС: инфузории 9:1 соответственно. Хранение образцов осуществлялось при комнатной температуре в темном месте в течение 48 ч. Подсчет осуществляли микрокопированием с помощью камере Горяева визуально в десяти полях зрения. При необходимости проводилось разведение образцов для удобства подсчета микроорганизмов. Это также учитывалось при расчете количества инфузорий. Эксперимент повторяли трижды. Для быстрой записи данных на месте и получения графических зависимостей применялось приложение Quality CHECK [13]. Приложение позволило быстро обработать данные, рассчитать необходимые значения и визуализировать, полученную информацию.

Результаты и их обсуждение

Для определения БП для начала осуществляли подсчет микроорганизмов во всех образцах. По истечении времени культивирования получились следующие данные, представленные на рисунке 2.

Наибольший рост микроорганизмов среди модифицированных образцов наблюдается там, где содержание продукта составило 1 г. Наименьшее количество микроорганизмов для образцов с яблоком – содержание продукта 4 г, для образцов с картофелем – содержание продукта 0,5 г.

Это зависит от химического состава продуктов, которые были дополнительно внесены в ПС. В основном в яблоках и картофеле присутствуют углеводы, которые стимулируют быстрый рост микроорганизмам. На рисунке 3 представлен химический состав по основным нутриентам картофеля и яблока взятым из открытых источников [14].

Они также присутствуют в составе ПС (глюкоза). Однако в картофеле большая часть углеводной части представлена крахмалом, а в яблоках – группа простых сахаров. Крахмал также влияет на повышение вязкости среды, хоть и не значительно относительно добавления его количества в ПС. Инфузории подвижные микроорганизмы и наличие физических препятствий в виде волокон, а также увеличение вязкости раствора отрицательно сказывается на их размножении.

После подсчета микроорганизмов были рассчитаны БП для образцов, данные представлены на рисунке 4.

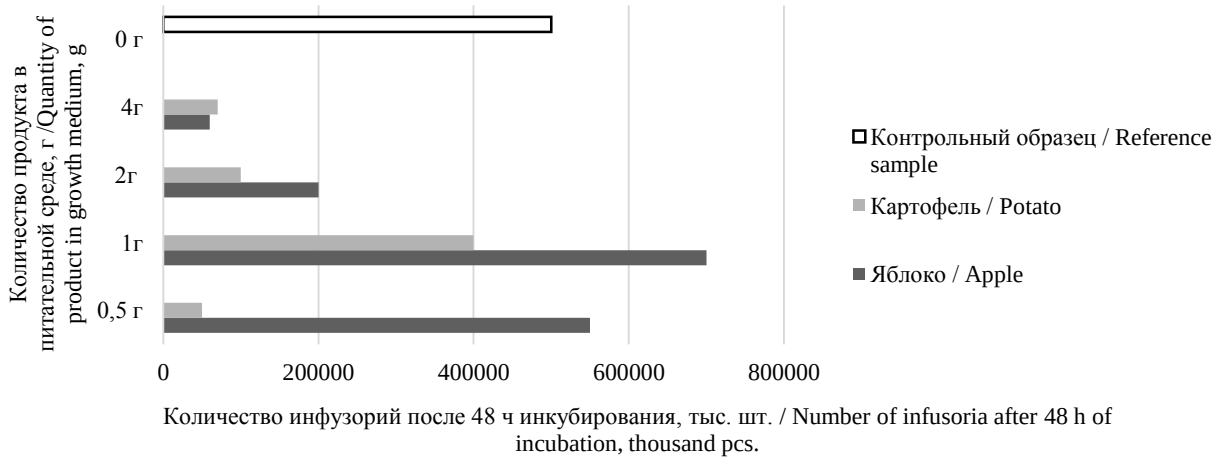


Рисунок 2. Количество микроорганизмов в модифицированных ПС

Figure 2. Number of microorganisms in modified growth medium

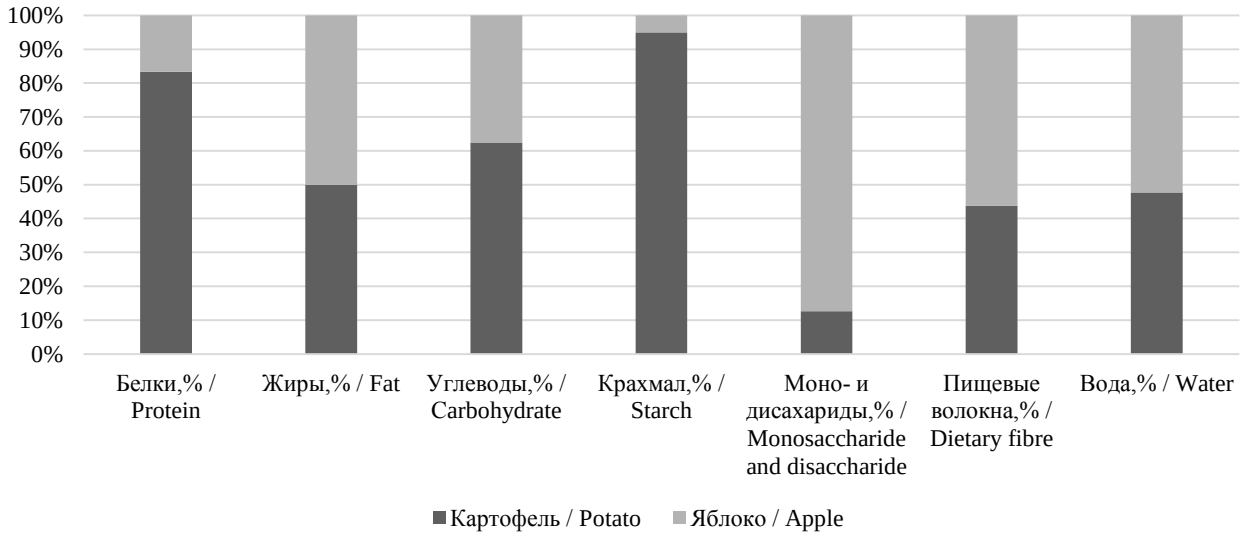


Рисунок 3. Химический состав картофеля и яблока

Figure 3. Chemical composition of potato and apple

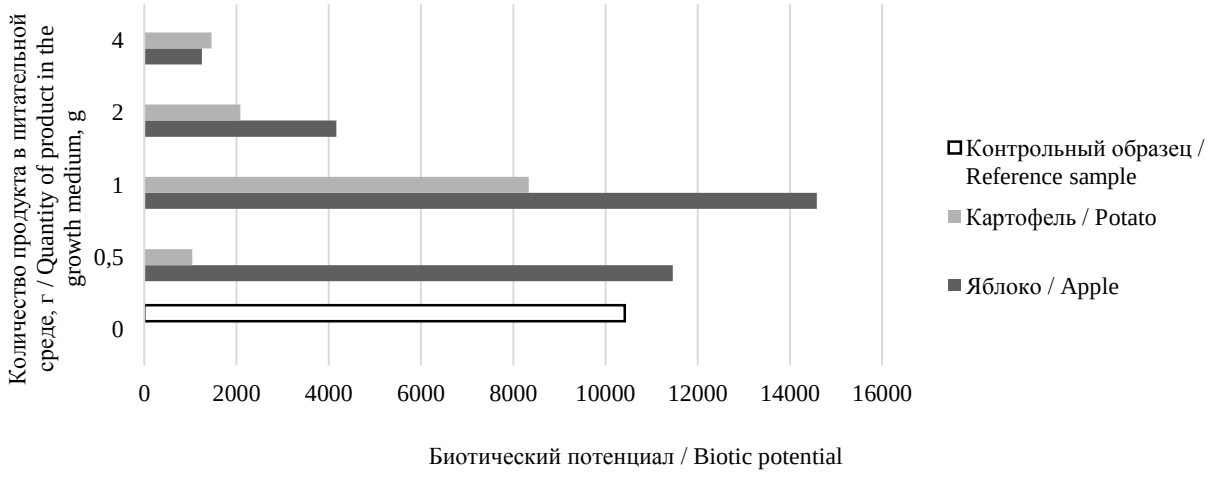


Рисунок 4. Биотический потенциал в модифицированных ПС

Figure 4. Biotic potential in modified growth medium

Значение БП в прямой корреляции от количества микроорганизмов, получившихся после инкубации по формуле 1. Поэтому очертания графиков на рисунках 2 и 4 совпадают по всем образцам между собой. Также наблюдается схожесть в графиках между образцами с картофелем и яблоком, однако не в количественных значениях.

Заключение

При сравнении полученных результатов выявилась сильная зависимость значения биотического потенциала от химического состава добавляемых в питательную среду продуктов, а также от их количества. Имеет смысл продолжить исследование по определению БП конкретных веществ для формирования математических зависимостей. Далее их можно будет использовать для разработки рецептур продуктов растительного происхождения, для сравнительной оценки их ценности, а также выявлении продукта среди образцов с наилучшей усваиваемостью.

Благодарности

Выражается огромная благодарность Леоновой Ирине Борисовне за предоставленные образцы микроорганизмов, за помощь в работе с микроорганизмами. Выражается огромная благодарность Шабуровой Любовь Николаевне за помощь в осуществлении исследований, за предоставление оборудования, а также за проявленный живой интерес к проведению исследований с инфузориями.

Литература

1 Карпенко Ю.В., Кращенко В.В. Биотестирование рыбной кулинарной продукции с использованием Tetrahymena pyriformis // Вестник астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2019. № 3. С. 132–140.

2 Сороколетов О.Н., Гаптар С.Л., Бгатов А.В. Применение биотестирования для оценки биологической ценности пищевых продуктов // Инновации и продовольственная безопасность. 2022. Т. 38, № 4. С. 31–36. doi: 10.31677/2311–0651–2022–38–4–31–36

3 Application of Paramecium caudatum for the assessment of energy costs for food raw materials and products digestibility // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 640. № 6. P. 062006. doi: 10.1088/1755–1315/640/6/062006

4 Бондарук А.М., Цыганков В.Г., Журихина Л.Н., Федорович С.В., Гулин В.В. Оценка биологической ценности и безвредности пищевых продуктов с целью разработки рационов для туристско-оздоровительной деятельности // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2016. № 1 (183). С. 225–230.

5 Плотникова И.В., Жаркова И.М., Гребенщиков А.В., Рогов К.О., Плотников В.Е. Исследование биологической активности водных суспензий бобовых культур как альтернативы яичному белку в кондитерских изделиях пенообразной структуры // Вопросы детской диетологии. 2021. Т. 19. № 2. С. 99–106. doi: 10.20953/1727–5784–2021–2–99–106

6 Gerhardt, A., Ud-Daula, A., Schramm, K. – W. Tetrahymena spp. (Protista, Ciliophora) as Test Species in Rapid Multilevel Ecotoxicity Tests // Acta Protozoologica. 2010. Vol. 49. № 4. P. 271–280.

7 Luan, F., Wang, T., Tang, L., Zhang, S., Cordeiro, M.N.D.S. Estimation of the Toxicity of Different Substituted Aromatic Compounds to the Aquatic Ciliate *Tetrahymena pyriformis* by QSAR Approach // Molecules. 2018. Vol. 23, № 5. P. 1002–1017. doi: 10.3390/molecules23051002

8 Коровина Н.С. Разработка пробиотического кисломолочного продукта антиоксидантной направленности // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2024. Т. 12. № 1. С. 34–42. doi: 10.14529/food240104

9 Леонова И.Б., Бабанина В.И. Изучение возможности использования биотестирования для сравнительной оценки качества соков // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2019 Том 9 № 1А. С. 419–427.

10 Перфилова О.В., Брыксина К.В., Гребенщиков А.В. Оценка биотического потенциала и биологической ценности ржано-пшеничного хлеба с фруктовой и овощной пастами // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 4. С. 39–44.

11 ГОСТ 24230–80. Корма растительные. Метод определения переваримости in vitro. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. 4 с.

12 ГОСТ 31674–2012. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения общей токсичности. М.: Стандартинформ, 2014. 39 с.

13 Quality CHECK – приложение для пищевых производств: официальный сайт. – Москва, 2023. – URL: https://quality-check.ru/ (Дата обращения 12.02.25).

14 Nicoletto C. et al. Vegetables quality and biotic stress //Plant Health Under Biotic Stress: Volume 1: Organic Strategies. 2019. P. 107-128.

15 El-Refaie R.M. и др. Biotic potential of generalized herbivore insects depending on host plants – Spodoptera littoralis case // Preprint. 2023. 16 с. doi: 10.21203/rs.3.rs-3223926/v1

16 Avdiu V. и др. The Impact of Abiotic and Biotic Factors on the Productivity of Apple Cultivars (Malus domestica) // Polish Journal of Environmental Studies. 2023. Vol. 32. № 4.

17 Agrahari S., Dubey A. Nanoparticles in plant growth and development // Biogenic nano-particles and their use in agro-ecosystems. 2020. P. 9–37.

18 Burns K. M. Vegetal Forms: How Plants Cultivate Life in Literature and Science : дис. – Duke University, 2022.

19 Schickore J. Controlled Experiments. Cambridge: Cambridge University Press, 2024. doi: https://doi.org/10.1017/9781009348966

20 Котельников А.В., Золотокопова С.В., Неваленная А.А. Биотестирование овощных снеков // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2023. Т. 85, № 1. С. 162–166. doi: 10.20914/2310-1202-2023-1-162-166

References

1 Karpenko Yu. V., Krashchenko V.V. Biotesting of fish culinary products using *Tetrahymena pyriformis*. Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Fishery. 2019. no. 3. pp. 132–140. (in Russian).

2 Sorokoletov O.N., Gaptar S.L., Bgatov A.V. Application of Biotesting for Assessment of Biological Value of Food Products. Innovations and Food Safety. 2022. vol. 38. no. 4. pp. 31–36. doi: 10.31677/2311–0651–2022–38–4–31–36. (in Russian).

3 Application of Paramecium caudatum for the assessment of energy costs for food raw materials and products digestibility. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. vol. 640. no. 6. pp. 062006. doi: 10.1088/1755–1315/640/6/062006.

4 Bondaruk A.M., Tsygankov V.G., Zhurikhina L.N., Fedorovich S.V., Gulin V.V. Assessment of biological value and harmlessness of food products in order to develop rations for tourism and recreational activities. Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, nature management and processing of renewable resources. 2016. no. 1 (183). pp. 225–230. (in Russian).

5 Plotnikova I.V., Zharkova I.M., Grebenschikov A.V., Rogov K.O., Plotnikov V.E. Study of biological activity of aqueous suspensions of legume cultures as an alternative to egg white in confectionery products of foamy structure. Voprosy Children's Dietetics. 2021. vol. 19. no. 2. pp. 99–106. doi: 10.20953/1727–5784–2021–2–99–106. (in Russian).

6 Gerhardt A., Ud-Daula A., Schramm K.–W. Tetrahymena spp. (Protista, Ciliophora) as test species in rapid multilevel ecotoxicity tests. Acta Protozoologica. 2010. vol. 49. no. 4. pp. 271–280.

7 Luan F., Wang T., Tang L., Zhang S., Cordeiro M.N.D.S. Estimation of the toxicity of various substituted aromatic compounds to aquatic ciliate Tetrahymena pyriformis using QSAR approach. Molecules. 2018. vol. 23. no. 5. pp. 1002–1017. doi: 10.3390/molecules23051002.

8 Korovina N.S. Development of a probiotic fermented milk product with antioxidant properties. Bulletin of South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 2024. vol. 12. no. 1. pp. 34–42. doi: 10.14529/food240104. (in Russian).

9 Leonova I.B., Babanina V.I. Study of biotesting as a tool for comparative juice quality evaluation. Economics: Yesterday, Today and Tomorrow. 2019. vol. 9. no. 1A. pp. 419–427. (in Russian).

10 Perfilova O.V., Bryksina K.V., Grebenshchikov A.V. Evaluation of the biotic potential and biological value of rye-wheat bread with fruit and vegetable pastes. Technologies of Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex – Healthy Nutrition Products. 2022. no. 4. pp. 39–44. (in Russian).

11 State Standard 24230–80. Vegetable Feeds. Method for Determination of In Vitro Digestibility. Moscow, IPK Izdatel standards Publ., 2003. 4 p. (in Russian).

12 State Standard 31674–2012. Fodders, Mixed Fodders, Mixed Fodder Raw Materials. Methods of Determination of General Toxicity. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 39 p. (in Russian).

13 Quality CHECK – Application for Food Production: Official Site. Moscow, 2023. URL: https://quality-check.ru/ (accessed 12.02.25).

14 Nicoletto C. et al. Vegetables quality and biotic stress //Plant Health Under Biotic Stress: Volume 1: Organic Strategies. 2019. pp. 107-128.

15 El-Refaie, R. M., et al. "Is the Biotic Potential, Expressed as Life-History Features and Nutritional Indices, of Generalized Herbivore Insects a Function of Host Plants?—Spodoptera Littoralis as a Case Study." 2023, 16 p. doi: 10.21203/rs.3.rs-3223926/v1.

16 Avdiu, V., et al. "The Impact of Abiotic and Biotic Factors on the Productivity of the Apple Cultivars (Malus domestica)." Polish Journal of Environmental Studies, 2023. vol. 32. no. 4.

17 Agrahari, S., and A. Dubey. "Nanoparticles in Plant Growth and Development." Biogenic Nanoparticles and Their Use in Agro-Ecosystems. 2020. pp. 9–37.

18 Burns, K. M. Vegetal Forms: How Plants Cultivate Life in Literature and Science. Dissertation, Duke University, 2022.

19 Schickore, J. Controlled Experiments. Cambridge University Press, 2024. doi: 10.1017/9781009348966.

20 Kotelnikov, A.V., S.V. Zolotokopova, and A.A. Nevalennaya. "Biotesting of Vegetable Snacks." Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies. 2023, vol. 85. no. 1. pp. 162–166. doi: 10.20914/2310-1202-2023-1-162-166.

Сведения об авторах

Анна Э. Джабакова старший преподаватель, кафедра пищевая безопасность, Российский биотехнологический университет, Волоколамское ш., д. 11, г. Москва, 125080, Россия, dzhabakovaae@mgupp.ru
https://orcid.org/0000-0002-3341-0722

Татьяна В. Тулякова д.т.н., профессор, кафедра пищевая безопасность, Российский биотехнологический университет, Волоколамское ш., д. 11, г. Москва, 125080, Россия, fermtec-m@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3778-8068

Наталья В. Фоменко к.т.н., доцент, кафедра Пищевая безопасность, Российский биотехнологический университет, Волоколамское ш., д. 11, г. Москва, 125080, Россия, fomenkonv@mgupp.ru
https://orcid.org/0009-0005-5230-2830

Ирина Б. Леонова к.т.н., доцент, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, д.36, г. Москва,115054, Россия, leonova.ib@rea.ru
https://orcid.org/0000-0002-9653-9056

Information about authors

Anna E. Dzhabakova senior lecturer, food safety department, BIOTECH University, 11 Volokolamskoe Shosse, Moscow, 125080, Russia, dzhabakovaae@mgupp.ru
https://orcid.org/0000-0002-3341-0722

Tatiana V. Tulyakova Dr. Sci. (Tech.), professor, food safety department, BIOTECH University, 11 Volokolamskoe Shosse, Moscow, 125080, Russia, fermtec-m@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3778-8068

Natalia V. Fomenko Cand. Sci. (Tech.), associate professor, food safety department, BIOTECH University, 11 Volokolamskoe Shosse, Moscow, 125080, Russia, fomenkonv@mgupp.ru
https://orcid.org/0009-0005-5230-2830

Irina B. Leonova Cand. Sci. (Tech.), associate professor, Department of Commodity Expertise and Customs Affairs, Plekhanov Russian University of Economics, 36 Stremiany pereylok, Moscow 115054, Russia, leonova.ib@rea.ru
https://orcid.org/0000-0002-9653-9056

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 06/01/2025	**После редакции** 03/03/2025	**Принята в печать** 17/03/2025

Received 06/01/2025	**Accepted in revised** 03/03/2025	**Accepted** 17/03/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-175-183 Оригинальная статья/Research article
УДК 637.072 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Оптимизация ассортимента йогуртов с растительными добавками: товароведческий подход к выбору и оценке компонентов

Татьяна С. Коршик [1] korshikts@mgupp.ru 0000-0003-3683-2629
Анастасия Л. Мастихина [1] mastihinaal@mgupp.ru 0009-0009-3446-8553
Ольга Д. Сергазиева [2,3] o.sergazieva@ya.ru 0000-0002-2122-1318
Нелля Д. Аверьянова [4] avnellya@yandex.ru 0009-0007-6566-2848

1 Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия
2 Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Земляной Вал, д. 73, г. Москва, 109004, Россия
3 Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, 16, корп. 2, г. Астрахань, 414056, Россия
4 Волго-Каспийский морской рыбопромышленный колледж Астраханского государственного технического университета, ул. Набережная 1 Мая, стр. 47/3, г. Астрахань, 414014, Россия

Аннотация. Статья посвящена оптимизации ассортимента йогуртов с растительными добавками через применение методов товароведения и технологии QFD (развертывание функции качества). Рассматривается необходимость более ответственного подхода к расширению ассортимента пищевой продукции в контексте ограниченности природных ресурсов и роста мировых проблем, связанных с питанием. Предлагается использовать научно обоснованный выбор ингредиентов для разработки новых продуктов, чтобы соответствовать потребностям рынка и принципам устойчивости. Исследования проводились на примере проектирования йогуртов с добавлением комплексной добавки на основе морковного и яблочного соков. В работе проанализирован рынок добавок к йогуртам, выявлены ключевые тенденции и предпочтения потребителей. Установлено, что большинство существующих добавок состоит из плодов и ягод, в то время как новые ингредиенты, такие как морковь, представляют интерес для расширения ассортимента. Разработана и проиллюстрирована методика оценки перспектив и целесообразности расширения ассортимента, основанная на анализе нормативных документов, патентных баз и современных научных публикаций. Для оценки потенциала и эффективности принятых решений и полученных результатов были определены и кодированы показатели, соответствующие основным принципам товароведения. Полученные результаты показали эффективность предложенной методологии и её потенциал для оптимизации проектирования новых продуктов питания.

Ключевые слова: принципы товароведения, расширение ассортимента, йогурт, безопасность, эффективность, дом качества.

Optimisation of yoghurt assortment with herbal additives: commodity science approach to selection and evaluation of components

Tatiana S. Korshik [1] korshikts@mgupp.ru 0000-0003-3683-2629
Anastasiya L. Mastikhina [1] mastihinaal@mgupp.ru 0009-0009-3446-8553
Olga D. Sergazieva [2,3] o.sergazieva@ya.ru 0000-0002-2122-1318
Nellya D. Averyanova [4] avnellya@yandex.ru 0009-0007-6566-2848

1 Russian Biotechnological University, Volokolamskoe highway, 11, Moscow, 125080, Russia
2 K. G. Razumovsky Moscow State University of technology and management (First Cossack University), Shabolovka str., 14/9, Moscow, 119049, Russia
3 Astrakhan State Technical University, Tatischeva str., 16, build. 2, Astrakhan, 414056, Russia
4 Volga-Caspian Sea Fishing-Industry College of Astrakhan State Technical University, Naberezhnaya 1 Maya str. 47/3, Astrakhan, 414014, Russia

Abstract. The article focuses on optimizing the assortment of yogurts with plant-based additives through the application of merchandising methods and QFD (Quality Function Deployment) technology. It discusses the need for a more responsible approach to expanding the range of food products in the context of limited natural resources and growing global nutrition-related challenges. The article proposes using scientifically grounded ingredient selection for developing new products to meet market demands and sustainability principles. The research was conducted using the example of designing yogurts with a composite additive based on carrot and apple juices. The study analyzed the market for yogurt additives, identifying key trends and consumer preferences. It was found that most existing additives consist of fruits and berries, while new ingredients, such as carrots, present opportunities for expanding the product range. A methodology for assessing the prospects and feasibility of expanding the assortment was developed and illustrated, based on the analysis of regulatory documents, patent databases, and modern scientific publications. To evaluate the potential and effectiveness of the decisions made and the results obtained, indicators corresponding to the main principles of merchandising were defined and coded. The results demonstrated the effectiveness of the proposed methodology and its potential for optimizing the design of new food products.

Keywords: principles of merchandising, assortment expansion, yogurt, safety, efficiency, quality function deployment (QFD).

Для цитирования
Коршик Т.С., Мастихина А.Л., Сергазиева О.Д., Аверьянова Н.Д. Оптимизация ассортимента йогуртов с растительными добавками: товароведческий подход к выбору и оценке компонентов // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 175–183. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-175-183

For citation
Korshik T.S., Mastikhina A.L., Sergazieva O.D., Averyanova N.D. Optimisation of yoghurt assortment with herbal additives: commodity science approach to selection and evaluation of components. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 175–183. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-175-183

© 2025, Коршик Т.С. и др. / Korshik T.S. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

В условиях перспективы дефицита ресурсов в связи с ростом численности населения планеты, снижения запасов невозобновляемых ресурсов и невозможностью увеличения сельскохозяйственных площадей, а также увеличением объемов пищевых отходов, как на этапе производства, так и на этапе потребления, бесконтрольное расширение ассортимента пищевой продукции, противоречит принципам современной биоэкономики.

Авторами предложено более ответственно подходить к выбору сырья для проектирования новых продуктов для чего предложена методология, основанная на принципах товароведения и популярном методе планирования и \ разработки продукта Quality Function Deployment (QFD), направленном на преобразование потребностей потребителей в конкретные проектные характеристики.

Возможность применения методологии оценки перспектив и целесообразности расширения ассортимента проиллюстрирована на примере проектирования йогуртов с растительными добавками. Йогурт был выбран в качестве объекта исследования по ряду причин. Этот продукт, независимо от типа молока, представляет собой благоприятную среду для внесения различных ингредиентов, имеет достаточно нейтральный вкус, что позволяет добавлять широкий спектр сырья, не опасаясь существенного изменения вкусовых качеств. Консистенция йогурта легко изменяется путем добавления различных загустителей и стабилизаторов [1], что позволяет создавать продукты с желаемыми свойствами, а кисломолочный вкус может помочь замаскировать привкусы и запахи нетрадиционных добавок, таких как клитория тройчатая [2], люпин [3] и кожура граната [4].

С точки зрения удобства и простоты проектирования йогуртов с новыми вкусами, вкусоароматические добавки легко вводятся в продукт на различных этапах производства. Кроме того, существуют вариации внесения добавки на этапе подготовки сырья либо в уже готовый продукт. В большинстве случаев производитель ограничен доступностью сырья, его популярностью у потребителя и экономическими факторами, что создает почву для неэффективного расширения ассортимента.

По результатам анализа ассортимента интернет-магазинов популярных торговых сетей («ВкусВилл», «Перекресток», «Ашан») выявлено, что более 70 % всех добавок к йогурту составляют плоды и ягоды, тогда как оставшаяся доля приходится на такие ингредиенты, как злаки, карамель, шоколад и другие. Свыше 60 % всей продукции представляет собой равномерно перемешанные йогурт и добавки, остальной ассортимент представлен двух- и трехслойными продуктами. Наиболее востребованными вкусами промышленных йогуртов являются клубника, манго-маракуйя, вишня, черника, малина и персик.

При этом сами добавки многокомпонентные и содержат стабилизаторы, сахар и красители различного происхождения. В связи с вышеизложенным достаточно перспективным представляется опробовать предложенную методологию на примере проектирования йогурта с добавлением моркови, богатой бета-каротином (12 мг на 100 г), и витамином С (5 мг).

Материалы и методы

Тестирование целесообразности применения методологии оценки перспектив и целесообразности расширения ассортимента проводилось на примере процесса проектирования йогурта с добавлением моркови.

Для систематизации критериев оценки нового продукта был осуществлен поиск и анализ действующих на территории РФ нормативных документов, открытые данные патентной базы ФИПС, каталогов интернет-магазинов популярных Российских торговых сетей. Проведен поиск и анализ актуальной научной литературы по данной тематике в международных (ScienceDirect) и российских («КиберЛенинка», eLlibrary.ru) научных электронных библиотеках.

Анализ и визуализация результатов осуществлялись с использованием программного пакета Microsoft Excel. Ключевым этапом стала идентификация максимально широкого спектра критериев качества в соответствии с основными принципами товароведения, для которых были рассчитаны коэффициенты весомости.

Сырьем для моделирования служило пастеризованное питьевое молоко с массовой долей жира 3,2 %, торговой марки «Вкусвилл». Молоко оценивали при t = +19 °С. при помощи прибора «Клевер М», предназначенного для анализа молока и сливок, по показателям массовой доли жира, доли белка, сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО), плотности и температуры.

Объектами исследований являлись образцы йогуртов, изготовленных с введением готовой добавки (морковный и яблочный сок, сироп топинамбура). Для производства образцов йогуртов использовали закваску, состоящую из *Streptococcus thermophilus, Lactobacillus lactis, Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus helveticus, Propionibacterium freudenreichii subsp, shermanil*.

Для оценки органолептических свойств готового продукта применяли бальный и профильные методы оценки. Контроль качества готовых образцов по органолептическим показателям проводила экспертная комиссия.

Определение β-каротина проводили на аппарате Спектрофотометр Эковью УФ-1800. Кислотность определяли стандартным методом.

Результаты

Результаты оценки физико-химических показателей молока при помощи прибора «Клевер М» представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Физико-химические показатели

Table 1.

Physico-chemical parameters

Объект Object	Показатель | Indicator				
	Жиры Fats	Плотность Density	Белки Proteins	COMO SNF	Добавленная вода Added water
Молоко питьевое пастеризованное с массовой долей жира 3,2 % Drinking pasteurised milk with mass fraction of fat 3.2 %	3,4	1030,26	3,36	8,77	0

Для изготовления проектируемого йогурта требовалось подобрать сбалансированное соотношение количества вводимых добавок, для достижения оптимальных показателей качества. Количество вносимых компонентов определяли по значению вкусовых порогов в воде и молоке. Для выбора оптимального соотношения вводимых компонентов проводили органолептическую оценку композиций, включающих минимальное, среднее и максимальное соотношение вводимых ингредиентов. По результатам оценки качества промежуточных вариантов, была предложена рецептура йогурта, приведенная в таблице 2.

Таблица 2.

Рецептура йогурта

Table 2.

Yoghurt recipe

Компонент Component	Соотношение в массе, % Ratio in weight, %
Сок морковный | Carrot juice	7
Сок яблочный | Apple juice	7
Сироп топинамбура | Topinambour syrup	1,5
Молоко с м.д.ж. 3,2 % | Milk, mass fraction of fat 3,2 %	84,5

Для оценки органолептических свойств проектируемого продукта было разработано колесо параметров, включающее 6 основных групп дескрипторов: цвет, внешний вид поверхности, консистенция (оценка визуально), аромат, вкус, послевкусие (Рисунок 1).

Оценка органолептических показателей полученного продукта проводилась комиссией экспертов, полученная профилограмма представлена на рисунке 2.

Результаты оценки физико-химических показателей в соответствии с требованиями ГОСТ 31981–2013 «Йогурты. Общие технические условия», кислотность по ГОСТ 3624–92 «Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности», содержание бета-каротина аппарате Спектрофотометр Эковью УФ 1800 в таблице 3.

Таблица 3.

Результаты оценки физико-химических показателей

Table 3.

Results of evaluation of physico-chemical parameters

Показатель Indicator	Норма Norma	Фактический показатель Actual figure
Массовая доля жира, % Mass fraction of fat, %	От 0,5 до 10,0 включ. 0.5 to 10.0 inclusive.	соотв. по сырью corresponding to raw materials
Массовая доля белка, % Protein mass fraction, %	Не менее 3,2, 2,8* At least 3.2, 2.8*	соотв. по сырью corresponding to raw materials
Кислотность, ^{0} Т Acidity, ^{0} T	От 75 до 140 включ. 75 to 140 inclusive.	84
β-каротина мг / 100 мл β-carotene mg / 100 ml	Не нормируется Not standardized	0,7

Рисунок 1. Органолептические показатели

Figure 1. Organoleptic indicators

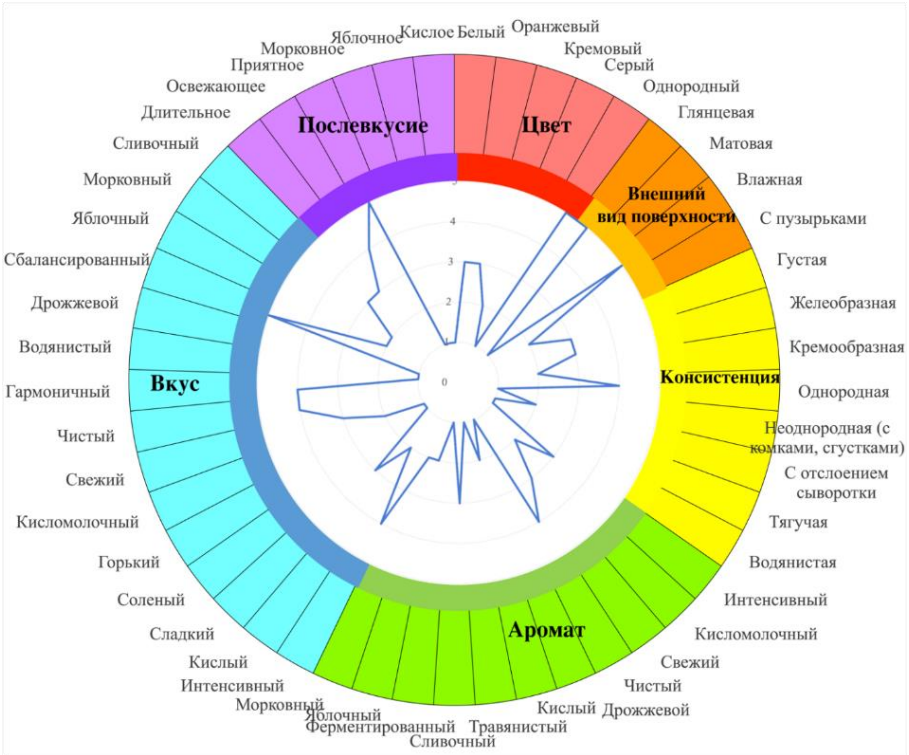


Рисунок 2. Профилограмма проектируемого йогурта

Figure 2. Profilogram of the designed yoghurt

Для оценки потенциала и эффективности принятых решений и полученных результатов были определены и кодированы показатели, соответствующие основным принципам товароведения. Для каждого принципа определялись коэффициенты весомости, которые в сумме составили 100 баллов. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Декомпозиция принципов товароведения

Table 4.

Decomposition of the principles of merchandising

Принципы Principles	Коэф. весомости Coefficient. weights	Код Code	Факторы Factors
Безопасность Safety	30	Б.1	Опасные факторы (токсичного, мутагенного, канцерогенного и тератогенного действия) на всех этапах жизненного цикла продукции Hazardous factors (toxic, mutagenic, carcinogenic and teratogenic) at all stages of the product life cycle
		Б.2	Пищевая аллергия, пищевая непереносимости Food allergies, food intolerances
		Б.3	Антиалиментарные факторы Anti-alimentary factors
		Б.4	Ограничения на использование для определенных групп потребителей (дети, беременные женщины, страдающие определенными хроническими заболеваниями и пр.). Restrictions on use for certain consumer groups (children, pregnant women, those with certain chronic diseases, etc.).
		Б.5	Биологически-активные вещества, оказывающие общее влияние на организм (кофеин, теобромин и пр.). Biologically active substances that have a general effect on the body (caffeine, theobromine, etc.).
Эффективность Efficiency	20	Э.1	Наличие научных доказательств полезных свойств Availability of scientific evidence of beneficial properties
		Э.2	Влияния на стабильность и срок годности продукта Effects on product stability and shelf life
		Э.3	Экономическая эффективности Economic efficiency
		Э.4	Доступность (возможность закупки в необходимых объемах) Affordability (ability to purchase in the required quantities)
		Э.5	Возможность создания уникального торгового предложения (УТП) Ability to create a unique selling proposition (USP)
Совмести-мость Compatibility	10	С. 1	Совместимость с технологическим процессом производства йогурта Compatibility with the yogurt production process
		С. 2	Интерес к новым вкусам и ингредиентам, происходящим из разных уголков мира Interest in new flavors and ingredients from around the world
		С. 3	Появление новых вкусовых комбинаций из традиционных ингредиентов Emergence of new flavor combinations from traditional ingredients
		С. 4	Совместимость с процессами товародвижения Compatibility with goods movement processes
		С. 5	Риски взаимодействия компонентов продукта между собой Risks of interaction of product components with each other
Взаимозаменяемость Interchangeability	5	В.1	Многофункциональность применения добавки среди продуктов производителя Multifunctionality of additive use among the manufacturer's products
		В.2	Применение в различных вариациях (сок, пюре, инстант-продукт, в нативном состоянии) Use in different variations (juice, puree, instant product, in native state)
		В.3	Вариативность введения добавки в процессе производства Variability of additive introduction during the production process
		В.4	Применим для всех специализированных групп потребителей (детское питание, спортивное питание, функциональное питание, геродиетическое) Applicable to all specialized consumer groups (baby food, sports nutrition, functional nutrition, gerodietic)
		В.5	Применимость всех ботанических видов без ограничений по региону производства Applicability of all botanical species without restriction by region of production
Системность Systematicity	5	Си.1	Здоровье и Благополучие Health and Wellbeing
		Си.2	Устойчивое Развитие и Этичность Sustainable Development and Ethics
		Си.3	Премиумизация и Персонализация Premiumization and Personalization
		Си.4	Технологии и Инновации Technology and Innovation
		Си.5	Изменение социальных норм, стремление к здоровому образу жизни Changing social norms, striving for a healthy lifestyle
Соответствие Conformity	30	Со.1	Соответствие потребительским предпочтениям и актуальным запросам общества Compliance with consumer preferences and current demands of society
		Со.2	Соответствие требованиям нормативно-технических документов Compliance with the requirements of regulatory and technical documents
		Со.3	Соответствие требованиям сохранности и транспортирования Compliance with preservation and transportation requirements
		Со.4	Соответствие производственным требованиям Compliance with production requirements
		Со.5	Удобство и Доступность Convenience and Accessibility
ИТОГО TOTAL	100	-	-

Полученные результаты легли в основу развёртывания системы QFD, которая позволяет оценить целесообразность принятых управленческих решений, прогнозировать технические результаты и планировать следующие цели. Предлагаемая система оценки позволяет учитывать показатели, соответствующие основным принципам товароведения, влияющие на успех продукта, и оценивать перспективность предлагаемых компонентов проектируемого продукта.

Построение «Дома качества» выполнялось поэтапно, основываясь на синергизме принципов QFD-методологии и товароведения с учетом опыта использования в пищевой промышленности [5].

Заполняли матрицу взаимосвязи между выбранными техническими характеристиками йогурта (массовая доля жира, массовая доля белка, кислотность, органолептические показатели, концентрация заквасочных микроорганизмов, наличие положительных биологически-активных веществ) согласно требованиям нормативной документации и выявленными показателями, соответствующими основным принципам товароведения. Для оценки взаимосвязи использовали шкалу, согласно которой 1 – слабая взаимосвязь, 2 – средняя взаимосвязь, 3 – сильная взаимосвязь. Экспертным методом определяли степень влияния технической характеристики на соблюдение принципа.

Далее была определена взаимосвязь технических характеристик: «+» – сильная взаимосвязь, «–» – слабая взаимосвязь, «**0**» – отсутствие взаимосвязи.

Для оценки пищевых компонентов собирали данные из научных публикаций, отчетов об исследованиях, данных о безопасности, отзывах потребителей и экспертных оценок. Результаты исследования легли в основу блока «Оценка изученности компонентов вводимой добавки».

Показатель «Абсолютная важность» рассчитывался для каждого технического показателя как сумма произведений оценки и коэффициента весомости по каждому фактору.

Показатель «Относительная важность» рассчитывался как отношение значения единичного показателя «Абсолютная важность» к суммарному.

Целевые значения для каждой технической характеристики устанавливались в соответствии с требованиями нормативно-технических документов.

Обсуждение

Результат построения диаграммы «Дом качества» представлен на рисунке 3.

Принципы товароведения / Инженерные характеристики		Факторы	Важность для потребителя	Массовая доля жира	Массовая доля белка	Кислотность	Органолептические показатели	Концентрация заквасочных микроорганизмов	Наличие положительных биологически-активных веществ	Оценка изученности компонентов вводимой добавки		
				1	2	3	4	5	6	Отрицательная информация	Недостаточность информации на текущий момент	Положительная информация
1	Безопасность	Б.1	6	1	1	3						
		Б.2	6	1	3	1			3			
		Б.3	6	1	1							
		Б.4	6	3	3	2	3		3			
		Б.5	6						3			
2	Эффективность	Э.1	4	1	1	1		1	3			
		Э.2	4	3	1	3		2	2			
		Э.3	4	3	3	2	3	3	3			
		Э.4	4	1	1				3			
		Э.5	4				3	2	3			
3	Совместимость	С.1	2	2	2	3	3	3	3			
		С.2	2				3		3			
		С.3	2				3		3			
		С.4	2	1		3		3				
		С.5	2				3		2			
4	Взаимозаменяемость	В.1	1				3					
		В.2	1	1	1		3					
		В.3	1	1	1		3					
		В.4	1	2	2	2	2		3			
		В.5	1				2		3			
5	Системность	Си.1	1	1	1		2	2	2			
		Си.2	1				2		1			
		Си.3	1				3		3			
		Си.4	1			1	1	2	3			
		Си.5	1	1	1		2		3			
6	Соответствие	Со.1	6				3	1	2			
		Со.2	6	3	3	3	1					
		Со.3	6			3		2				
		Со.4	6	3	3	3	1					
		Со.5	6						3			
Абсолютная важность				116	118	129	119	66	180			
Относительная важность				0,159	0,162	0,177	0,163	0,091	0,247			
Цели				<10	>2,8	74-140	100	>10⁷ КОЭ в одном г.	20% от сут. нормы			
Оценка трудоемкости реализации				3	4	5	1	3	5			
Полностью соответствует целям												
Частично соответствует целям												
Не зависит от принятых решений												
Решение				2	3	5	4	1	6			

Рисунок 3. «Дом качества» для йогурта с растительными компонентами

Figure 3. «House of Quality’ for yoghurt with vegetable ingredients»

Заключение

Применение данной диаграммы обеспечивает принятие системных решений на основе многофакторной оценки таких разных показателей, как маркетинговый потенциал и эффективные производственные и инновационные решения.

Стоит отметить, что ключевыми преимуществами данной методики являются системный подход, приоритезация и прозрачность процесса принятия управленческого решения. Вместе с тем недостатками метода можно считать трудоемкость, необходимость экспертных знаний и присутствие доли субъективизма.

Литература

1 Makyson Roberto Silva Leal, Priscilla Barbosa Sales Albuquerque, Natalie Emanuelle Ribeiro Rodrigues, Priscila Marcelino dos Santos Silva, Weslley Felix de Oliveira, Maria Tereza dos Santos Correia, John F. Kennedy, Luana Cassandra Breitenbach Barroso Coelho. A review on the use of polysaccharides as thickeners in yogurts // Carbohydrate Polymer Technologies and Applications. 2024. Vol. 8. P. 100547. doi: 10.1016/j.carpta.2024.100547.

2 Ражина Е.В., Смирнова Е.С., Лопаева Н.Л., Стахеева Л.М., Хайрова И.М., Синько В.Н., Шиловцев А.В., Галушина П.С. Разработка рецептуры йогурта с использованием клитории тройчатой // Новые технологии / New technologies. 2024. Т. 20. № 4. С. 61–71. doi: 10.47370/2072–0920–2024–20–4–61–71.

3 Dhakal D., Kumar G., Devkota L., Subedi D., Dhital S. The choice of probiotics affects the rheological, structural, and sensory attributes of lupin-oat-based yoghurt // Food Hydrocolloids. 2024. Vol. 156. P. 110353. doi: 10.1016/j.foodhyd.2024.110353.

4 Jany J.F., Nupur A.H., Akash S.I., Karmoker P., Mazumder M.A.R., Alim M.A. Fortification of functional yogurt by the phytochemicals extracted from pomegranate peel // Applied Food Research. 2024. Vol. 4. № 2. P. 100479. doi: 10.1016/j.apfoodres.2024.100479.

5 Резниченко И.Ю., Агеенко Д.Д., Щеглов М.С. Анализ качества мучных кондитерских изделий с использованием метода развертывания функции качества // Ползуновский вестник. 2022. № 2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-kachestva-muchnyh-konditerskih-izdeliy-s-ispolzovaniem-metoda-razvertyvaniya-funktsii-kachestva.

6 Ji C., Wang Y. Nanocellulose-stabilized Pickering emulsions: Fabrication, stabilization, and food applications // Advances in Colloid and Interface Science. 2023. Vol. 318. P. 102970. doi: 10.1016/j.cis.2023.102970.

7 Pujianto D., Amalia R. Setting Priority for Improvement of Yogurt Production Process Using Quality Function Deployment (QFD) on Household Industry (IRT) X, Sumedang // Agroindustrial Journal. 2017. Vol. 4. № 1. P. 1–10. doi: 10.22146/agroindustrial.12345.

8 D'Andrea A.E., Kinchla A.J., Nolden A.A. A comparison of the nutritional profile and nutrient density of commercially available plant-based and dairy yogurts in the United States // Frontiers in Nutrition. 2023. Vol. 10. Article 1195045. doi: 10.3389/fnut.2023.1195045.

9 Tong Q., Yan S., Wang S. Optimization of process technology and quality analysis of a new yogurt fortified with Morchella esculenta // Food Science and Technology (Campinas). 2022. Vol. 42. № 1. Article e45822. doi: 10.1590/fst.45822.

10 Dusabe A., Chacha M., Vianney J.M., Raymond J. Development of Plant-Based Yoghurt Rich in Bioavailable Essential Nutrients and Bioactive Compounds from Ingredients Available in East Africa // Current Research in Nutrition and Food Science. 2021. Vol. 10. № 1. P. 200–210. doi: 10.12944/CRNFSJ.10.1.20.

11 Montemurro M., Pontonio E., Coda R., Rizzello C.G. Plant-Based Alternatives to Yogurt: State-of-the-Art and Perspectives of New Biotechnological Challenges // Foods. 2021. Vol. 10. № 2. P. 316. doi: 10.3390/foods10020316.

12 Santoso I., Rau H., Choirun A., Aprilianto H.C., Lestari K., A'yuniah S., Kusumaningtyas O.W. Application of QFD in sustainable new product development in the agro-industrial sector: a systematic literature review // International Journal of Sustainable Engineering. 2024. Vol. 17. № 1. P. 926–944. doi: 10.1080/19397038.2024.2417016.

13 Сердюкова Я.П., Казарова И.Г. Разработка технологии производства и исследование кисломолочного продукта из козьего молока // Актуальные вопросы науки и практики в инновационном развитии АПК. 2020. С. 99–105.

14 Демина Е.Н., и др. Комплексная оценка качества йогурта обогащенного // Ползуновский вестник. 2020. № 1. С. 56–60.

15 Яковлева С.Ю., Тригуб В.В., Попов В.Г. совершенствование рецептур и технологий получения йогурта функциональной направленности // Индустрия питания 2022. Т. 6. № 2. С. 67–74.

16 Cudjoe, M.C., Akunor, P.T., Blessie, E.J.S., et al. Optimizing the Formulation of Yogurt from Soy Milk, Tropical Almond Milk and Orange-Fleshed Sweet Potato Puree // SSRN Electronic Journal. 2024. doi: 10.2139/ssrn.4945002.

17 Gholamipour-Shirazi, A., Mossige, E.J.L. Impact of Mixing on Flavor and Aroma Development in Fermented Foods // arXiv preprint. 2024. arXiv:2412.10190. doi: 10.48550/arXiv.2412.10190.

18 Никитина Ю.В., Топникова Е.В., Лепилкина О.В., Кашникова О.Г. Технологические и методические аспекты производства низко- и безлактозных молочных продуктов // Пищевые системы. 2021. Т. 4. № 2. С. 144–153. doi: 10.21323/2618-9771-2020-4-2-144-153.

19 Анистратова О.В., Соклаков В.В. Исследование показателей качества и безопасности йогурта, обогащенного растительными компонентами // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2020. Т. 9. № 2. С. 62–66.

20 Шмырева А.В., Алексеева Ю.А. Оценка качества и показатели безопасности йогурта // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК. 2022. С. 362–366.

21 Меньшикова З.Н., Киселева А.С., Щеголева М.А. Оценка качества и показатели безопасности йогуртов // Инновационная наука. 2020. № 5. С. 78–81.

References

1 Leal M.R.S., Albuquerque P.B.S., Rodrigues N.E.R., Silva P.M.S., Oliveira W\.F., Correia M.T.S., Kennedy J.F., Coelho L.C.B.B. A review on the use of polysaccharides as thickeners in yogurts // Carbohydrate Polymer Technologies and Applications. 2024. vol. 8. p. 100547. doi: 10.1016/j.carpta.2024.100547.

2 Razhina E.V., Smirnova E.S., Lopaeva N.L., Stakheeva L.M., Khairova I.M., Sinko V.N., Shilovtsev A.V., Galushina P.S. Development of yogurt formulation using *Clitoria ternatea* // Novye Tekhnologii / New Technologies. 2024. vol. 20. no. 4. pp. 61–71. doi: 10.47370/2072–0920–2024–20–4–61–71. (in Russian).

3 Dhakal D., Kumar G., Devkota L., Subedi D., Dhital S. The choice of probiotics affects the rheological, structural, and sensory attributes of lupin-oat-based yoghurt // Food Hydrocolloids. 2024. vol. 156. p. 110353. doi: 10.1016/j.foodhyd.2024.110353.

4 Jany J.F., Nupur A.H., Akash S.I., Karmoker P., Mazumder M.A.R., Alim M.A. Fortification of functional yogurt by the phytochemicals extracted from pomegranate peel // Applied Food Research. 2024. vol. 4. no. 2. p. 100479. doi: 10.1016/j.apfoodres.2024.100479.

5 Reznichenko I.Yu., Ageenko D.D., Shcheglov M.S. Quality analysis of flour confectionery products using quality function deployment method // Polzunovsky Vestnik. 2022. no. 2. (in Russian).

6 Ji C., Wang Y. Nanocellulose-stabilized Pickering emulsions: Fabrication, stabilization, and food applications // Advances in Colloid and Interface Science. 2023. vol. 318. p. 102970. doi: 10.1016/j.cis.2023.102970.

7 Pujianto D., Amalia R. Setting priority for improvement of yogurt production process using quality function deployment (QFD) on household industry (IRT) X, Sumedang // Agroindustrial Journal. 2017. vol. 4. no. 1. pp. 1–10. doi: 10.22146/agroindustrial.12345.

8 D'Andrea A.E., Kinchla A.J., Nolden A.A. A comparison of the nutritional profile and nutrient density of commercially available plant-based and dairy yogurts in the United States // Frontiers in Nutrition. 2023. vol. 10. article 1195045. doi: 10.3389/fnut.2023.1195045.

9 Tong Q., Yan S., Wang S. Optimization of process technology and quality analysis of a new yogurt fortified with *Morchella esculenta* // Food Science and Technology (Campinas). 2022. vol. 42. no. 1. article e45822. doi: 10.1590/fst.45822.

10 Dusabe A., Chacha M., Vianney J.M., Raymond J. Development of plant-based yoghurt rich in bioavailable essential nutrients and bioactive compounds from ingredients available in East Africa // Current Research in Nutrition and Food Science. 2021. vol. 10. no. 1. pp. 200–210. doi: 10.12944/CRNFSJ.10.1.20.

11 Montemurro M., Pontonio E., Coda R., Rizzello C.G. Plant-based alternatives to yogurt: State-of-the-art and perspectives of new biotechnological challenges // Foods. 2021. vol. 10. no. 2. p. 316. doi: 10.3390/foods10020316.

12 Santoso I., Rau H., Choirun A., Aprilianto H.C., Lestari K., A'yuniah S., Kusumaningtyas O.W. Application of QFD in sustainable new product development in the agro-industrial sector: A systematic literature review // International Journal of Sustainable Engineering. 2024. vol. 17. no. 1. pp. 926–944. doi: 10.1080/19397038.2024.2417016.

13 Serdyukova Ya.P., Kazarova I.G. Development of the production technology and study of fermented milk product from goat milk // Actual Issues of Science and Practice in the Innovative Development of Agro-Industrial Complex. 2020. pp. 99–105. (in Russian).

14 Demina E.N., et al. Comprehensive assessment of enriched yogurt quality // Polzunovsky Vestnik. 2020. no. 1. pp. 56–60. (in Russian).

15 Yakovleva S.Yu., Trigub V.V., Popov V.G. Improvement of formulations and technologies for the production of functional yogurt // Food Industry. 2022. vol. 6. no. 2. pp. 67–74. (in Russian).

16 Cudjoe M.C., Akunor P.T., Blessie E.J.S., et al. Optimizing the formulation of yogurt from soy milk, tropical almond milk and orange-fleshed sweet potato puree // SSRN Electronic Journal. 2024. doi: 10.2139/ssrn.4945002.

17 Gholamipour-Shirazi A., Mossige E.J.L. Impact of mixing on flavor and aroma development in fermented foods // arXiv preprint. 2024. arXiv:2412.10190. doi: 10.48550/arXiv.2412.10190.

18 Nikitina Yu.V., Topnikova E.V., Lepilkina O.V., Kashnikova O.G. Technological and methodological aspects of producing low- and lactose-free dairy products // Food Systems. 2021. vol. 4. no. 2. pp. 144–153. doi: 10.21323/2618-9771-2020-4-2-144-153. (in Russian).

19 Anistratova O.V., Soklakov V.V. Study of quality and safety indicators of yogurt enriched with plant components // XXI Century: Outcomes of the Past and Present-day Challenges Plus. 2020. vol. 9. no. 2. pp. 62–66. (in Russian).

20 Shmyreva A.V., Alekseeva Yu.A. Assessment of yogurt quality and safety indicators // Student Research on Solving Topical Issues of the Agro-Industrial Complex. 2022. pp. 362–366. (in Russian).

21 Menshikova Z.N., Kiseleva A.S., Shchegoleva M.A. Quality and safety assessment of yogurts // Innovative Science. 2020. no. 5. pp. 78–81. (in Russian).

Сведения об авторах

Татьяна С. Коршик к.т.н., доцент, кафедра таможенной и товароведческой экспертизы, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия, korshikts@mgupp.ru
https://orcid.org/0000-0003-3683-2629

Анастасия Л. Мастихина к.т.н., доцент, кафедра таможенной и товароведческой экспертизы, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия, mastihinaal@mgupp.ru
https://orcid.org/0009-0009-3446-8553

Information about authors

Tatiana S. Korshik Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, department of customs and commodity expertise, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe highway, 11, Moscow, 125080, Russia, korshikts@mgupp.ru
https://orcid.org/0000-0003-3683-2629

Anastasiya L. Mastikhina Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, department of customs and commodity expertise, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe highway, 11, Moscow, 125080, Russia, mastihinaal@mgupp.ru
https://orcid.org/0009-0009-3446-8553

Ольга Д. Сергазиева к.с.-х.н., доцент, факультет биотехнологии и рыбного хозяйства, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Земляной Вал, д. 73, г. Москва, 109004, Россия, кафедра «Технология товаров и товароведение», ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», ул. Татищева, 16, корп. 2, г. Астрахань, 414056, Россия, o.sergazieva@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-2122-1318

Нелля Д. Аверьянова к.т.н, преподаватель высшей категории, отделение технологии и рыбного хозяйства, Волго-Каспийский морской рыбопромышленный колледж Астраханского государственного технического университета, ул. Набережная 1 Мая, стр. 47/3, г. Астрахань, 414014, Россия, avnellya@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0007-6566-2848

Olga D. Sergazieva Cand. Sci. (Agr.) associate professor, Faculty of Biotechnology and Fishery, and Management (First Cossack University), Zemlyanoy Val St., 73, Moscow, 109004, Russia, Department of Technology of the Goods and Commodity Research, Astrakhan State Technical University, 16 Tatischeva St., Bld. 2, Astrakhan, 414056, Russia, o.sergazieva@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-2122-1318

Nellya D. Averyanova Cand. Sci. (Engin.), Lecturer of the highest category, technology and fisheries department, Volga-Caspian Sea Fishing-Industry College of Astrakhan State Technical University, Naberezhnaya 1 Maya str. 47/3, Astrakhan, 414014, Russia, avnellya@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0007-6566-2848

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 08/02/2025	**После редакции** 07/04/2025	**Принята в печать** 10/05/2025

Received 08/02/2025	**Accepted in revised** 07/04/2025	**Accepted** 10/05/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-184-189 Оригинальная статья/Research article
УДК 641.85:635.656 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Влияние обогатителя растительного происхождения на функциональные свойства печенья овсяного

Валерия Н. Нартова [1] iwakina.val@ya.ru 0009-0007-4589-6428
Надежда Н. Алёхина [1] nadinat@ya.ru 0000-0002-3317-9858
Елена И. Пономарева [1] elena6815@ya.ru 0000-0003-2310-2838
Светлана И. Лукина [1] lukina.si@ya.ru 0000-0003-4393-2046

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

Аннотация. В настоящее время исследования, направленные на разработку изделий, сырьем для которых являются побочные продукты переработки зернобобовых культур с ценным составом биологически активных веществ, являются актуальными для здорового питания людей. Поэтому на первом этапе оценивали химический и аминокислотный состав, биологическую и энергетическую ценность изделий; на втором этапе исследовали их антиоксидантные свойства. Объектами исследования являлись образцы печенья овсяного – контроля и с 15 % заменой муки пшеничной высшего сорта на муку из гороха дробленого. В результате проведенных исследований выявлено, что применение обогатителя позволило повысить пищевую ценность изделия за счет увеличения содержания белка на 19,4 %, пищевых волокон – на 39,5 %, минеральных веществ – на 20-37 %, витаминов группы В – на 39,3 %, биологическую ценность – на 14,7 %, содержание антиоксидантов – на 7,6 %, а также привело к снижению энергетической ценности относительно контроля. Лимитирующей аминокислотой в обоих образцах являлся лизин, являющийся основой строительного материала клеток и тканей организма человека и играющий важную роль в физиологии питания людей. Содержание лизина было выше на 52 % в обогащенном изделии относительно контрольного образца. Таким образом, установлена перспективность применения муки из гороха дробленого для производства обогащенных, безглютеновых продуктов питания с целью поддержания здоровья людей.

Ключевые слова: мука из гороха дробленого, обогатитель, печенье овсяное, пищевая ценность, антиоксидантная активность.

The effect of a plant-based fortifier on the functional properties of oatmeal cookies

Valeria N. Nartova [1] iwakina.val@ya.ru 0009-0007-4589-6428
Nadezhda N. Alekhina [1] nadinat@ya.ru 0000-0002-3317-9858
Elena I. Ponomareva [1] elena6815@ya.ru 0000-0003-2310-2838
Svetlana I. Lukina [1] lukina.si@ya.ru 0000-0003-4393-2046

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

Abstract. Currently, research aimed at developing products using legume processing by-products with a valuable composition of biologically active substances as raw materials is relevant for healthy human nutrition. Therefore, at the first stage, the chemical and amino acid composition, biological and energy value of the products were assessed; at the second stage, their antioxidant properties were studied. The objects of the study were oatmeal cookie samples - control and with 15% replacement of premium wheat flour with crushed pea flour. As a result of the studies, it was found that the use of a fortifier made it possible to increase the nutritional value of the product by increasing the protein content by 19.4%, dietary fiber - by 39.5%, minerals - by 20-37%, B vitamins - by 39.3%, biological value - by 14.7%, antioxidant content - by 7.6%, and also led to a decrease in energy value relative to the control. The limiting amino acid in both samples was lysine, which is the basis of the building material of cells and tissues of the human body and plays an important role in the physiology of human nutrition. The lysine content was 52% higher in the enriched product relative to the control sample. Thus, the prospects for using crushed pea flour for the production of enriched, gluten-free food products for the purpose of maintaining human health were established.

Keywords: crushed pea flour, fortifier, oatmeal cookies, nutritional value, antioxidant activity.

Введение

Одной из ключевых задач государственной политики в области здорового питания является разработка продуктов профилактической направленности с целью поддержания и укрепления здоровья людей [1].

Широкий спрос у потребителей имеют мучные кондитерские изделия, в том числе овсяное печенье, но несмотря на их вкусовые достоинства и ценовую доступность, они обладают недостаточным содержанием физиологически важных нутриентов, что вызывает необходимость их обогащения биологически активными веществами [2, 3].

Для цитирования
Нартова В.Н., Алёхина Н.Н., Пономарева Е.И., Лукина С.И. Влияние обогатителя растительного происхождения на функциональные свойства печенья овсяного //Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 184–189. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-184-189

For citation
Nartova V.N., Alekhina N.N., Ponomareva E.I., Lukina S.I. The effect of a plant-based fortifier on the functional properties of oatmeal cookies. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 184–189. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-184-189

©2025, Нартова В.Н. и др. / Nartova V.N. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Особое внимание среди возможных обогатителей уделяется нетрадиционным видам растительного сырья благодаря их доступности и ценному химическому составу [4–6]. При этом перспективным сырьем представляется мука из гороха дробленого, основой которой является побочный продукт переработки гороха. Она обладает высоким содержанием белка, пищевых волокон, минеральных веществ, сбалансированным аминокислотным составом и, как следствие, достаточно высокой биологической ценностью [7].

Исследования показывают, что горох, как и его побочные продукты, обладают высокой антиоксидантной активностью благодаря наличию различных биологически активных компонентов, таких как полифенолы (флавоноиды, фенольные кислоты), биоактивные пептиды [8].

Таким образом, существует необходимость изучения влияния обогатителя на качество печенья овсяного с позиции функциональности.

Цель работы – исследование влияния муки из гороха дробленого на показатели пищевой ценности и антиоксидантные свойства печенья овсяного.

Исследования были проведены в 2 этапа: на первом этапе определяли химический и аминокислотный состав изделий, их биологическую и энергетическую ценность; на втором этапе оценивали антиоксидантную активность печенья.

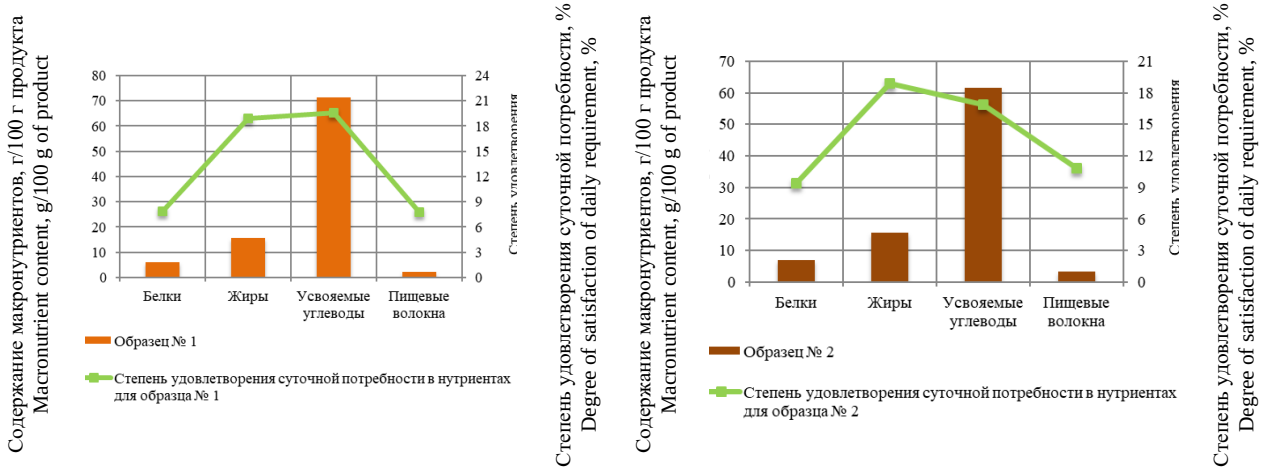
Материалы и методы

Объектами исследования являлись образцы овсяного печенья: образец № 1 – контроль (без обогатителя), образец № 2 – с 15% заменой пшеничной хлебопекарной муки высшего сорта на муку из гороха дробленого (МГД) [9].

Получение муки из гороха дробленого осуществлялось путем измельчения дробленого гороха дезинтеграционно-волновым способом до размера частиц 25–30 мкм [10]. Химический и аминокислотный состав, биологическую и энергетическую ценность изделий определяли расчетным путем посредством полученных экспериментальных значений [7] и данных справочной литературы [11]. Суммарное содержание антиоксидантов определяли на приборе «ЦветЯуза-01-АА» амперометрическим методом.

Обсуждение

На первом этапе исследований анализ количества макронутриентов и степени удовлетворения в них суточной потребности за счет употребления образца печенья овсяного № 1 и № 2 показал, что содержание белка выше в печенье с обогатителем по сравнению с контролем на 19,4%, пищевых волокон – на 39,5%, а значение усвояемых углеводом меньше на 15,9% (рисунок 1 *а, б*). Потребление 100 г. изделия с внесением 15% МГД позволит обеспечить степень удовлетворения суточной потребности в пищевых волокнах на 10,8%, а в белке – на 9,4%.



(a) (b)

Рисунок 1. Содержание макронутриентов и степень удовлетворения в них суточной потребности в образцах печенья овсяного № 1 (а) и № 2 (б)

Figure 1. The content of macronutrients and the degree of satisfaction of the daily requirement in them in samples of oatmeal biscuits № 1 (a) and № 2 (b)

Выявлено, что образец печенья овсяного № 2 обладает более низкой энергетической ценностью (1741 кДж/100 г продукта), чем контрольный образец № 1 (1884 кДж/100 г продукта).

Сравнительная оценка минерального состава исследуемых объектов показала, что образец печенья № 2 превосходил образец № 1 по содержанию макро- и микроэлементов на 20–37% (рисунок 2).

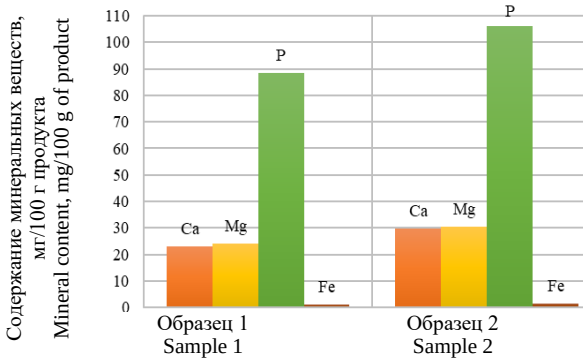


Рисунок 2. Содержание минеральных веществ в образцах печенья овсяного № 1, 2

Figure 2. Mineral content in samples of oatmeal biscuits № 1, 2

При исследовании количества витаминов в анализируемых изделиях выявлено, что печенье с внесением муки из гороха дробленого содержало больше витамина B_1 на 39,3% по сравнению с образцом без обогатителя, при этом доля витамина B_2 практически не отличалась в обоих образцах (рисунок 3)

Анализ аминокислотного состава исследуемых объектов показал, что лимитирующей аминокислотой в обоих образцах является лизин, при этом его содержание в печенье с внесением муки из гороха дробленого выше на 52% по сравнению с контрольным изделием (рисунок 4 *а, б*). Лизин является абсолютно незаменимой аминокислотой для организма человека, его недостаток в питании приводит к снижению числа эритроцитов и уменьшению гемоглобина, возникновению дистрофических изменений в мышцах и органах, нарушению кальцификации костей. Выявлено более высокое содержание всех незаменимых аминокислот в образце № 2 относительно образца № 1.

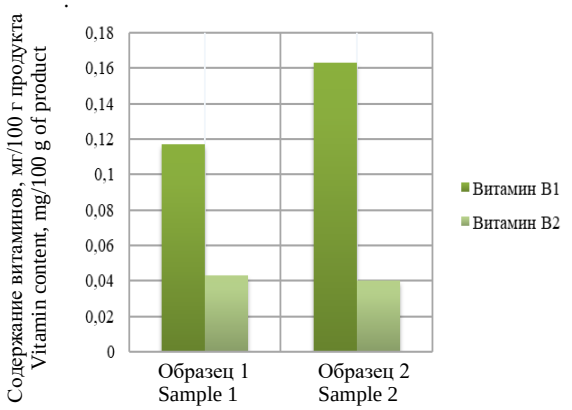
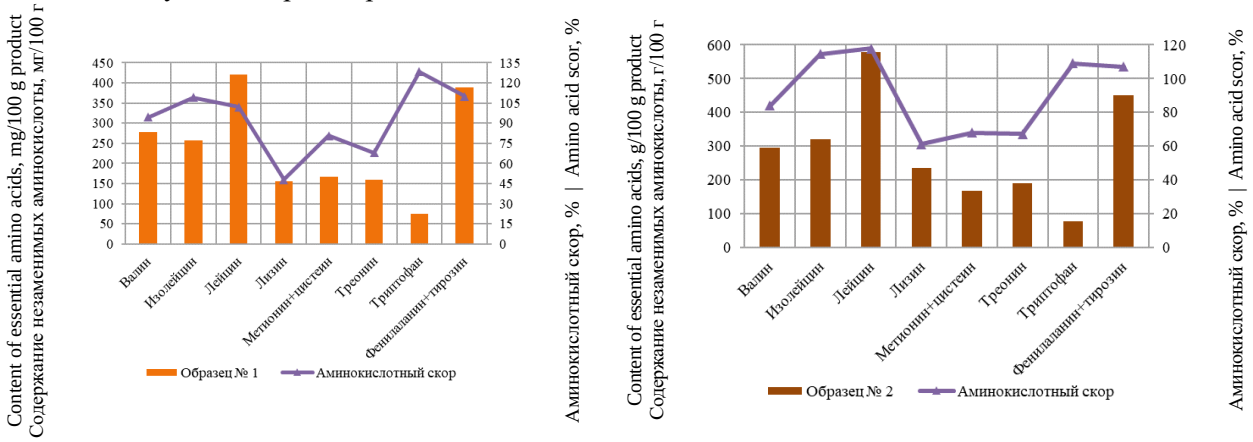


Рисунок 3. Содержание витаминов B_1 и B_2 в исследуемых образцах № 1, 2

Figure 3. The content of vitamins B_1 and B_2 in the studied samples № 1, 2



(a) (b)

Рисунок 4. Содержание незаменимых аминокислот и аминокислотный скор образцов печенья овсяного № 1 (а) и № 2 (б)

Figure 4. The content of essential amino acids and the amino acid score of oatmeal cookie samples № 1 (a) and № 2 (b)

В результате расчета биологической ценности печенья овсяного установлено, что ее значение больше на 14,7% в образце с обогатителем по сравнению с контрольным образцом (рисунок 5), что указывает на повышение сбалансированности аминокислотного состава белка изделия с внесением муки из гороха дробленого.

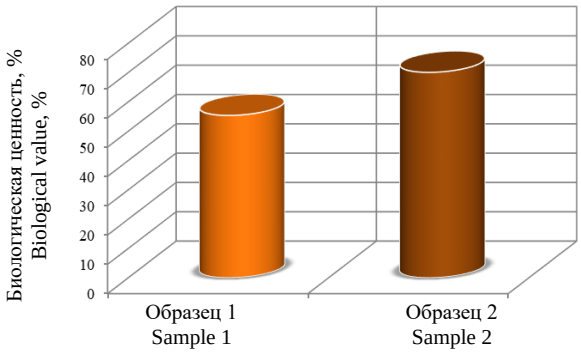


Рисунок 5. Биологическая ценность образцов № 1, 2

Figure 5. Biological value of samples № 1, 2

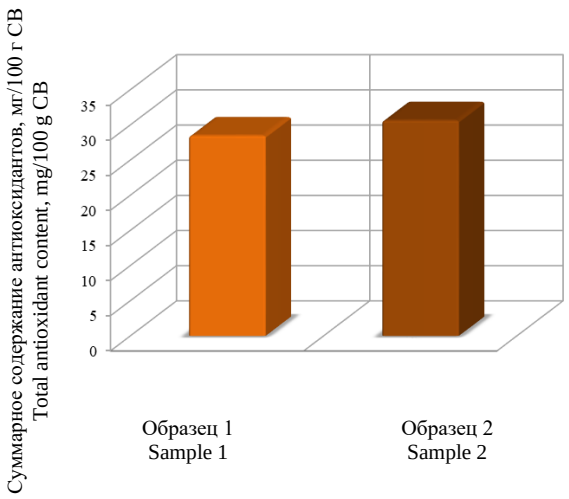


Рисунок 6. Суммарное содержание антиоксидантов в образцах печенья № 1, 2 в пересчете на абсолютно сухую массу

Figure 6. Total antioxidant content in cookie samples № 1, 2 in terms of dry mass

На втором этапе исследования осуществлялся сравнительный анализ антиоксидантной активности образцов печенья овсяного, в результате которого выявлено, что в изделии с обогатителем (образец № 2) суммарное содержание антиоксидантов выше на 7,6% относительно контрольного объекта (образец № 1) (рисунок 6). Это обусловлено вносимыми с мукой из гороха дробленого антиоксидантными веществами, такими как полифенолы, особенно флавоноиды, в том числе кемпферол, а также биоактивными пептидами [8].

Заключение

Оценили влияние обогатителя на показатели пищевой ценности и антиоксидантную активность печенья овсяного. Выявлено, что внесение муки из гороха дробленого способствует повышению содержания белка, пищевых волокон, минеральных веществ, витаминов группы В и снижению энергетической ценности изделия. Образец № 2 характеризовался большей биологической ценностью по сравнению с образцом № 1, и как следствие, более сбалансированным аминокислотным составом. Овсяное печенье с 15% муки из гороха дробленого имело более высокую антиоксидантную активность относительно контроля.

Полученные данные свидетельствуют о целесообразности применения муки из гороха дробленого в технологии печенья овсяного и других продуктов питания с целью повышения их пищевой ценности. Внесение данного обогатителя перспективно для производства безглютеновых изделий, продуктов здорового питания, а также способствует повышению ресурсосбережения в сфере АПК за счет применения побочного продукта переработки гороха.

Литература

1 Белякова Н.И., Шилов В.В., Журня А.А. Достижения и перспективы разработки продуктов функционального и специализированного назначения // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2021. Т. 14. № 2(52). С. 30–36. doi: 10.47612/2073–4794–2021–14–2(52) – 30–36.

2 Козубаева Л.А. Применение конопляной муки при производстве кексов // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 27–33. doi: 10.25712/ASTU.2072–8921.2021.01.004.

3 Ланшина Я.Ю. Инновационные подходы повышения пищевой ценности мучных кондитерских изделий // Инновационные научные исследования. 2021. № 4–2(6). С. 46–61. doi: 10.5281/zenodo.4782021.

4 Габдукаева Л.З. Разработка технологии мучных кондитерских изделий, обогащенных эссенциальными нутриентами // Хранение и переработка сельхозсырья. 2024. № 2. С. 116–132. doi: 10.36107/spfp.2024.2.457.

5 Овакимян С.Л. Характеристика растительных добавок, содержащих пищевые волокна, используемых для производства кондитерских изделий // Парадигма. 2022. № 5. С. 38–41.

6 Guillin F.M., Gaudichon C., Guérin-Deremaux L., Lefranc-Millot C. et al. Real ileal amino acid digestibility of pea protein compared to casein in healthy humans: a randomized trial // The American journal of clinical nutrition. 2022. Vol. 115(2). P. 353–363. doi:10.1093/ajcn/nqab354.

7 Алехина Н.Н., Пономарева Е.И., Ивакина В.Н. Мука из дроблёного гороха – перспективное сырьё для производства продуктов питания // Хлебопродукты. 2024. № 5. С. 48–51. doi: 10.32462/0235–2508–2024–33–5–48–51.

8 Wu D.T., Li W.X., Wan J.J., Hu Y.C. et al. Comprehensive Review of Pea (*Pisum sativum* L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications // Foods. 2023. Vol. 12. P. 2527. doi: 10.3390/foods12132527.

9 Пат. № 2830209, RU, A21D 8/02, A21D 13/045, A21D 13/047, A21D 13/80, A21D 2/36. Способ производства печенья овсяного профилактической направленности / Алехина Н.Н., Ивакина В.Н. № 2024114962; Заявл. 31.05.2024; Опубл. 14.11.2024. Бюл. № 32.

10 Пожидаева Е.А., Попов Е.С., Окорокова А.М., Хорпяков М.М. и др. Кисломолочный напиток обогащенный продуктами глубокой переработки виноградной косточки // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86, № 2. С. 153–159. doi:10.20914/2310–1202–2024–2–153–159.

11 Тутельян В.А., Долгушкин Н.К., Никитюк Д.Б. Химический состав российских пищевых продуктов: справочник. Москва: ТД ДеЛи, 2024. 193 с.

12 Singh A., Poonia A. Pea Pod Powder as a Value-Added Food Ingredient for Enhancing the Nutritional and Antioxidant Properties of Cookies // The Indian Journal of Nutrition and Dietetics. 2023. Vol. 60. № 1. P. 112–117. doi: 10.21048/IJND.2023.60.1.31002.

13 Tarannum R., Alam A., Hasan M.S., Rabby G., Raiyan A., Parvin R., Alam M., Zahid M.A. Development of oats flour and bitter gourd fortified cookies: Effects on physicochemical, antioxidant, antimicrobial, and sensory attributes // PLOS ONE. 2025. Vol. 20. № 1. C. e0316575. doi: 10.1371/journal.pone.0316575.

14 Felisiak K., Przybylska S., Tokarczyk G., Tabaszewska M., Słupski J., Wydurska J. Effect of Chickpea (Cicer arietinum L.) Flour Incorporation on Quality, Antioxidant Properties, and Bioactive Compounds of Shortbread Cookies // Foods. 2024. Vol. 15. № 13. P. 2356. doi: 10.3390/foods13152356

15 Cipollone M.A., Tironi V.A. Yellow pea flour and protein isolate as sources of antioxidant peptides after simulated gastrointestinal digestion // Legume Science. 2020. Vol. 2. № 4. e59. doi: 10.1002/leg3.59

16 1Costantini M., Summo C., Centrone M. et al. Macro- and Micro-Nutrient Composition and Antioxidant Activity of Chickpea and Pea Accessions // Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. 2021. Vol. 71. № 2 P.177–185. doi: 10.31883/pjfns/135813.

17 Lee H., Shahbaz H.M., Yang J. et al. Effect of high pressure processing combined with lactic acid bacteria on the microbial counts and physicochemical properties of uncooked beef patties during refrigerated storage // J Food Process Preserv. 2021. Vol. 45. e15345. doi: 10.1111/jfpp.15345

18 Miedzianka J., Drzymała K., Nemś A. et al. Comparative evaluation of the antioxidant, antimicrobial and nutritive properties of gluten-free flours // Sci Rep. 2021. 11:10385. https://doi.org/10.1038/s41598-021-89845-6

19 Ertaş N., Aslan M. Antioxidant and physicochemical properties of cookies containing raw and roasted hemp flour // Acta Sci. Pol. Technol. Aliment. 2020. 19(2):177–184. doi: 10.17306/J.AFS.2020.0795

20 Никифорова Т.А., Хон И.А. Повышение пищевой ценности овсяного печенья // Материалы докладов XII Международной конференции «Торты. Вафли. Печенье. Пряники–2020. Производство–Рынок–Потребитель». М.: 2020. Т. 26. С. 38.

21 Свица Т.С. Разработка безглютеновых мучных кондитерских изделий в диабетической нутрициологии : дис. … канд. техн. наук. Сибирский федеральный университет, 2025.

22 Козубаева Л.А., Кузьмина С.С. Современные тенденции формирования ассортимента безглютеновых мучных кондитерских изделий // Ползуновский вестник. 2022. Т. 1. № 4. С. 57–67.

23 Попов В.Г., Хайруллина Н.Г., Садыкова Х.Н. Тенденции использования безглютеновых видов муки в производстве продукции функционального назначения // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. Т. 83. № 1. С. 121–128.

References

1 Belyakova N.I., Shilov V.V., Zhurnya A.A. Achievements and prospects for the development of functional and specialized products. Food Industry: Science and Technology. 2021. vol. 14. no. 2(52). pp. 30–36. doi: 10.47612/2073–4794–2021–14–2(52)–30–36 (in Russian).

2 Kozubaeva L.A. Application of hemp flour in muffin production. Polzunovsky Bulletin. 2021. no. 1. pp. 27–33. doi: 10.25712/ASTU.2072–8921.2021.01.004 (in Russian).

3 Lanshina Ya.Yu. Innovative approaches to improving the nutritional value of flour confectionery. Innovative Scientific Research. 2021. no. 4–2(6). pp. 46–61. doi: 10.5281/zenodo.4782021 (in Russian).

4 Gabdukaeva L.Z. Development of technology for flour confectionery enriched with essential nutrients. Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. 2024. no. 2. pp. 116–132. doi: 10.36107/spfp.2024.2.457 (in Russian).

5 Ovakimyan S.L. Characteristics of plant additives containing dietary fiber used in the production of confectionery products. Paradigma. 2022. no. 5. pp. 38–41. (in Russian).

6 Guillin F.M., Gaudichon C., Guérin-Deremaux L., Lefranc-Millot C. et al. Real ileal amino acid digestibility of pea protein compared to casein in healthy humans: a randomized trial. The American Journal of Clinical Nutrition. 2022. vol. 115. no. 2. pp. 353–363. doi:10.1093/ajcn/nqab354.

7 Alekhina N.N., Ponomareva E.I., Ivakina V.N. Flour from crushed peas – a promising raw material for food production. Khleboprodukty. 2024. no. 5. pp. 48–51. doi: 10.32462/0235–2508–2024–33–5–48–51 (in Russian).

8 Wu D.T., Li W.X., Wan J.J., Hu Y.C. et al. Comprehensive Review of Pea (Pisum sativum L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications. Foods. 2023. vol. 12. pp. 2527. doi: 10.3390/foods12132527.

9 Alekhina N.N., Ivakina V.N. Method for producing oat cookies of prophylactic purpose. Patent RU no. 2830209. Appl. no. 2024114962; filed 31.05.2024; publ. 14.11.2024. Bull. no. 32. (in Russian).

10 Pozhidaeva E.A., Popov E.S., Okorokova A.M., Khorkpyakov M.M. et al. Fermented milk drink enriched with deep-processed grape seed products. Proceedings of VSUET. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 153–159. doi:10.20914/2310–1202–2024–2–153–159 (in Russian).

11 Tutelyan V.A., Dolgushkin N.K., Nikityuk D.B. Chemical composition of Russian food products: reference book. Moscow: TD DeLi, 2024. 193 p. (in Russian).

12 Singh A., Poonia A. Pea Pod Powder as a Value-Added Food Ingredient for Enhancing the Nutritional and Antioxidant Properties of Cookies. The Indian Journal of Nutrition and Dietetics. 2023. vol. 60. no. 1. pp. 112–117. doi: 10.21048/IJND.2023.60.1.31002.

13 Tarannum R., Alam A., Hasan M.S., Rabby G., Raiyan A., Parvin R., Alam M., Zahid M.A. Development of oats flour and bitter gourd fortified cookies: Effects on physicochemical, antioxidant, antimicrobial, and sensory attributes. PLOS ONE. 2025. vol. 20. no. 1. e0316575. doi: 10.1371/journal.pone.0316575.

14 Felisiak K., Przybylska S., Tokarczyk G., Tabaszewska M., Słupski J., Wydurska J. Effect of Chickpea (Cicer arietinum L.) Flour Incorporation on Quality, Antioxidant Properties, and Bioactive Compounds of Shortbread Cookies. Foods. 2024. vol. 13. no. 15. pp. 2356. doi: 10.3390/foods13152356.

15 Cipollone M.A., Tironi V.A. Yellow pea flour and protein isolate as sources of antioxidant peptides after simulated gastrointestinal digestion. Legume Science. 2020. vol. 2. no. 4. e59. doi: 10.1002/leg3.59.

16 Costantini M., Summo C., Centrone M. et al. Macro- and Micro-Nutrient Composition and Antioxidant Activity of Chickpea and Pea Accessions. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. 2021. vol. 71. no. 2. pp. 177–185. doi: 10.31883/pjfns/135813.

17 Lee H., Shahbaz H.M., Yang J. et al. Effect of high pressure processing combined with lactic acid bacteria on the microbial counts and physicochemical properties of uncooked beef patties during refrigerated storage. Journal of Food Processing and Preservation. 2021. vol. 45. e15345. https://doi.org/10.1111/jfpp.15345

18 Miedzianka J., Drzymała K., Nemś A. et al. Comparative evaluation of the antioxidant, antimicrobial and nutritive properties of gluten-free flours. Scientific Reports. 2021. vol. 11. pp. 10385. https://doi.org/10.1038/s41598-021-89845-6

19 Ertaş N., Aslan M. Antioxidant and physicochemical properties of cookies containing raw and roasted hemp flour. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. 2020. vol. 19. no. 2. pp. 177–184. https://doi.org/10.17306/J.AFS.2020.0795

20 Nikiforova T.A., Khon I.A. Improving the nutritional value of oatmeal cookies. Proceedings of the 12th International Conference 'Cakes. Waffles. Cookies. Gingerbreads–2020. Production–Market–Consumer'. Moscow, 2020. vol. 26. p. 38. (in Russian).

21 Svitsa T.S. Development of gluten-free flour confectionery in diabetic nutritionology: Cand. Sci. (Tech.) diss. Siberian Federal University, 2025. (in Russian).

22 Kozubaeva L.A., Kuzmina S.S. Modern trends in the formation of the assortment of gluten-free flour confectionery. Polzunovsky Bulletin. 2022. vol. 1. no. 4. pp. 57–67. (in Russian).

23 Popov V.G., Khairullina N.G., Sadykova Kh.N. Trends in the use of gluten-free flours in the production of functional products. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2021. vol. 83. no. 1(87). pp. 121–128. (in Russian).

Сведения об авторах

Валерия Н. Нартова магистр, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия,iwakina.val@ya.ru
https://orcid.org/0009-0007-4589-6428

Надежда Н. Алёхина 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, nadinat@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-3317-9858

Елена И. Пономарева 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,elena6815@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-2310-2838

Светлана И. Лукина 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, lukina.si@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-4393-2046

Information about authors

Valeria N. Nartova master, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, iwakina.val@ya.ru
https://orcid.org/0009-0007-4589-6428

Nadezhda N. Alekhina 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, nadinat@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-3317-9858

Elena I. Ponomareva 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, elena6815@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-2310-2838

Svetlana I. Lukina 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, lukina.si@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-4393-2046

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/02/2025	**После редакции** 18/02/2025	**Принята в печать** 10/03/2025
Received 11/02/2025	**Accepted in revised** 18/02/2025	**Accepted** 10/03/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-190-197 Оригинальная статья/Research article
УДК 663.127 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Исследование морфофизиологических свойств дрожжей, перспективных для производства этанола

Светлана Г. Давыденко [1] davydenko@baltika.com 0000-0001-8005-4743
Татьяна В. Меледина [2] meledinata@ya.ru 0000-0001-7485-2802
Анастасия Андреева [2] aandreeva@itmo.ru 0000-0001-6179-2265

1 ООО «Пивоваренная компания «Балтика», 194292, СанктПетербург, 6-й Верхний пер., 3
2 Университет ИТМО, 191 002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Аннотация. Этиловый спирт широко применяется в пищевой, медицинской, косметической промышленности, а также рассматривается как альтернатива традиционному топливу благодаря своей возобновляемости и экологической безопасности. В условиях глобального роста интереса к биотопливу особое значение приобретают исследования, направленные на отбор штаммов дрожжей с высокой продуктивностью и устойчивостью к этанолу. Целью настоящей работы являлось изучение морфофизиологических характеристик и спиртоустойчивости штаммов Saccharomyces cerevisiae, применяемых в биотехнологических процессах. Объектами исследования выступали штаммы С16, С25 и С48 из коллекции Университета ИТМО, а также контрольный штамм пекарских дрожжей RCAM 02150. Проведена молекулярно-генетическая идентификация методом ПЦР и HRM-анализа. Физиологическая активность оценивалась по объему выделенного диоксида углерода и содержанию мертвых клеток после культивирования в среде с этанолом. Дополнительно исследовалась морфология и флокуляционная способность дрожжей. Полученные результаты показали, что дрожжи штамма С25 характеризуются наибольшей ферментативной активностью при сохранении высокой жизнеспособности в присутствии 10–20% этанола. Штамм С16 продемонстрировал более низкую метаболическую активность, что, вероятно, связано с повышенной флокуляцией. При этом все штаммы имеют близкое таксономическое родство и различаются по форме и размеру клеток. Выявленные различия подчеркивают необходимость использования комплексных подходов при скрининге дрожжей, включая морфологический анализ, количественную оценку клеток и определение физиологической устойчивости к этанольному стрессу.

Ключевые слова: дрожжи, этанол, морфология, устойчивость, клетка..

Investigation of morphophysiological properties of yeast promising for ethanol production

Svetlana G. Davydenko [1] davydenko@baltika.com 0000-0001-8005-4743
Tatiana V. Meledina [2] meledinata@ya.ru 0000-0001-7485-2802
Anastasia Andreeva [2] aandreeva@itmo.ru 0000-0001-6179-2265

1 Baltika Brewing Company, 194292, St. Petersburg, 6th Upper Lane, 3
2 ITMO University, 9 Lomonosova str., Saint Petersburg, 191 002

Abstract. Ethyl alcohol is widely used in the food, medical, and cosmetic industries, and is also considered an alternative to traditional fuels due to its renewability and environmental safety. In the context of the global growth of interest in biofuels, research aimed at selecting yeast strains with high productivity and resistance to ethanol is of particular importance. The purpose of this work was to study the morphophysiological characteristics and alcohol resistance of Saccharomyces cerevisiae strains used in biotechnological processes. The objects of the study were strains C16, C25 and C48 from the collection of ITMO University, as well as the control strain of baker's yeast RCAM 02150. The molecular genetic identification was carried out by PCR and HRM analysis. Physiological activity was assessed by the volume of carbon dioxide released and the content of dead cells after cultivation in an ethanol medium. Additionally, the morphology and flocculation ability of yeast were studied. The results showed that yeast strain C25 is characterized by the highest enzymatic activity while maintaining high viability in the presence of 10-20% ethanol. Strain C16 showed lower metabolic activity, which is probably due to increased flocculation. At the same time, all strains have a close taxonomic relationship and differ in cell shape and size. The revealed differences emphasize the need to use comprehensive approaches in yeast screening, including morphological analysis, cell quantification, and determination of physiological resistance to ethanol stress.

Keywords: yeast, ethanol, morphology, stability, cell.

Для цитирования
Давыденко С.Г. Меледина Т.В. Андреева А. Исследование морфофизиологических свойств дрожжей, перспективных для производства этанола // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 190–197. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-190-197

For citation
Davydenko S.G. Meledina T.V. Andreeva A. Investigation of morphophysiological properties of yeast promising for ethanol production. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 190–197. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-190-197

© 2025, Давыденко С.Г. и др. / Davydenko S.G. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Этиловый спирт является востребованным сырьем в различных отраслях народного хозяйства, в частности в пищевой промышленности, медицине, косметологии. В последнее время, в связи с необходимостью снизить нагрузку на экологию, этанол используют в качестве топлива, частично заменяя бензин и дизельное топливо в двигателях внутреннего сгорания [1]. Кроме того, для многих стран, которые имеют дефицит углеродных ископаемых, замена части бензина на этанол является решением проблемы снижения себестоимости топлива. В настоящее время 95% этанола, производимого из растительного сырья, заменяет 32% бензина [2]. Для производства этанола используется быстро возобновляемое растительное сырье или отходы пищевых предприятий [3-5]. Разрабатываются технологии получения этанола из лигнин содержащих отходов после переработки древесины [6; 7], а также бытовых углеводсодержащих отходов [8]. Появляются работы, в которых предлагают получать этанол из различных экзотических для Российской Федерации растений [4]. Не зависимо от источника сырья в технологии производства биоэтанола обязательной стадией является ферментация гидролизатов, содержащих редуцируемые сахара [9]. Количество сбраживаемых дрожжами углеводов в них колеблется от 0,7 г/л [6] до 138г/л [9]. Именно поэтому меласса, содержащая до 50% сахарозы, по-прежнему является перспективным сырьем. Важно, что именно благодаря высокому содержанию сахарозы можно эффективно перерабатывать высоко концентрированные среды [2, 10]. Так, выделенные Саидом Кешкаром с поверхности ягод винограда дрожжи Hanseniaspora oputiae способны расти в среде, содержащей 50% глюкозы. Установлено, что данный вид дрожжей является спиртоустойчивым и может продуцировать до 21% этанола [11, 12]. По всей видимости и среди дрожжей сахаромицетов могут быть штаммы, которые значительно повысят выход этанола. Эти дрожжи должны характеризоваться осмо- и спирто – устойчивостью [1, 13–16].

Цель работы – исследовать морфофизиологические свойства и спиртоустойчивость дрожжей сахаромицетов, применяемых в различных биотехнологических процессах.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись:

– штаммы спиртовых дрожжей С16, С25, С48 Saccharomyces cerevisiae из коллекции университета ИТМО (расшифровать);

– пекарские дрожжи штамм RCAM 02150 из коллекции ВКПМ (Москва).

Идентификация штаммов дрожжей методом ПЦР. Проведение ПЦР в реальном времени с последующим анализом кривых плавления высокого разрешения (HRM анализ) проводили на амплификаторе CFX96 BioRad. Реакционная смесь объёмом 20 мкл содержала 10,0 мкл Master Mix, 2х концентрации с красителем Sybr Green, MgCl2 концентрацией 2,5 мМ производства ООО «Бигль». Использовали праймеры ITS1 и ITS4 в концентрации 0,3 мМ

ООО «Бигль» и 1,5 мкл выделенной ДНК исследуемых штаммов [17, 18].

Условия ПЦР включали предварительную денатурацию при 95 ℃ – 420 с. и 45 циклов амплификации (60 ℃ – 15 с., 72 ℃ – 15 с., 95 ℃ – 15 с.). Режим HRM -20 чтений на 1 ºС.

На рисунке 1 изображена кривая температуры плавления контрольного образца, в котором отсутствуют дрожжи, соответственно отсутствуют и пики плавления ДНК (черная линия).

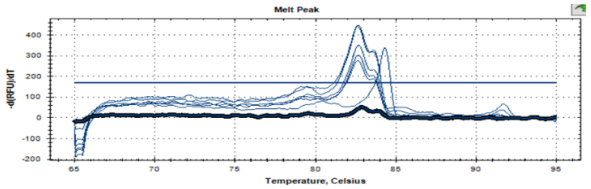


Рисунок 1. Кривая температур плавления (негативный контроль)

Figure 1. Melting temperature curve (negative control)

Результаты

Первоначальной задачей стояла оценка физиологической активности дрожжей. Для определения физиологической активности дрожжей был использован экспресс-метод С.Г. Давыденко, который дает возможность количественной оценки спиртоустойчивости и отбора перспективных штаммов для производства [19, 20]. Согласно методике, питательная среда для культивирования дрожжей содержала раствор глюкозы и восьмикратную среду YEP (8 х YEP), в состав которой входили 16% пептон и 8% дрожжевой экстракт. Количество глюкозы во всех вариантах опыта составляло 0,5 мл, среды 8 х YEP 0,25 мл, дрожжевой суспензии 10 х 107 клеток / мл – 0,5 мл. Количество воды и этанола вносили в зависимости от цели исследования (таблица 1). Общий объем суспензии в шприцах составлял 2 мл.

Для инокуляции использовали суспензию чистой культуры дрожжей исследуемых штаммов. План эксперимента по изучению влияния этанола на физиологию дрожжей приведен в таблице 1.

Таблица 1.

План эксперимента по изучению влияния этанола в концентрации 10% на физиологию дрожжей

Table 1.

The plan of the experiment to study the effect of ethanol at a concentration of 10% on the physiology of yeast

Образец Sample	Глюкоза, 40% Glucose, 40%	8 x YEP	Дрожжевая суспензия 10 x 10^7 клеток/мл Yeast suspension of 10 x 10^7 cells/ml	H_2O	Этанол ethanol
Контроль | Control	0,5	0,25	0,5	0,75	0
10% этанола | 10% ethanol	0,5	0,25	0,5	0,55	0,2

Полученные растворы перемешивали, набирали в шприц вместимостью 10 мл, герметично запаивали его нижний конец. Культивирование длилось 17 ч при температуре 30 °С. Во время брожения дрожжи производили углекислый газ, который при выделении поднимал поршень шприца. Объем выделившегося газа оценивали по высоте подъема поршня.

Метаболическую активность штаммов сравнивали по количеству выделившегося диоксида углерода.

Определение концентрации мертвых клеток. Для определения концентрации мертвых клеток содержимое шприцов выливали в пробирки и центрифугировали в течение 3 минут. После центрифугирования из пробирок удаляли супернатант, в дрожжевой осадок добавляли воду до начального объема пробы. Далее окрашивание клеток метиленовым синим проводили согласно [19].

Идентификация спиртовых дрожжей с помощьюметода ПЦР. В качестве эталона был взят штамм пекарских дрожжей RCAM 02150, который принадлежит к виду Saccharomyces cerevisiae. На рисунке 2 показана кривая температуры плавления ПЦР фрагмента между участками ITS1 и ITS4 рибосомальной ДНК для дрожжей этого штамма. Выявлены 2 пика с температурами плавления 83,6 °С и 82,7 °С.

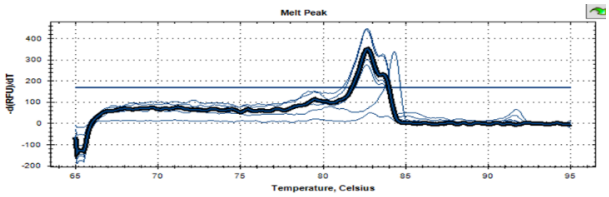


Рисунок 2. Кривая температуры плавления RCAM 02150

Figure 2. Melting temperature curve RCAM 02150

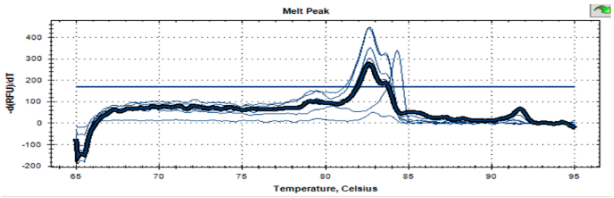


Рисунок 3. Кривая температуры плавления штамма С 16

Figure 3. Melting point curve of strain C 16

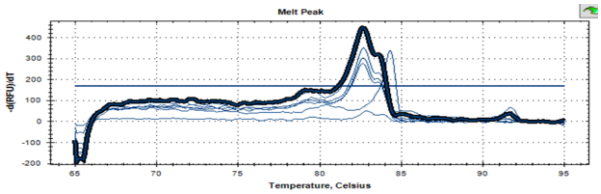


Рисунок 4. Кривая температуры плавления штамма С25

Figure 4. Melting point curve of strain C25

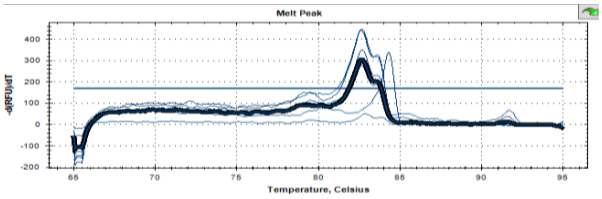


Рисунок 5. Кривая температуры плавления дрожжей С48

Figure 5. Melting point curve of strain C48

Как видно на рисунках 3, 4 и 5, кривые плавления для дрожжей штаммов С16, С 25 и С48 имели такой же профиль, как и пекарские дрожжи.

Можно сделать вывод о близком таксономическом родстве всех проанализированных штаммов.

Влияние этанола на физиологическую активность спиртовых дрожжей. На рисунке 6 приведены результаты эксперимента, в котором концентрация этанола в опытных образцах составляла 10%. Видно, что снижение выделение углекислого газа особенно выражено у спиртовых штаммов С48 и С16.

Токсичное действие этанола на физиологическое состояние дрожжей определяли по содержанию мертвых клеток путем окрашивания метиленовым синим и по количеству выделившегося диоксида углерода.

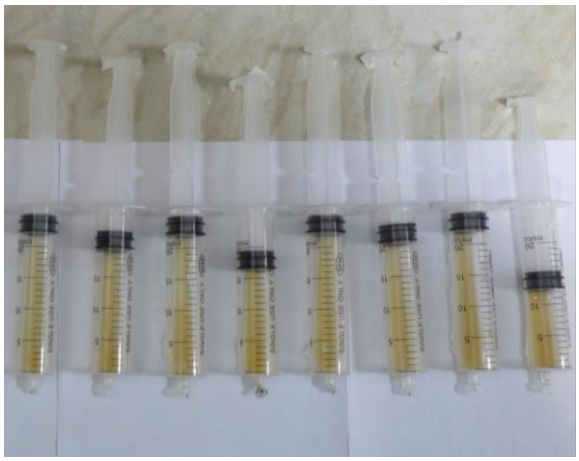


Рисунок 6. Внешний вид шприцов после 17 ч культивирования при 300 С (1 – штамм RCAM 02150 контроль, 2 – RCAM 02150 опыт, 3 – С48 контроль, 4 – С48 опыт, 5 – С25 – контроль, 6 – С25 опыт, 7 – С16 контроль, 8 – С 16 опыт)

Figure 6. Appearance of syringes after 17 hours of cultivation at 300 C (1 – strain Rcam 02150 control, 2 – Rcam 02150 experience, 3 – C48 control, 4 – C48 control, 5-C25 control, 6 – C25 control, 7 – C16 control, 8 – C16 experience)

На рисунке 7 видно, что все образцы дрожжей имеют высокую жизнеспособность, так как количество мертвых клеток в конце процесса культивирования не превышает 3%. Обращает на себя внимание различия в размерах клеток изучаемых штаммов дрожжей (рисунки 8–11). Максимальный размер имеют клетки пекарских дрожжей (9 мкм), минимальный – дрожжи С48. Анализ морфологической картины показывает, что все образцы спиртовых дрожжей имеют округлую форму, в то время как для пекарских дрожжей характерна округло-овальная форма.

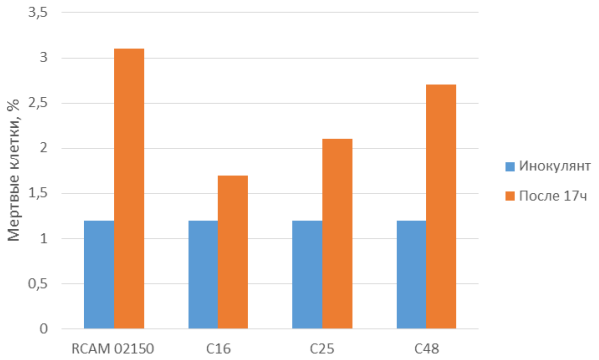


Рисунок 7. Содержание мертвых клеток после 17 ч культивирования при 30 ℃

Figure 7. The content of dead cells after 17 hours of cultivation at 30 ℃

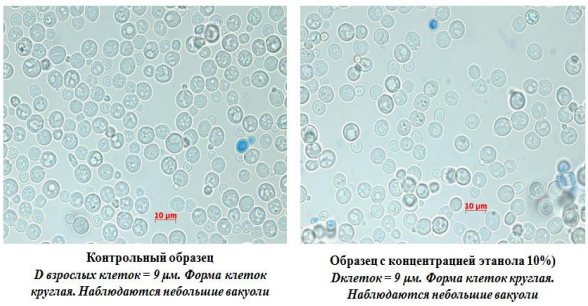


Рисунок 8. Морфология дрожжей штамма RCAM 02150

Figure 8. Morphology of yeast strain RCAM 02150

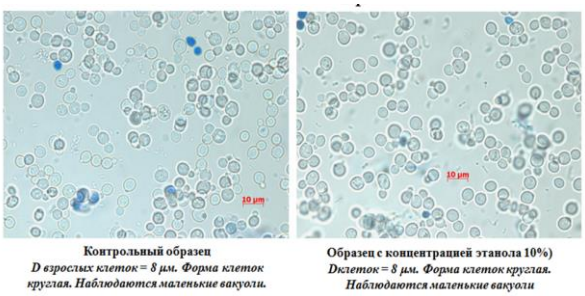


Рисунок 9. Морфология дрожжей штамм С16

Figure 9. Morphology of yeast strain C16

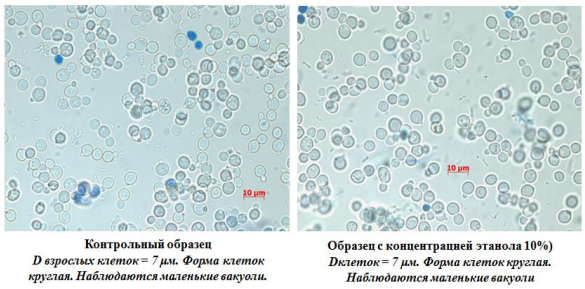


Рисунок 10. Морфология дрожжей штамма С25

Figure 10. Morphology of yeast strain C25

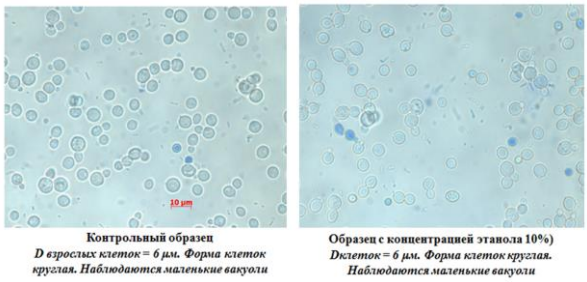


Рисунок 11. Морфология дрожжей штамма С48

Figure 11. Morphology of yeast strain C48

При сравнении метаболической активности штаммов спиртовых дрожжей, которая определялась по количеству выделившегося диоксида углерода в процессе сбраживания среды, находящейся в шприцах, установлен интересный факт (рисунок 12). При практически одинаковом содержании живых клеток во всех образцах количество образовавшегося CO2 клетками штамма C16 составляла 53,2% от контроля, т. е. контрольного варианта, не содержащего этанол, в то время как для других штаммов эта величина соответствовала 87,8% (штамм RCAM 02150), 92,1% (штамм C25) и 82,8% (штамм C48). Максимальную бродильную активность имели штаммы C25 и пекарские дрожжи (92.1% и 87.8% соответственно).

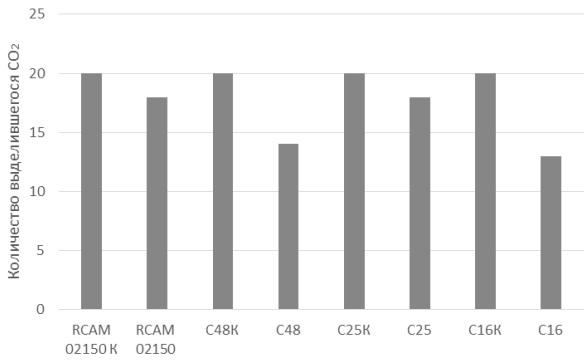


Рисунок 12. Высота подъема поршня за счет выделения CO2 при культивировании штаммов дрожжей на средах разного состава (без этанола и с 10% этанола) (1 – штамм RCAM 02150 контроль, 2 – RCAM 02150 опыт, 3 – C48 контроль, 4 – C48 опыт, 5 – C25 – контроль, 6 – C25 опыт, 7 – C16 контроль, 8 – C 16 опыт)

Figure 12. The height of the piston lift due to the release of CO2 during the cultivation of yeast strains on media of various compositions (without ethanol and with 10% ethanol) (1 – strain rcam 02150 control, 2 – strain rcam 02150 experience, 3 – strain c48 control, 4 – strain c48 control, 5-strain C25 control, 6 – strain C25 control, 7 – strain c16 control, 8 – strain c16 experience)

Для объяснения этого факта была осуществлена серия экспериментов с двумя, значительно отличавшихся по бродильной активности, штаммами дрожжей C16 и C25. Процесс брожения проходил в среде с 20% этанола. Длительность процесса культивирования составила 72 часа. Оценку концентрации дрожжей в культуральной среде проводили по оптической плотности D600. В таблице 2 приведены результаты исследования.

Таблица 2.

Оптическая плотность культуральной среды D_{600} при ферментации спиртовых дрожжей

Table 2.

Optical density of the culture medium D600 during fermentation of alcoholic yeast

Длительность культивирования, часов Duration of cultivation, hours	Штамм Strain	Концентрация этанола, %-об. Ethanol concentration, % vol.	
		20.0	0.0
0	C16	1,513	1,509
	C25	1,572	2,407
24	C16	1,602	3,005
	C25	1,578	2,991
48	C16	1,577	3,007
	C25	1,551	2,995
72	C16	1,499	3,098
	C25	1,568	2,956

На основании данных, приведенных в таблице 2, была рассчитана скорость прироста биомассы ($\Delta OD600 \times ч^{-1}$) для обоих штаммов, которая приведена на рисунке 13.

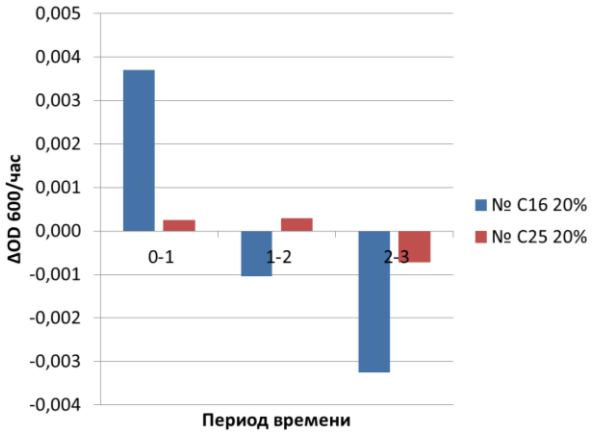


Рисунок 13. Скорость прироста биомассы (ΔOD600/ч) при ферментации питательной среды, содержащей 20% этилового спирт

Figure 13. Biomass growth rate (ΔOD600/h) during fermentation of a nutrient medium containing 20% ethyl alcohol

Как следует из рисунка 13 – дрожжи штамма C16 более интенсивно флокулируют по сравнению с дрожжами C25. Видимо этим можно объяснить более низкую бродильную активность этих дрожжей.

Заключение

В результате проведенной работы было установлено, что для оценки влияния этанола на физиологическую активность дрожжей следует использовать различные методы контроля. Так, отсутствие мертвых клеток в культуре, как показали полученные данные, не могут в полной мере объяснить метаболическую активность дрожжей в среде с этанолом. По всей видимости интенсивность этанольного стресса связана со сложными, генетически обусловленными процессами [21, 22], например, активацией развернутого белкового ответа и изменением активности ферментов ЭПР [22]. Сравнение интенсивности размножения двух штаммов спиртовых дрожжей указывают на необходимость изучения их флокуляционной активности. Кроме того, при инокуляции среды следует учитывать различия в размере клеток разных культур, которые могут существенно отличаться. Например, дрожжи штамма С16 больше по размеру клеток штамма С48 на 33%. При сравнительной оценке штаммов следует использовать только количественное определение концентрации клеток в посевном материале, а не массовую долю биомассы в нем.

Литература

1 Walker G.M., Walker R.S.K. Enhancing yeast alcoholic fermentations. Advances in applied microbiology. 2018. P. 87–129.

2 Panahi H.K.S. et al. Conversion of residues from agro-food industry into bioethanol in Iran: An under-valued biofuel additive to phase out MTBE in gasoline. Renewable energy. 2020. P. 699–710.

3 Demirbas A., Karslioglu S. Biodiesel production facilities from vegetable oils and animal fats. Energy Source A. 2007. №. 29. P.133–141.

4 Láinez M. et al. Bioethanol production from enzymatic hydrolysates of Agave salmiana leaves comparing S. cerevisiae and K. marxianus. Renewable energy. 2019. P. 1127–1133.

5 Figueres C. et al. Carbon emissions rise again. Nature. 2018. №. 564. P. 27–31

6 Tang Y. et al. Ethanol production from acid hydrolysate of wood biomass using the flocculating yeast Saccharomyces cerevisiae strain KF-7. Process Biochemistry. 2006. №. 4. P. 909–914.

7 Raina N., Slathia P.S., Sharma P. Experimental optimization of thermochemical pretreatment of sal (Shorea robusta) sawdust by Central Composite Design study for bioethanol production by co-fermentation using Saccharomyces cerevisiae (MTCC-36) and Pichia stipitis (NCIM-3498). Biomass and Bioenergy. 2020. P. 105819.

8 Wang Q. et al. Ethanol production from kitchen garbage using response surface methodology. Biochemical Engineering Journal. 2008. №. 3. P. 604–610.

9 Raina N., Slathia P.S., Sharma P. Response surface methodology (RSM) for optimization of thermochemical pretreatment method and enzymatic hydrolysis of deodar sawdust (DS) for bioethanol production using separate hydrolysis and co-fermentation (SHCF). Biomass Conversion and Biorefinery. 2020. P. 1–21.

10 Roukas T., Kotzekidou P. Rotary biofilm reactor: A new tool for long-term bioethanol production from non-sterilized beet molasses by Saccharomyces cerevisiae in repeated-batch fermentation. Journal of Cleaner Production. 2020. P. 120519.

11 Keshtkar S. et al. The Study of the influence of various factors on the ethanol production by the Hanseniaspora opuntiae. Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda. 2019. №. 2. P. 49–54.

12 Mezenova O.Y. et al. The study of ethanol production by new strain of yeasts “hanseniaspora opuntiae MK 460485”, investigation of its ethanol production in presence of different carbon and nitrogen sources, and optimal conditions. Journal of Critical Reviews. 2020. №. 4. P. 498–505.

13 Bleoanca I., Bahrim G. Overview on brewing yeast stress factors. Romanian Biotechnological Letters. 2013. № 5. P. 8559–8572.

14 Kopecká J. et al. Effect of growth conditions on flocculation and cell surface hydrophobicity of brewing yeast. Journal of the American Society of Brewing Chemists. 2015. №. 2. P. 143–150.

15 Lentini A. et al. The impact of ethanol stress on yeast physiology. Brewing Yeast Fermentation Performance. 2003. P. 23–38.

16 Stanley D. et al. The ethanol stress response and ethanol tolerance of Saccharomyces cerevisiae. Journal of applied microbiology. 2010. №. 1. P. 13–24.

17 Manter DK, Vivanco JM. Use of the ITS primers, ITS1F and ITS4, to characterize fungal abundance and diversity in mixed-template samples by qPCR and length heterogeneity analysis. J Microbiol Methods, 2007. Vol. 71. №1. P. 7–14. doi: 10.1016/j.mimet.2007.06.016

18 Давыденко С. Г. Создание и применение нового экспресс-метода оценки качества семенных дрожжей // Пиво и напитки. 2012. №5. С. 20–23

19 Davydenko S.G., Meledina T.V., Ivanova V.A. New foresight methodology for toxicity assessment. Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry. 2020. no. 3. pp. 333–342.

20 Navarro-Tapia E, Pérez-Torrado R and Querol A (2017) Ethanol Effects Involve Non-canonical Unfolded Protein Response Activation in Yeast Cells. Front. Microbiol. №8. P. 383. doi: 10.3389/fmicb.2017.00383

21 Alexandre, H., Ansanay-Galeote, V., Dequin, S., and Blondin, B. (2001). Global gene expression during short-term ethanol stress in Saccharomyces cerevisiae. FEBS Lett. №498. P. 98–103. doi: 10.1016/S0014–5793(01)02503–0

22 Yoshida M, Kato S, Fukuda S, Izawa S. Acquired Resistance to Severe Ethanol Stress in Saccharomyces cerevisiae Protein Quality Control. Appl Environ Microbiol. 2021. Vol. 87. № 6. P. o2353–20. doi: 10.1128/AEM.02353–20

References

1 Walker G.M., Walker R.S.K. Strengthening alcoholic fermentation of yeast. Achievements in applied microbiology. 2018. pp. 87–129.

2 Panahi H.K.S. et al. Recycling of waste from the agri-food industry into bioethanol in Iran: An underestimated biofuel additive for phasing out MTBE in gasoline. Renewable energy sources. 2020. pp. 699–710.

3 Demirbas A., Karslioglu S. Installations for the production of biodiesel from vegetable oils and animal fats. Energy source A. 2007. no. 29. pp.133–141.

4 Lainez M. et al. Production of bioethanol from enzymatic hydrolysates of salmiana agave leaves in comparison with S. cerevisiae and K. marxianus. Renewable energy. 2019. pp. 1127–1133.

5 Figueres S. et al. Carbon dioxide emissions are rising again. Nature. 2018. no. 564. pp. 27–31

6 Tan Yu. and others. Production of ethanol from acid hydrolysate of woody biomass using flocculating yeast Saccharomyces cerevisiae strain KF-7. Biochemistry of the process. 2006. no. 4. pp. 909–914.

7 Raina N., Slatia P.S., Sharma P. Experimental optimization of thermochemical pretreatment of sawdust sal (Shorea robusta) using Central Composite Design study for the production of bioethanol by co-fermentation using Saccharomyces cerevisiae (MTCC-36) and Pichia stipitis (NCIM-3498). Biomass and bioenergy. 2020. p. 105819.

8 Wang K. et al. Production of ethanol from kitchen waste using the response surface methodology. Journal of Biochemical Engineering. 2008. no. 3. pp. 604–610.

9 Raina N., Slatia P.S., Sharma P. Response surface methodology (RSM) for optimizing the method of thermochemical pretreatment and enzymatic hydrolysis of deodar sawdust (DS) to produce bioethanol using separate hydrolysis and co-fermentation (SHCF). Biomass processing and bioprocessing. 2020. pp. 1–21.

10 Rukas T., Kotsekidou P. Rotary biofilm reactor: a new tool for the long-term production of bioethanol from unsterilized beet molasses Saccharomyces cerevisiae with repeated periodic fermentation. The journal of environmentally friendly production. 2020. p. 120519.

11 Keshtkar S. et al. Investigation of the influence of various factors on the production of ethanol Hanseniaspora opuntiae. Bulletin of the International Academy of Cold. 2019. no. 2. pp. 49–54.

12 Mezenova O. Yu. et al. The study of ethanol production by a new strain of yeast “hanseniaspora opuntiae MK 460485”, the study of its ethanol production in the presence of various carbon and nitrogen sources and optimal conditions. The Journal of Critical Reviews. 2020. no. 4. pp. 498–505.

13 Bleoanka I., Bahrim G. Review of stress factors of brewing yeast. Romanian biotechnological letters. 2013. no. 5. pp. 8559–8572.

14 Kopecka J. and others. The effect of growing conditions on the flocculation and hydrophobicity of the cell surface of brewing yeast. Journal of the American Society of Brewing Chemists. 2015. no. 2. pp. 143–150.

15 Lentini A. et al. The effect of ethanol stress on yeast physiology. The fermentation efficiency of brewing yeast. 2003. pp. 23–38.

16 Stanley D. et al. Reaction to ethanol stress and ethanol tolerance in Saccharomyces cerevisiae. Journal of Applied Microbiology. 2010. no. 1. pp. 13–24.

17 Manter DK, Vivanco JM. Use of the ITS primers, ITS1F and ITS4, to characterize fungal abundance and diversity in mixed-template samples by qPCR and length heterogeneity analysis. J Microbiol Methods, 2007. vol. 71. no. 1. pp. 7–14. doi: 10.1016/j.mimet.2007.06.016

18 Davydenko S.G. Creation and application of a new express method for assessing the quality of seed yeast. Beer and drinks. 2012. no. 5. pp. 20–23. (in Russian).

19 Davydenko S.G., Meledina T.V., Ivanova V.A. A new foresight methodology for toxicity assessment. Scientific research. Chemistry and chemical engineering, biotechnology, food industry. 2020. no. 3. pp. 333–342.

20 Navarro-Tapia E, Pérez-Torrado R and Querol A (2017) Ethanol Effects Involve Non-canonical Unfolded Protein Response Activation in Yeast Cells. Front. Microbiol. no. 8. pp. 383. doi: 10.3389/fmicb.2017.00383

21 Alexandre, H., Ansanay-Galeote, V., Dequin, S., and Blondin, B. (2001). Global gene expression during short-term ethanol stress in Saccharomyces cerevisiae. FEBS Lett. no. 498. pp. 98–103. doi: 10.1016/S0014–5793(01)02503–0

22 Yoshida M, Kato S, Fukuda S, Izawa S. Acquired Resistance to Severe Ethanol Stress in Saccharomyces cerevisiae Protein Quality Control. Appl Environ Microbiol. 2021. vol. 87. no. 6. pp. o2353–20. doi: 10.1128/AEM.02353–20

Сведения об авторах

Светлана Г. Давыденко к.б.н., факультета биотехнологий ИТМО, руководитель направления развития биотехнологических процессов ООО «Пивоваренная компания «Балтика», 194292, СанктПетербург, 6-й Верхний пер., 3 Россия, davydenko@baltika.com
https://orcid.org/0000-0001-8005-4743

Information about authors

Svetlana G. Davydenko PhD, ITMO Faculty of Biotechnology, Head of the direction of development of biotechnological processes, LLC Baltika Brewing Company, 194292, St. Petersburg, 6th Upper Lane, 3 Russia, davydenko@baltika.com
https://orcid.org/0000-0001-8005-4743

Татьяна В. Меледина д.т.н., профессор, факультета биотехнологий, Университет ИТМО, 191 002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова 9, Россия, meledinata@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-7485-2802
Анастасия Андреева доцент практики, заведующий лабораторией, факультета биотехнологий, Университет ИТМО, 191 002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова 9, aandreeva@itmo.ru
https://orcid.org/0000-0001-6179-2265

Вклад авторов

Светлана Г. Давыденко предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания
Татьяна В. Меледина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты
Анастасия Андреева написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Tatiana V. Meledina Doctor of Technical Sciences, Professor, Faculty of Biotechnology, ITMO University, 9 Lomonosova str., Saint Petersburg, 191 002, Russia, meledinata@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-7485-2802
Anastasia Andreeva associate professor of Practice, Head of the laboratory, Faculty of Biotechnology, ITMO University, 9 Lomonosova str., Saint Petersburg, 191 002, Russia, aandreeva@itmo.ru
https://orcid.org/0000-0001-6179-2265

Contribution

Svetlana G. Davydenko review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Tatiana V. Meledina review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Anastasia Andreeva 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 10/02/2025	**После редакции** 03/03/2025	**Принята в печать** 17/03/2025

Received 10/02/2025	**Accepted in revised** 03/03/2025	**Accepted** 17/03/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-198-205 Оригинальная статья/Research article
УДК 673.138 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Анализ пищевой и биологической ценности культивируемых грибов

Юрий А. Петрушов [1] ypetrushov.02@mail.ru 0009-0008-2777-1944
Сергей Л. Калачев [1] kalatchev.sl@rea.ru 0009-0003-5926-4350
Станислав В. Колобов [1] kolobov.sv@rea.ru 0000-0002-5536-6910
Елена В. Жиркова [1] zhirkova.ev@rea.ru 0000-0002-8934-4162

1 Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, г. Москва, 117997, Россия

Аннотация. Целью исследования является комплексный анализ пищевой и биологической ценности культивируемых грибов (шампиньонов Agaricus bisporus и вешенки Pleurotus ostreatus) как перспективных ингредиентов в пищевой промышленности и питании. В качестве методов исследования авторами использовался сравнительный анализ химического состава грибов, включая определение содержания белков, жиров, углеводов, пищевых волокон, витаминов и аминокислот, а также статистическая обработка данных, полученных различными методами анализа. В ходе исследования установлены количественные показатели пищевой ценности исследуемых грибов, при этом выявлено, что вешенка и шампиньоны характеризуются низким содержанием жиров и умеренным содержанием белка. Определено высокое содержание витаминов группы В, а также наличие важных минеральных веществ. Проведенный сравнительный анализ аминокислотного состава показал существенные различия в содержании некоторых аминокислот между видами грибов. Важно отметить, что шампиньоны Agaricus bisporus и вешенка Pleurotus ostreatus являются наиболее востребованными видами грибов в РФ с годовым производством около 180 тыс. тонн. Вешенка отличается повышенным содержанием углеводов (3,9 г/100 г) и конкурентоспособным содержанием пищевых волокон по сравнению с традиционными овощами. Несмотря на неоптимальное соотношение аминокислот в белках грибов, при регулярном употреблении они способны обеспечивать организм необходимыми нутриентами. Липидный профиль грибов характеризуется преобладанием ненасыщенных жирных кислот (пальмитолеиновая, олеиновая, линолевая). Результаты исследования могут быть использованы при разработке новых продуктов питания с улучшенными питательными свойствами. Полученные данные способствуют расширению знаний о биологической ценности культивируемых грибов и их потенциале в создании функциональных продуктов питания. Исследование также имеет значение для формирования рекомендаций по рациональному использованию грибов в различных отраслях пищевой промышленности. Исследуемые виды грибов перспективны для создания новых продуктов питания и использования в пищевой промышленности, что подтверждается их высокой востребованностью на рынке и хорошими показателями пищевой ценности.

Ключевые слова: грибы, шампиньоны вида Agaricus bisporus, вешенка вида Pleurotus ostreatus, пищевая ценность, биологическая ценность, биологическая эффективность.

Analysis of the nutritional and biological value of cultivated mushrooms

Yurii A. Petrushov [1] ypetrushov.02@mail.ru 0009-0008-2777-1944
Sergey L. Kalatchev [1] Kalatchev.SL@rea.ru 0009-0003-5926-4350
Stanislav V. Kolobov [1] Kolobov.SV@rea.ru 0000-0002-5536-6910
Elena V. Zhirkova [1] Zhirkova.EV@rea.ru 0000-0002-8934-4162

1 Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny Lane, 36, Moscow, 117997, Russia

Abstract. The aim of the study is to conduct a comprehensive analysis of the nutritional and biological value of cultivated mushrooms (button mushrooms Agaricus bisporus and oyster mushrooms Pleurotus ostreatus) as promising ingredients in the food industry and nutrition. The research methods included a comparative analysis of the chemical composition of the mushrooms, including the determination of protein, fat, carbohydrate, dietary fiber, vitamin, and amino acid content, as well as statistical processing of data obtained using various analytical methods. The study established quantitative indicators of the nutritional value of the studied mushrooms. It was found that oyster mushrooms and button mushrooms are characterized by low fat content and moderate protein content. A high content of B vitamins and essential minerals was determined. Comparative analysis of the amino acid composition revealed significant differences in the content of certain amino acids between the types of mushrooms. It is important to note that Agaricus bisporus and Pleurotus ostreatus are the most demanded types of mushrooms in the Russian Federation with an annual production of about 180 thousand tons. Oyster mushrooms are distinguished by their increased carbohydrate content (3.9 g/100 g) and competitive dietary fiber content compared to traditional vegetables. Despite the non-optimal amino acid ratio in mushroom proteins, regular consumption can provide the body with essential nutrients. The lipid profile of the mushrooms is characterized by a predominance of unsaturated fatty acids (palmitoleic, oleic, linoleic). The research results can be used in the development of new food products with improved nutritional properties. The obtained data contribute to expanding knowledge about the biological value of cultivated mushrooms and their potential in creating functional foods. The study is also significant for developing recommendations for the rational use of mushrooms in various sectors of the food industry. The studied types of mushrooms are promising for the creation of new food products and their use in the food industry, which is confirmed by their high market demand and good nutritional value indicators.

Keywords: mushrooms, button mushrooms of the species Agaricus bisporus, oyster mushrooms of the species Pleurotus ostreatus, nutritional value, biological value, biological efficacy.

Для цитирования
Петрушов Ю.А., Калачев С.Л., Колобов С.В., Жиркова Е.В. Анализ пищевой и биологической ценности культивируемых грибов // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 198–205. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-198-205

For citation
Petrushov Yu.A., Kalatchev S.L., Kolobov S.V., Zhirkova E.V. Analysis of the nutritional and biological value of cultivated mushrooms. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 198–205. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-198-205

© 2025, Петрушов Ю.А. и др. / Petrushov Yu.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Грибоводство в настоящее время является одним из динамично развивающихся направлений работы российских сельхозпроизводителей [12] Крупные производители выращивают культивируемые грибы (шампиньоны, вешенка, опята, шиитаке и др.) и реализуют в магазинах розничной торговли в категории «Fresh» (свежие грибы), бакалея (сушеные резанные), замороженные продукты (замороженные целые и резанные грибы, в смесях с овощами) в торговых сетях «Азбука вкуса», «Ашан», «Дикси», «Лента», «Магнит», «X5 Group» и др. Наиболее доступными потребителям являются культивируемые грибы – шампиньон вида *Agaricus bisporus* и вешенка *Pleurotus ostreatus*. Эти виды грибов потребители покупают для приготовления продуктов питания в домашних условиях. Спрос населения на шампиньоны (*Agaricus bisporus*) и вешенка (*Pleurotus ostreatus*) в розничной торговле обусловлен в первую очередь желанием покупателей использовать их для приготовления домашних кулинарных блюд, которые благодаря грибам приобретают характерные органолептические характеристики и консистенцию [1]. Грибы входя в состав рецептур кулинарных (жульенов, пельменей, рубленных мясных изделий и т. д.), а также хлебобулочных изделий, например, пицц и пирогов. Наиболее активно грибы включают в рацион питания вегетарианцев, а также в дни Православного Поста [2].

Наряду с потреблением целых и резанных сырых, замороженных, сушеных и консервированных грибов спросом населения стали пользоваться порошкообразные сушеные грибы и соусы на их основе. В научной литературе известно промышленное применение порошка из вешенки в качестве компонента йогурта для снижения концентрации молочной кислоты и оптимизации жизнедеятельности молочнокислых бактерий [3].

По данным за 2023 год, мировое производство грибов сосредоточено в Китае, объём производства с 2010 по 2021 год увеличился с 22 до 41 млн. тонн [12]. К странами-лидерами по объемам производства грибов также относят Японию (469 тыс. тонн.), Польшу (379 тыс. тонн.), США (344 тыс. тонн.), Нидерланды (260 тыс. тонн.), Индию (243 тыс. тонн.) Наибольшие мировые объемы производства культивируемых грибов приходятся на шампиньоны и шиитаке, в Европейских странах и РФ преобладает производство шампиньонов. В России ежегодно потребляется порядка 180 тыс. тонн культивируемых грибов, и значительная часть из этого объема приходится на шампиньоны. В РФ в 2023 году производство шампиньонов составило 146225 тонн, что на 9% больше по сравнению с 2022 годом, и составило около 1 кг на человека [12]. По данным «ШГ», производство вешенки в РФ в 2023 году составило 6099 тонн, что на 7% больше, чем в 2022 году. Положительная динамика наблюдается впервые с рекордного 2019 года, когда объемы производства составили 6380 тонн [12]. Кроме указанных видов грибов в незначительных количествах (около 50 тонн в год) культивируют эринги, шиитаке, шимеджи и разных виды опят . При этом специалисты отмечают окончание этапа бурного роста объемов производства культивируемых грибов в РФ, что связано с обеспечением внутреннего спроса [12]. Потенциал роста внутреннего рынка связан с популяризацией и увеличением потребления культивируемых грибов за счет разработки новых оригинальных рецептур кулинарных изделий с различными вкусовыми характеристиками, в том числе с учетом национальных традиций в питании.

Материалы и методы

В ходе анализа пищевой и биологической ценности культивируемых грибов: шампиньона вида Agaricus bisporus и вешенки вида Pleurotus ostreatus применялся комплексный подход, включающий количественный анализ содержания компонентов, сравнительный анализ с такими продуктами питания как овощи и зернобобовые, а также оценка биологической ценности культивируемых грибов.

Для получения достоверных результатов использовались научные работы по изучению пищевой ценности грибов, база данных USDA National Nutrient Database for Standart Reference, экспериментальные данные по исследованию химического состава, а также статистические данные по производству грибов в РФ и в мире.

Дополнительно исследовалось влияние методов выращивания на качество продукции и ее химический состав, что позволило получить более полное представление о характеристиках изучаемых видов грибов.

Комплексный подход к исследованию позволил всесторонне оценить пищевую и биологическую ценность культивируемых грибов, выявить их особенности и определить потенциал для использования в пищевой промышленности и общественном питании.

Результаты и обсуждение

Изучение химического состава культивируемых грибов позволят оценить целесообразность, значимость и актуальность использования этих ингредиентов предприятиями пищевой промышленности и общественного питания. Анализ пищевой и биологической ценности шампиньонов вида *Agaricus bisporus* и вешенки *Pleurotus ostreatus* является важным аспектом в развитии маркетинговой стратегии и эффективного продвижения грибной продукции на рынке.

В последние десятилетия были выполнены научные работы, в которых отражены показатели пищевой ценности вешенки свежей и высушенной [9, 10]. Кроме того, информация о биологической ценности грибов приведена в базе данных USDA National Nutrient Database for Standard Reference [11]. Точная оценка и полноценный сравнительный анализ пищевой и биологической ценности культивируемых грибов затрудняется сопоставлением данных, полученных разными методами, а также недостаточностью исследований по всем штаммам и разновидностям шампиньонов и вешенок. В сведениях указанных источников [1, 4, 5, 11] есть незначительные различия, которые вероятно обусловлены отличиями в условиях выращивания, в том числе применяемых составах субстратов, а также методиках выполнения измерений показателей. При этом данные изученных источников [1, 4, 5, 7, 11] не противоречат друг другу, а взаимно дополняют. Сравнительный анализ пищевой ценности шампиньонов вида *Agaricus bisporus* и вешенки *Pleurotus ostreatus* представлен на рисунке 1.

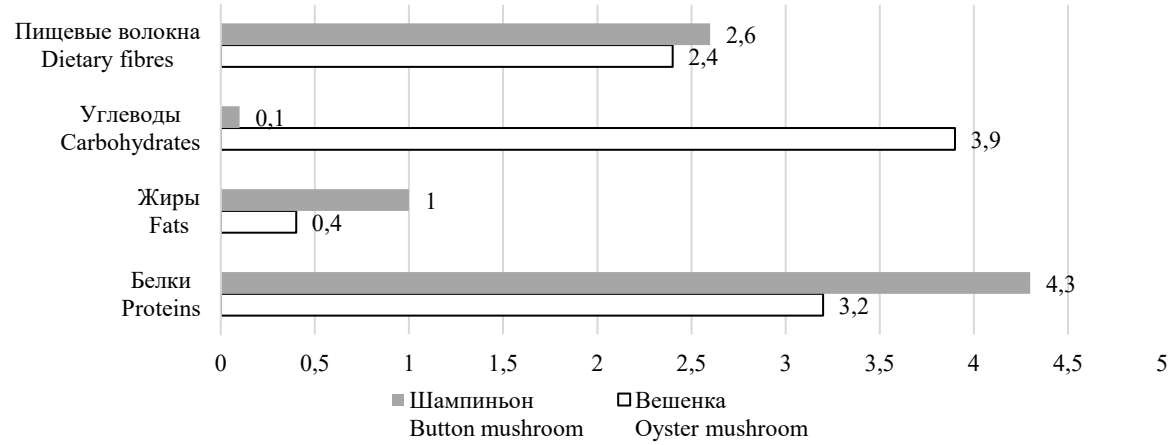


Рисунок 1. Пищевая ценность шампиньонов вида *Agaricus bisporus* и вешенки *Pleurotus ostreatus*, г/100 г
Figure 1. Nutritional value of mushrooms *Agaricus bisporus* and oyster mushrooms *Pleurotus ostreatus*, g/100 g

Согласно последним данным, полученным в работе [1] вешенка *Pleurotus ostreatus* отличается низкой массовой долей белков (3,2 г/100 г), жиров (0,4 г/100 г) и пищевых волокон (2,4 г/100 г) [1]. При этом сравнительный анализ пищевой ценности вешенки с традиционными овощами позволил сделать вывод, что по содержанию пищевых волокон, *Pleurotus ostreatus* не уступает красной моркови (1,2 г/100г) капусте кольраби (1,7 г/100г) [5] и превосходит большинство овощей по содержанию белка, за исключением зернобобовых культур. Шампиньоны вида *Agaricus bisporus* относятся к низкокалорийным продуктам питания, содержание жиров составляет 1 г/100 г. продукта, белка – 4,3 г/100г, пищевых волокон – 2,6 г/100г. В состав пищевых волокон грибов *Agaricus bisporus* и *Pleurotus ostreatus*, входят β-глюканы, которые могут поддерживать врождённую иммунную функцию организма, запуская реакции иммунной памяти с помощью тренированного иммунитета [9].

Шампиньоны *Agaricus bisporus* как и вешенка *Pleurotus ostreatus* содержат усвояемые углеводы – моно- и дисахариды (сахара) [4, 5, 11]. Сравнительный анализ пищевой ценности культивируемых грибов выявил значительное превышение содержание углеводов в вешенке (3,9 г/100 г) относительно массовой доли углеводов в шампиньонах вида *Agaricus bisporus* (0,1 г/100 г).

В вешенке *Pleurotus ostreatus* содержатся витамины в следующем количестве: холин (B4) – 45,5–50,5 мг/100 г., ниацин (PP) – 4,65–5,15 мг/100г; ретинол (A) – 1,8–2,3 мг/100 г.; пантотеновая кислота (B5) – 1,1–1,3 мг/100 г.; кальциферол (D) – 0,6–0,85 мг/100 г., рибофлавин (B2) – 0,32–0,37 мг/100 г.; тиамин (B1) – 0,09–0,15 мг/100 г [9], что подчеркивает физиологическую ценность культивируемых грибов. Следует отметить отсутствие в вешенке витамина С [6]. Шампиньоны содержат витамины среди которых преобладают ниацин (PP) 4,8 мг/100г, аскорбиновая кислота (C) 7 мг/100г, также тиамин (B1) 0,1 мг/100г, рибофлавин (B2) 0,45 мг/100г [4, 5]. В работах [1, 8, 11] отмечено отсутствие витамина С в шампиньонах *Agaricus bisporus (brown, Italian, or crimini, raw)* и содержание в количестве 2,1 мг в *Agaricus bisporus (white, raw)*.

Отечественные авторы в работах [1, 7] отмечают наличие следующих незаменимых аминокислот (валин, изолейцин, лейцин, лизин, треонин, триптофан, серосодержащие (метионин и цистин), ароматические (фенилаланин и тирозин), что обеспечивает высокие потребительские свойства исследуемых пищевых ингредиентов. Сравнительный анализ содержания незаменимых аминокислот в шампиньонах вида *Agaricus bisporus* и вешенки *Pleurotus ostreatus* представлен на рисунке 2.

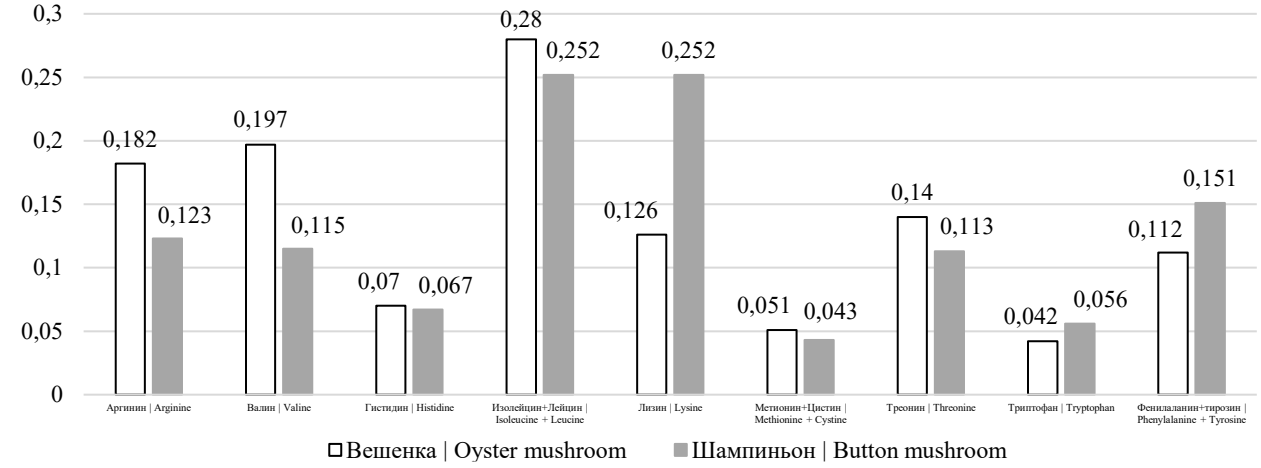


Рисунок 2. Содержание незаменимых аминокислот в шампиньонах вида *Agaricus bisporus* и вешенке *Pleurotus ostreatus*, г/100 г

Figure 2. Content of essential amino acids in mushrooms of Agaricus bisporus species and oyster mushroom Pleurotus ostreatus, g/100 g

Сравнивая качественный и количественный состав незаменимых аминокислот *Pleurotus ostreatus* и *Agaricus bisporus (brown, Italian, or crimini, raw)* на основе данных источника [8, 11] отметим, что их содержание в некоторых случаях отличается не существенно. Так, содержание аргинина отличается всего на 0,06 г/100 г. и составляет в шампиньонах 0,123 г/100 г [11], валина примерно на 0,082 г/100 г. меньше и составляет в *Agaricus bisporus* 0,115 г/100 г., мало отличается содержание гистидина [11], изолейцина и лейцина, метионина и цистина. Значительные различия зафиксированы в содержании лизина, почти в 2 раза выше в шампиньонах (0,252 г/100 г) по сравнению с вешенкой (0,126 г/100 г).

Оценка соотношения незаменимых аминокислот белка грибов шампиньонов вида *Agaricus bisporus* и вешенки *Pleurotus ostreatus* по сравнению с эталоном ФАО приведена на рисунке 3.

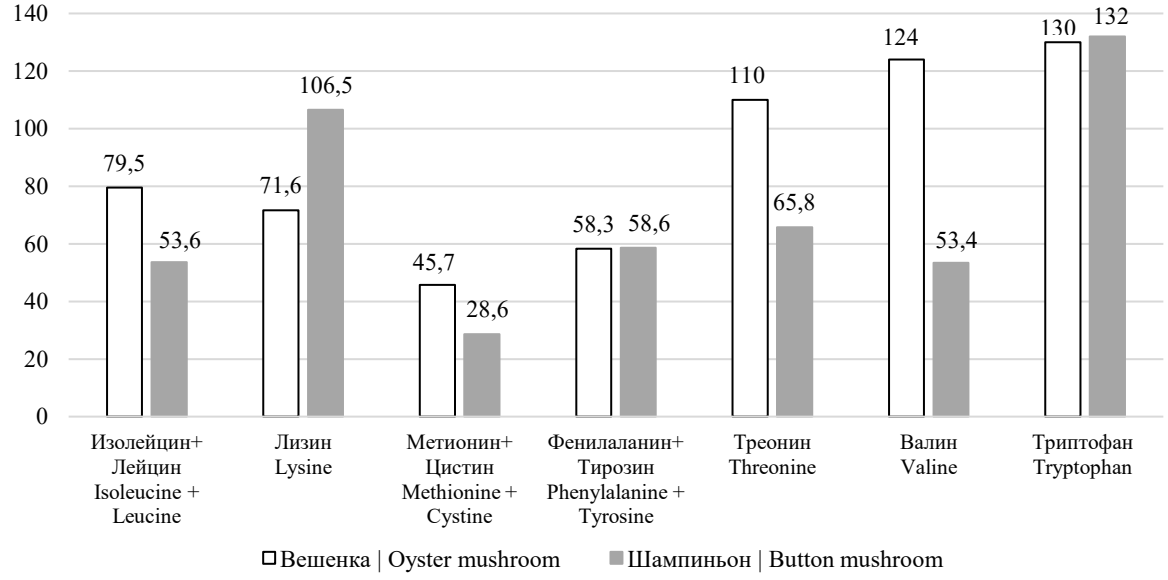


Рисунок 3. Аминокислотный скор шампиньонов вида *Agaricus bisporus* и вешенки *Pleurotus ostreatus*

Figure 3. Amino acid scoring of mushrooms of Agaricus bisporus species and oyster mushrooms of Pleurotus ostreatus species

Биологическая ценность белков вешенки обусловлена высоким содержанием треонина, валина и триптофана, но значительное количество незаменимых аминокислот (изолейцин + лейцин, лизин, метионин + цистин, фенилаланин + тирозин) являются лимитирующими. При этом белок шампиньонов характеризуется значительным содержанием лизина и триптофана, что необходимо учитывать при включении в рацион питания.

Таким образом, соотношение незаменимых аминокислот в белках грибов не является оптимальным и белковые вещества грибов не относятся к биологически полноценным. Однако при регулярном включении в рацион питания грибы способны в определенной степени обеспечивать организм человека незаменимыми аминокислотами.

Биологическая эффективность шампиньонов *Agaricus bisporus* обусловлена более широким липидным составом – кроме пальмитиновой кислоты, содержится лауриновая, миристиновая, стеариновая, а также пеларгоновая. Наиболее значимые для биологической эффективности шампиньонов *Agaricus bisporus* ненасыщенные жирные кислоты (пальмитолеиновая, олеиновая) и полиненасыщеные жирные кислоты (линолевая, линоленовая), при этом количественное содержание липидов в грибах незначительно. В вешенке *Pleurotus ostreatus* наиболее значимые из ненасыщенных жирных кислот – олеиновая, а из полиненасыщенных жирных кислот – линолевая. В целом качественное и количественное содержание липидов в вешенке, также незначительно.

Анализ справочных данных [4, 5, 11] и экспериментальных данных [1, 7] позволяет отметить ряд сходств и отличий в химическом составе и пищевой ценности шампиньонов вида *Agaricus bisporus* и вешенки *Pleurotus ostreatus*.

Заключение

1. Самыми востребованными в РФ являются шампиньоны вида *Agaricus bisporus* и вешенка *Pleurotus ostreatus*, которые используются для производства мясных и рыбных полуфабрикатов, хлебобулочных изделий, а также приготовления закусок, супов и вторых блюд. В магазинах розничной торговли они реализуются в категории «Fresh». Средний годовой объем производства грибов в РФ составил 180,0 тыс. тонн, значительная часть из этого объема приходится на шампиньоны.

2. Сравнительный анализ пищевой ценности культивируемых грибов выявил значительное превышение содержание углеводов в вешенке (3,9 г/100 г) относительно массовой доли углеводов в шампиньонах вида *Agaricus bisporus* (0,1 г/100 г). Вешенка *Pleurotus ostreatus* отличается низкой массовой долей белков и жиров. При этом сравнительный анализ пищевой ценности вешенки с традиционными овощами позволил сделать вывод, что по содержанию пищевых волокон, *Pleurotus ostreatus* не уступает красной моркови, капусте кольраби и превосходит большинство овощей по содержанию белка, за исключением зернобобовых культур. Шампиньоны вида *Agaricus bisporus* относятся к низкокалорийным продуктам питания, с низким содержанием жиров и белковых веществ.

3. Физиологическая ценность исследуемых видов грибов отличается незначительно и обусловлена содержанием холина (B4), ниацина (PP), ретинола (A), пантотеновой кислоты (B5), кальциферола (D), рибофлавина (B2) и тиамина (B1).

4. Сравнительный анализ содержания незаменимых аминокислот в белке грибов показал незначительные отличия по их количественному содержанию (кроме, лизина). Биологическая ценность вешенки обусловлена высоким содержанием треонина, валина и триптофана, но значительное количество незаменимых аминокислот (изолейцин + лейцин, лизин, метионин + цистин, фенилаланин + тирозин) являются лимитирующими. При этом белок шампиньонов характеризуется значительным содержанием лизина и триптофана, что необходимо учитывать при включении в рацион питания.

5. Наиболее значимые для биологической эффективности шампиньонов *Agaricus bisporus* ненасыщенные жирные кислоты (пальмитолеиновая, олеиновая) и полиненасыщеные жирные кислоты (линолевая, линоленовая), при этом количественное содержание липидов в грибах незначительно. В вешенке *Pleurotus ostreatus* наиболее значимые из ненасыщенных жирных кислот – олеиновая, а из полиненасыщенных жирных кислот – линолевая.

7. Шампиньоны вида *Agaricus bisporus* и вешенка *Pleurotus ostreatus* представляют интерес для разработки новых видов грибной продукции, различных полуфабрикатов и использования в качестве ингредиента предприятиями пищевой промышленности и общественного питания.

Литература

1 Мухутдинова С.М. Критерии оценки качества свежих и переработанных белых грибов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва: Российская экономическая академия им. Г.В. Плеханова, 2009. 172 с.

2 Алексеева И.А., Герасимов Н.П. Вегетарианство как система питания и его влияние на здоровье // Наука и образование: новое время. 2019. № 2. С. 5–11.

3 Тупамаху И.П.С. Влияние порошка вешенки (Pleurotus ostreatus) как пребиотика на качество йогурта // 7-я Международная конференция по сохранению глобальных ресурсов: материалы конференции AIP. 2017. Т. 1844. С. 030006-1–030006-8.

4 Скурихин И.М. Химический состав пищевых продуктов. Москва: Институт питания РАМН, 1987. 224 с.

5 Скурихин И.М., Тутельян В.А. Химический состав Российских пищевых продуктов. Москва: Институт питания РАМН, 2002. 235 с.

6 Дриль А.А. Формирование потребительских свойств продукции общественного питания на основе полуфабриката из культивируемых грибов вешенки обыкновенной: диссертация. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2020. 283 с.

7 Макарова Е.В. Товароведение пищевых продуктов и технология продуктов общественного питания: автореферат диссертации. Новосибирск, 2006. 25 с.

8 Пешук Л.В., Гащук О.И., Москалюк О.Е., Гагач И.И. Разработка мясных геродиетических продуктов – приоритетное научное направление // Вестник Сумского национального аграрного университета. Сер.: Животноводство. 2014.Т. 25. №2/2. С. 187–190.

9 Кейс С., О'Брайен Т., Ледвит А.Е., Чен С., Джонстон К.Дж.Х. и др. β-глюканы из продуктов гриба Agaricus bisporus стимулируют обученный иммунитет // Границы в области питания. 2024. Т. 11. С. 15.

10 Бан З., Хорев Б., Рутенберг Р., Данай О., Бильбао К., МакХью Т., Родов В., Поверенов Э. Эффективное производство грибкового хитозана с использованием усовершенствованного метода замораживания-оттаивания; исследования качества и активности // Пищевые гидроколлоиды. 2018. Т. 81. С. 380–388.

11 Министерство сельского хозяйства США. National Nutrient Database for Standard Reference: База данных питательных веществ для стандартных исследований // United States Department of Agriculture. Washington, 2015-2025. URL: https://www.fdc.nal.usda.gov (дата обращения 12.02.2025)

12 Законодательное обеспечение развития отрасли грибоводства: материалы круглого стола / Комитет Государственной думы по аграрным вопросам. Москва, 2024.

13 Dimopoulou M., Kolonas A., Mourtakos S., Androutsos O., Gortzi O. Nutritional Composition and Biological Properties of Sixteen Edible Mushroom Species // Applied Sciences. 2022. Vol. 12. № 16. P. 8074. doi: 10.3390/app12168074.

14 Cateni F., Gargano M.L., Procida G. et al. Mycochemicals in Wild and Cultivated Mushrooms: Nutrition and Health // Phytochemistry Reviews. 2022. Vol. 21. P. 339–383. doi: 10.1007/s11101-021-09748-2.

15 Jacinto-Azevedo B., Valderrama N., Henríquez K., Aranda M., Aqueveque P. Nutritional Value and Biological Properties of Chilean Wild and Commercial Edible Mushrooms // Food Chemistry. 2021. Vol. 356. P. 129651. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129651.

16 Raman J., Jang K.Y., Oh Y.L., Oh M., Im J.H., Lakshmanan H., Sabaratnam V. Cultivation and Nutritional Value of Prominent Pleurotus spp.: An Overview // Mycobiology. 2020. Vol. 49. № 1. P. 1–14. doi: 10.1080/12298093.2020.1835142.

17 El-Ramady H., Abdalla N., Badgar K., Llanaj X., Törős G., Hajdú P., Eid Y., Prokisch J. Edible Mushrooms for Sustainable and Healthy Human Food: Nutritional and Medicinal Attributes // Sustainability. 2022. Vol. 14. № 9. P. 4941. doi: 10.3390/su14094941.

18 Mleczek M., Budka A., Siwulski M. et al. A Comparison of Toxic and Essential Elements in Edible Wild and Cultivated Mushroom Species // European Food Research and Technology. 2021. Vol. 247. P. 1249–1262. doi: 10.1007/s00217-021-03706-0.

19 Li Y., Chen H., Zhang X. Cultivation, Nutritional Value, Bioactive Compounds of Morels, and Their Health Benefits: A Systematic Review // Frontiers in Nutrition. 2023. Vol. 10. P. 1159029. doi: 10.3389/fnut.2023.1159029.

20 Łysakowska P., Sobota A., Wirkijowska A. Medicinal Mushrooms: Their Bioactive Components, Nutritional Value and Application in Functional Food Production – A Review // Molecules. 2023. Vol. 28. № 14. P. 5393. doi: 10.3390/molecules28145393.

References

1 Mukhtudinova S.M. Quality Assessment Criteria for Fresh and Processed White Mushrooms. PhD Thesis in Technical Sciences. Moscow: Plekhanov Russian Academy of Economics, 2009. 172 p. (in Russian)

2 Alekseeva I.A., Gerasimov N.P. Vegetarianism as a Nutrition System and Its Impact on Health. Science and Education: New Time. 2019. no. 2. pp. 5–11. (in Russian)

3 Tupamahu I.P.S. The Effect of Oyster Mushroom Powder (Pleurotus ostreatus) as a Prebiotic on Yogurt Quality. 7th International Conference on Global Resources Conservation: AIP Conference Proceedings. 2017. vol. 1844. pp. 030006-1–030006-8.

4 Skurikhin I.M. Chemical Composition of Food Products. Moscow: Institute of Nutrition RAMS, 1987. 224 p. (in Russian)

5 Skurikhin I.M., Tutelian V.A. Chemical Composition of Russian Food Products. Moscow: Institute of Nutrition RAMS, 2002. 235 p. (in Russian)

6 Dril A.A. Formation of Consumer Properties of Public Catering Products Based on a Semi-Finished Product Made from Cultivated Oyster Mushrooms. PhD Thesis. Yekaterinburg: Ural State University of Economics, 2020. 283 p. (in Russian)

7 Makarova E.V. Commodity Science of Food Products and Technology of Public Catering Products. Dissertation Abstract. Novosibirsk, 2006. 25 p. (in Russian)

8 Peshuk L.V., Gashchuk O.I., Moskalyuk O.E., Gagach I.I. The Development of Meat Herodietic Products as a Priority Scientific Area. Bulletin of Sumy National Agrarian University. Ser.: Animal Husbandry. 2014. no. 2/2 (25). pp. 187–190. (in Russian)

9 Case S., O'Brien T., Ledwith A.E., Chen S., Johnston C.J.H. et al. β-glucans from Agaricus bisporus Mushroom Products Drive Trained Immunity. Frontiers in Nutrition. 2024. vol. 11. 15 p.

10 Ban Z., Khorev B., Rutenberg R., Danai O., Bilbao K., McHugh T., Rodov V., Poverenov E. Efficient Production of Fungal Chitosan Using an Advanced Freeze-Thaw Method; Quality and Activity Studies. Food Hydrocolloids. 2018. vol. 81. pp. 380–388.

11 United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference. Washington, 2015-2025. Available at: https://www.fdc.nal.usda.gov (accessed: 12.02.2025).

12 Legislative support for the development of the mushroom industry: round table materials. Committee on Agrarian Issues of the State Duma. Moscow, 2024. (in Russian).

13 Dimopoulou M., Kolonas A., Mourtakos S., Androutsos O., Gortzi O. Nutritional Composition and Biological Properties of Sixteen Edible Mushroom Species. Applied Sciences. 2022. vol. 12. no. 16. 8074. doi: 10.3390/app12168074.

14 Cateni F., Gargano M.L., Procida G. et al. Mycochemicals in wild and cultivated mushrooms: nutrition and health. Phytochemistry Reviews. 2022. vol. 21. pp. 339-383. doi: 10.1007/s11101-021-09748-2.

15 Jacinto-Azevedo B., Valderrama N., Henríquez K., Aranda M., Aqueveque P. Nutritional value and biological properties of Chilean wild and commercial edible mushrooms. Food Chemistry. 2021. vol. 356. 129651. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129651.

16 Raman J., Jang K.Y., Oh Y.L., Oh M., Im J.H., Lakshmanan H., Sabaratnam V. Cultivation and Nutritional Value of Prominent Pleurotus spp.: An Overview. Mycobiology. 2020. vol. 49. no. 1. pp. 1-14. doi: 10.1080/12298093.2020.1835142.

17 El-Ramady H., Abdalla N., Badgar K., Llanaj X., Törős G., Hajdú P., Eid Y., Prokisch J. Edible Mushrooms for Sustainable and Healthy Human Food: Nutritional and Medicinal Attributes. Sustainability. 2022. vol. 14. no. 9. 4941. doi: 10.3390/su14094941.

18 Mleczek M., Budka A., Siwulski M. et al. A comparison of toxic and essential elements in edible wild and cultivated mushroom species. European Food Research and Technology. 2021. vol. 247. pp. 1249-1262. doi: 10.1007/s00217-021-03706-0.

19 Li Y., Chen H., Zhang X. Cultivation, nutritional value, bioactive compounds of morels, and their health benefits: A systematic review. Frontiers in Nutrition. 2023. vol. 10. 1159029. doi: 10.3389/fnut.2023.1159029.

20 Łysakowska P., Sobota A., Wirkijowska A. Medicinal Mushrooms: Their Bioactive Components, Nutritional Value and Application in Functional Food Production - A Review. Molecules. 2023. vol. 28. no. 14. 5393. doi: 10.3390/molecules28145393.

Сведения об авторах

Юрий А. Петрушов аспирант, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский Экономический Университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, г. Москва, 117997, Россия, ypetrushov.02@mail.ru
https://orcid.org/0009-0008-2777-1944

Сергей Л. Калачев к.т.н., доцент, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский Экономический Университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, г. Москва, 117997, Россия, kalatchev.sl@rea.ru
https://orcid.org/0009-0003-5926-4350

Станислав В. Колобов к.т.н., доцент, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский Экономический Университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, г. Москва, 117997, Россия, kolobov.sv@rea.ru
https://orcid.org/0000-0002-5536-6910

Елена В. Жиркова к.т.н., доцент, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский Экономический Университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, г. Москва, 117997, Россия, zhirkova.ev@rea.ru
https://orcid.org/0000-0002-8934-4162

Information about authors

Yurii A. Petrushov graduate student, Department of Commodity Expertise and Customs Affairs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny Lane, 36, Moscow, 117997, Russia, ypetrushov.02@mail.ru
https://orcid.org/0009-0008-2777-1944

Sergey L. Kalatchev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Department of Commodity Expertise and Customs Affairs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny Lane, 36, Moscow, 117997, Russia, kalatchev.sl@rea.ru
https://orcid.org/0009-0003-5926-4350

Stanislav V. Kolobov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Department of Commodity Expertise and Customs Affairs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny Lane, 36, Moscow, 117997, Russia, kolobov.sv@rea.ru
https://orcid.org/0000-0002-5536-6910

Elena V. Zhirkova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Department of Commodity Expertise and Customs Affairs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny Lane, 36, Moscow, 117997, Russia, zhirkova.ev@rea.ru
https://orcid.org/0000-0002-8934-4162

Вклад авторов

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

Contribution

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 05/01/2025	**После редакции** 18/01/2025	**Принята в печать** 10/02/2025

Received 05/01/2025	**Accepted in revised** 18/01/2025	**Accepted** 10/02/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-206-212 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.667 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Разработка рецептурного состава сырцовых пряников, обогащенных нетрадиционными видами сырья

Елена И. Пономарева [1] elena6815@yandex.ru 0000-0023-2310-2838
Светлана И. Лукина [1] lukina.si@yandex.ru 0000-0003-4393-2046
Надежда Н. Алехина [1] nadinat@yandex.ru 0000-0002-3317-9858
Валерия Н. Нартова [1] iwakina.val@yandex.ru 0009-0007-4589-6428

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

Аннотация. Современные тенденции в технологии мучных кондитерских изделий требуют не только сохранения органолептических характеристик продукции, но и повышения её пищевой ценности за счёт снижения сахароёмкости и обогащения биологически активными веществами. Целью данного исследования стало обоснование рационального рецептурного состава сырцовых пряников с использованием нетрадиционных видов сырья – сорговой муки и урбеча из семян расторопши. В работе применены методы математического планирования и оптимизации эксперимента, а также стандартные методы оценки показателей качества и химического состава. На основе регрессионного анализа установлены количественные зависимости органолептических показателей пряников от дозировок используемых компонентов. Оптимальные значения входных факторов – 25% сорговой муки от массы муки и 25% урбеча от массы сахара – обеспечивают высокие значения намокаемости и приемлемую плотность изделий. Разработанная рецептура пряников «Богатырские» соответствует требованиям ГОСТ и отличается сниженной долей сахара при повышенном содержании пищевых волокон, белков, витаминов и минеральных веществ. Внедрение указанных ингредиентов позволяет увеличить содержание белка на 12%, пищевых волокон – на 18%, а также снизить уровень углеводов на 4% по сравнению с традиционным аналогом. Продукт обеспечивает значительное покрытие суточной потребности в ряде нутриентов, включая витамины группы В, магний, фосфор и железо. Разработанная рецептура пряников соответствует современным требованиям к здоровому питанию, сочетая высокие органолептические показатели с повышенной пищевой ценностью. Продукт может быть рекомендован для профилактики дефицитных состояний, связанных с недостатком белка, пищевых волокон и микронутриентов. Внедрение таких изделий в рацион способствует расширению ассортимента функциональных кондитерских продуктов, ориентированных на укрепление здоровья населения.

Ключевые слова: пряники, сорговая мука, урбеч из семян расторопши, показатели качества, математическое планирование, пищевая ценность.

Development of the formulation of raw gingerbread enriched with non-traditional raw materials

Elena I. Ponomareva [1] elena6815@yandex.ru 0000-0023-2310-2838
Svetlana I. Lukina [1] lukina.si@yandex.ru 0000-0003-4393-2046
Nadezhda N. Alekhina [1] nadinat@yandex.ru 0000-0002-3317-9858
Valeria N. Nartova [1] iwakina.val@yandex.ru 0009-0007-4589-6428

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

Abstract. Modern trends in the technology of flour confectionery products require not only the preservation of the organoleptic characteristics of products, but also an increase in their nutritional value by reducing sugar content and enriching biologically active substances. The purpose of this study was to substantiate the rational formulation of raw gingerbread using non–traditional types of raw materials - sorghum flour and urbech from milk thistle seeds. The paper uses methods of mathematical planning and optimization of the experiment, as well as standard methods for evaluating quality and chemical composition indicators. Based on regression analysis, quantitative dependences of the organoleptic parameters of gingerbread on the dosages of the components used have been established. The optimal values of the input factors – 25% sorghum flour by weight of flour and 25% urbech by weight of sugar – provide high values of wetness and acceptable density of products. The developed recipe of Bogatyrsky gingerbread meets the requirements of GOST and is characterized by a reduced sugar content with a high content of dietary fiber, proteins, vitamins and minerals. The introduction of these ingredients allows you to increase the protein content by 12%, dietary fiber by 18%, and also reduce the level of carbohydrates by 4% compared to the traditional equivalent. The product provides significant coverage of the daily requirement for a number of nutrients, including B vitamins, magnesium, phosphorus and iron. The developed recipe for gingerbread meets modern requirements for healthy nutrition, combining high organoleptic indicators with increased nutritional value. The product can be recommended for the prevention of deficiency conditions associated with a lack of protein, dietary fiber and micronutrients. The introduction of such products into the diet contributes to the expansion of the range of functional confectionery products aimed at strengthening public health.

Keywords: gingerbread, sorghum flour, urbech from milk thistle seeds, quality indicators, mathematical planning, nutritional value.

Для цитирования
Пономарева Е.И., Лукина С.И., Алехина Н.Н., Григорян А.Э. Разработка рецептурного состава сырцовых пряников, обогащенных нетрадиционными видами сырья // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 206–212. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-206-212

For citation
Ponomareva E.I., Lukina S.I., Alekhina N.N., Grigoryan A.E. Development of the formulation of raw gingerbread enriched with non-traditional raw materials. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 206–212. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-206-212

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

Введение

Ассортимент мучных кондитерских изделий многообразен и пользуется большой популярностью населением России. Из общего объема их производства на долю пряников приходится около 12%. Пряничные изделия отличаются оригинальным внешним видом, присущим только им специфическим вкусом и ароматом, создаваемых за счет применения традиционных и эксклюзивных технологий и рецептур [1].

Современные виды пряничных изделий берут начало с глубокой древности, когда их изготовление было народным промыслом по рецептам, передаваемым из поколения в поколение. Само название изделия происходит от слова «пряность», так как обязательной добавкой в пряничное тесто служат «сухие духи» – смесь молотых пряностей, создающих основу его вкуса [2].

Пряничные изделия традиционно готовят из пшеничной сортовой муки, может применяться ржаная мука в смеси с пшеничной. Кроме того, из-за содержания жира и сахаристых веществ – сахара, патоки, меда, входящих в состав пряников в больших количествах, изделия имеют высокую калорийность и низкую пищевую ценность.

В настоящее время актуальными задачами для производителей являются улучшение качества изделий, снижение их сахароемкости и повышение пищевой ценности. В состав продукции нового поколения должны входить физиологически ценные ингредиенты (витамины, минеральные вещества, пищевые волокна, полиненасыщенные жирные кислоты, незаменимые аминокислоты), имеющие биологически значимое положительное воздействие на организм человека и способные предупреждать развитие целого ряда неинфекционных заболеваний. Поэтому разработка технологий и рецептур пряничных изделий с применением новых нетрадиционных видов сырья, добавок и обогатителей актуальна и своевременна [3–5].

Для реализации данной задачи необходим поиск новых сырьевых ресурсов, имеющих физиологическую ценность, невысокую стоимость и доступность на местном потребительском рынке. На этом основывался выбор применяемого в работе нетрадиционного сырья – обогатителей растительного происхождения.

Мука сорговая – цельносмолотый продукт, не содержит клейковинных белков, имеет высокую питательную ценность за счет содержания белка, пищевых волокон, ненасыщенных жирных кислот, в частности, линолевой и линоленовой, фосфора, железа, витаминов группы В и Е. Поликозанол, содержащийся в зерне сорго, способствует улучшению функций сердечно-сосудистой системы и снижению уровня холестерина [6, 7].

Урбеч из семян расторопши – натуральный продукт, представляющий собой пасту из перетертых семян до состояния густой массы. Его питательная ценность обусловлена содержанием в составе семян целого комплекса ценных веществ – незаменимых аминокислот (суммарно 13,3 г / 100 г. – на уровне эталона), ненасыщенных жирных кислот (линолевая, олеиновая), минералов (кальций, магний, марганец, цинк, медь), витаминов группы В, F и К. Силимарин, содержащийся в семенах расторопши, представляет собой комплекс природных антиоксидантов – флаволигнанов, которые способствуют восстановлению повреждённых клеток печени [8–10].

Учитывая вышеизложенное, теоретический и практический интерес представляет разработка рецептурного состава пряников с применением сорговой муки и урбеча из семян расторопши.

Цель работы – определение рациональных дозировок рецептурных компонентов сырцовых пряников с применением методов математического планирования и оптимизации эксперимента.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись образцы пряников, приготовленные с применением нетрадиционного сырья. Сырье, применяемое в работе: мука пшеничная хлебопекарная первого сорта (ГОСТ 26574–2017), сахар белый (ГОСТ 33222–2015), кефир жирностью 1,0% (ГОСТ 31454–2012), масло подсолнечное рафинированное (ГОСТ 1129–2013), сорговая мука (ТУ 10.61.22–001–03555402–2022), урбеч из семян расторопши (ТУ 9129–001–0198404506–16), карбонат натрия (ГОСТ 32802–2014). Оценку качества применяемого сырья проводили по методикам, приведенным в пособии [11].

Для определения рациональных дозировок компонентов применяли центральное композиционное ротатабельное униформ-планирование эксперимента с использованием для обработки данных статистических критериев Кохрена, Стьюдента, Фишера при доверительной вероятности 0,95 [12, 13].

Образцы пряников готовили сырцовым способом при следующих параметрах: замес теста влажностью 22%, температурой 20–22° С, раскатка теста в пласт толщиной 0,8–1,2 см, выпечка отформованных заготовок при температуре 210° С в течение 15–17 мин [1].

Готовые изделия анализировали по органолептическим показателям, намокаемости и плотности по методам в соответствии с ГОСТ 15810–2014 [14].

Анализ химического состава пряников осуществляли по следующим методикам: содержание белка определяли по ГОСТ 10846–91, водорастворимых углеводов – по ГОСТ Р 51636–2000, жира – по ГОСТ 32905–2014, пищевых волокон – по ГОСТ 31675–2012, витаминный состав (РР, B_1, B_2) – по ГОСТ 29140–91, ГОСТ 29138–91, ГОСТ 29139–91. Минеральный состав (калий, кальций, магний, фосфор, железо) исследовали по ГОСТ 32343–2013, ГОСТ 26657–97.

Показатели пищевой ценности изделий рассчитывали по программе «КОМПЛЕКС», разработанной на кафедре технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств (ТХКМЗП) ФГБОУ ВО «ВГУИТ» по методике, приведенной в пособии [1].

Исследования проводили в лабораториях кафедры ТХКМЗП, испытательном лабораторном центре комбикормов, комбикормового сырья, пищевых продуктов АНО «Научно-технический центр «Комбикорм» (г. Воронеж).

Результаты и обсуждения

На первом этапе исследования проведена обработка результатов эксперимента и построение математических моделей в виде регрессионных уравнений 2-го порядка, адекватно описывающих зависимости функций отклика от изучаемых факторов.

Входными факторами являлись дозировки компонентов: x_1 – сорговая мука,% к общей массе муки; x_2 – урбеч из семян расторопши,% к массе сахара. Интервалы их изменения были определены на основании предварительно проведенных исследований. Выходными параметрами служили показатели качества пряников: намокаемость (y_1,%) и плотность (y_2, г/см^3).

Опыты по полному факторному эксперименту типа 2^3 проводили в соответствии с матрицей планирования, включающей пять параллельных опытов в центре плана и опыты в «звездных» точках с величиной «звездного» плеча ±1,414.

В таблице 1 представлены средние арифметические значения функций отклика y_1 и y_2 в двух параллельных опытах.

Таблица 1.

Матрица планирования и результаты эксперимента

Table 1.

Planning matrix and experimental results

№ опыта | Experience number	Кодированные значения факторов | Coded values of the factors		Натуральные значения факторов | Natural values of the factors		Функции отклика | Response functions	
	X_1	X_2	x_1,%	x_2,%	y_1, г/см^3 | g/cm^3	y_2,%
1	-1	-1	25	15	0,48	154
2	-1	+1	25	25	0,58	200
3	+1	-1	50	15	0,56	175
4	+1	+1	50	25	0,46	156
5	-1,414	0	20	20	0,56	168
6	0	-1,414	37,5	13	0,48	175
7	+1,414	0	55	20	0,44	147
8	0	+1,414	37,5	27	0,56	195
9	0	0	37,5	20	0,40	190
10	0	0	37,5	20	0,41	190
11	0	0	37,5	20	0,40	190
12	0	0	37,5	20	0,40	188
13	0	0	37,5	20	0,41	190

Получены регрессионные уравнения зависимости показателей качества пряников от дозировок нетрадиционных видов сырья в кодированном виде:

$$y_1 = 189{,}60 - 6{,}59X_1 + 6{,}91X_2 - 16{,}25X_1X_2 - 16{,}05X_1^2 - 2{,}30X_2^2, \quad (1)$$

$$y_2 = 0{,}415 - 0{,}026X_1 + 0{,}014X_2 - 0{,}05X_1X_2 + 0{,}05X_1^2 + 0{,}06X_2^2, \quad (2)$$

где X_i – кодированные значения факторов, связанные с натуральными значениями X_I соотношениями:

$$X_1 = \frac{x_1 - 37{,}5}{12{,}5},\ X_2 = \frac{x_2 - 20}{5}. \quad (3)$$

На втором этапе проведена интерпретация полученных моделей, которая дала информацию о форме поверхностей отклика и позволила предсказать область рациональных значений выходных параметров для заданных условий проведения эксперимента.

На рисунках 1 и 2 приведена графическая интерпретация зависимостей (1) и (2) от массовой доли рецептурных компонентов.

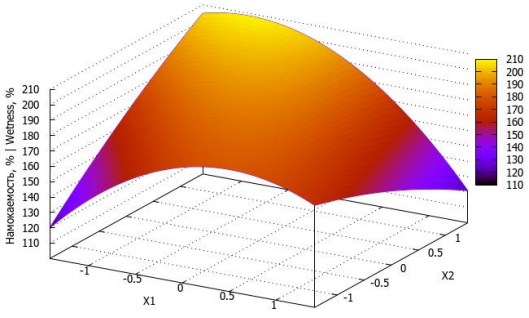


Рисунок 1. Поверхность отклика y_1

Figure 1. Response Surface y_1

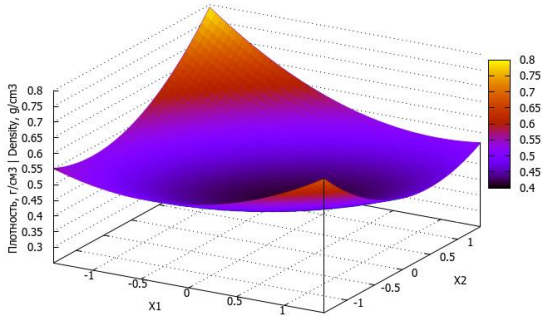


Рисунок 2. Поверхность отклика y_2

Figure 2. Response Surface y_2

Анализ поверхностей отклика (рисунки 1, 2) позволил определить области факторного пространства, в которых достигались оптимальные значения выходных параметров – максимальные значения намокаемости (y_1 = 200 – 210%) и минимальные значения плотности (y_2 = 0,40 – 0,45 г/см^3), что соответствовало разным точкам факторного пространства.

На третьем этапе проведена оптимизация рецептурного состава пряников с учетом требований ГОСТ 15810–2014 по намокаемости (не менее 180%) и плотности (от 0,55 до 0,75 г./см^3). Применяя метод перебора на равномерной сетке с шагом по каждому фактору 0,5%, определены рациональные значения входных факторов: x_1 = 25% к общей массе муки, x_2 = 25% к массе сахара, обеспечивающие достижение наибольшего значения намокаемости пряников y_2 = 201% при среднем значении их плотности y_1 = 0,615 г./см^3. Правильность выбора оптимальных значений факторов доказана проведением серии параллельных экспериментов. Среднеквадратичная ошибка не превышала 0,67%, что говорит о достаточной сходимости результатов.

На основании полученных результатов разработана рецептура и способ приготовления пряников «Богатырские» (ТУ 10.72.12.112–630–0206810–2025), характеризующиеся высокими показателями качества, сниженной сахароемкостью за счет замены части муки и сахара на нетрадиционные виды сырья.

На четвертом этапе определено содержание пищевых нутриентов в контрольном и опытном образцах. В качестве контроля применяли образец, выработанный по рецептуре пряников домашних [15]. Опытным был образец, приготовленный по рецептуре пряников «Богатырские».

По полученным данным рассчитана энергетическая ценность изделий, содержание пищевых нутриентов и степень покрытия суточной потребности в них за счет употребления пряников (таблица 2). Установлено, что в опытном образце увеличено содержание белка на 12%, жира – на 24%, пищевых волокон – на 18%, снижено содержание углеводов на 4% по сравнению с контролем.

За счет применения урбеча из семян расторопши, содержащего в преобладающем количестве омега-6 (62%) и омега-9 (22%) жирные кислоты [10], жирнокислотный состав опытного образца улучшается.

Пряники «Богатырские» порцией 100 г. обеспечат удовлетворение суточной потребности взрослого человека в нутриентах: белке и пищевых волокнах – на 12%, магнии и фосфоре – на 15%, витамине РР и B_1 – на 20%, железе – на 14%.

Таблица 2.

Содержание пищевых нутриентов и степень удовлетворения их суточной потребности организма за счет употребления 100 г изделия

Table 2.

The content of food nutrients and the degree of satisfaction of their daily needs of the body due to the use of 100 g of the product

Наименование пищевых веществ и энергетическая ценность | Name of food substances and energy value	Физиологическая суточная потребность, г/сут (ТР ТС 022/2011) | Physiological daily requirement, g/day (TR CU 022/2011)	Содержание в образцах | Content in samples		Степень удовлетворения за счет употребления пряников | Degree of satisfaction due to use of gingerbread	
		Контроль | Control	Опыт | Experiment	Контроль | Control	Опыт | Experiment
Белки, г | Proteins, g	75	7,78	10	8,68	12
Жир, г | Fat, g	83	5,22	6	6,50	8
Углеводы, г | Carbohydrates, g	365	67,20	18	64,21	18
Пищевые волокна, г | Dietary fiber, g	30	3,16	11	3,72	12
Витамин РР, мг | Vitamin PP, mg	20	3,00	15	4,00	20
Витамин B_1, мг | Vitamin B_1, mg	1,4	0,20	13	0,30	20
Витамин B_2, мг | Vitamin B_2, mg	1,6	0,08	4	0,10	6
Калий, мг | Potassium, mg	3500	146	4	207	6
Кальций, мг | Calcium, mg	1000	43	4	63	6,3
Магний, мг | Magnesium, mg	400	31	7	59	15
Фосфор, мг | Phosphorus, mg	800	94	9	151	15
Железо, мг | Iron, mg	14	1,4	10	2	14
Энергетическая ценность, ккал (кДж) | Energy value, kcal (kJ)	2500 (10460)	347 (1452)	350 (1464)	14	14

Заключение

Определен рациональный рецептурный состав пряников «Богатырские», предусматривающий внесение сорговой муки в количестве 171 кг и урбеча из семян расторопши – 61 кг на 1 т готового продукта взамен части муки и сахара, что позволяет снизить сахароемкость и повысить пищевую ценность продукта. Применение нетрадиционных видов сырья, содержащего биологически активные нутриенты, позволяет расширить ассортимент обогащенных мучных кондитерских изделий, улучшить их органолептические свойства, повысить показатели качества. Продукт рекомендован для массового потребления с целью профилактики заболеваний, связанных с дефицитом нутриентов в питании.

Литература

1 Лапшина В.Т., Кузнецова Л.С., Сиданова М.Ю. Сборник рецептур на торты, пирожные, кексы, рулеты, печенье, пряники, коврижки и сдобные булочные изделия: сб. технологических нормативов. М.: Хлебпродинформ, 2000. Ч. 3. 720 с.

2 Региональные особенности пряничного промысла в России [Электронный ресурс]. URL: https://mgpu-media.ru/issues/issue-25/historical-science/regional-features.html (дата обращения: 12.04.2025).

3 Магомедов Г.О., Плотникова И.В., Писаревский Д.С. Создание пряников повышенной биологической ценности для спортсменов // Хлебопродукты. 2018. № 8. С. 38–41.

4 Санжаровская Н.С., Сокол Н.В., Храпко О.П. Использование нетрадиционного сырья в технологии сырцовых пряников // Вестник КрасГАУ. 2018. № 1. С. 147–154.

5 Пономарева Е.И., Попов В.И., Есауленко И.Э., Лукина С.И., Алехина Н.Н. Пряничные изделия повышенной пищевой ценности с нетрадиционными видами сырья // Вопросы питания. 2017. Т. 86. № 5. С. 75–81.

6 Мука сорго – химический состав, пищевая ценность [Электронный ресурс]. URL: https://fitaudit.ru/food/158409 (дата обращения: 12.04.2025).

7 Никонорова Ю.Ю., Волкова А.В., Мохова В.И. Влияние сорговой муки на свойства композитных смесей с мукой пшеничной хлебопекарной высшего сорта // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. Т. 74. № 5 URL: https:// 7universum.com/ru/tech/archive/item/9419 (дата обращения: 12.04.2025).

8 Зверев С.В., Вьюгина Т.П. Обрушение семян расторопши // Научные основы пищевых технологий. 2023. Т. 82. № 5. С. 31–37.

9 Рамазанов А.Ш., Балаева Ш.А., Шахбанов К.Ш. Химический состав плодов и масла расторопши пятнистой, произрастающей на территории Республики Дагестан // Химия растительного сырья. 2019. № 2. С. 113–118.

10 Клейменова Н.Л. Жирнокислотный состав масла семян расторопши пятнистой, полученного методом холодного прессования // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. №. 4. С. 102–106.

11 Пономарева Е.И., Алёхина Н.Н., Лукина С.И., Малютина Т.Н. Общая технология отрасли: оценка качества сырья растительного, животного и природного происхождения: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2024. 240 с.

12 Пономарева Е.И., Лукина С.И., Журавлев А.А., Павловская С.М. Оптимизация дозировок нетрадиционных видов сырья в рецептуре хлеба профилактической направленности // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2021. № 4 (382). С. 55–59.

13 Zhuravlev A.A., Lukina S.I., Ponomareva E.I., Roslyakova K.E. Optimization of technological parameters of preparation of dough for rusks of high nutrition value // Foods and Raw Materials. 2017. Vol. 5 (1). P. 73–80.

14 Лобосова Л.А., Малютина Т.Н., Лукина С.И. Методы исследований свойств сырья, полуфабрикатов и готовой продукции в производстве хлебобулочных и кондитерских изделий. Теория и практика): учеб. пособие для вузов / Санкт-Петербург: Лань, 2023.120 с.

15 Пряники домашние [Электронный ресурс]. URL: https://www.russianfood.com/recipes/recipe.php? rid=139288 (дата обращения: 12.04.2025).

16 Егорова Е.Ю., Пономарева Е.И. Современные тенденции в производстве функциональных мучных кондитерских изделий // Пищевая промышленность. 2022. № 5. С. 34–38.

17 Лукина С.И., Алехина Н.Н. Математическое моделирование в оптимизации рецептур мучных изделий // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 2. С. 45–52.

18 Нартова В.Н., Пономарева Е.И. Использование нетрадиционного сырья в производстве пряников // Хранение и переработка сельхозсырья. 2023. № 1. С. 67–73.

19 Шевченко В.В., Петрова Т.А. Сорго как перспективный источник пищевых волокон и белка // Зерновые культуры. 2020. № 4. С. 22–27.

20 Кузнецова О.А., Иванова Л.П. Биологически активные вещества семян расторопши и их применение в пищевых технологиях // Вопросы питания. 2021. Т. 90. № 3. С. 55–62.

21 Taylor J.R.N., Emmambux M.N. Sorghum and millet foods: Product characteristics and challenges // Cereal Chemistry. 2010. Vol. 87. No. 4. P. 349-359. doi:10.1094/CCHEM-87-4-0349

22 de Morais Cardoso L. et al. Sorghum (Sorghum bicolor L.): Nutrients, bioactive compounds, and potential impact on human health // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2017. Vol. 57. No. 2. P. 372-390. doi:10.1080/10408398.2014.887057

23 Onyango C. et al. Gluten-free sorghum bread enriched with alternative protein sources: Nutritional and sensory evaluation // Food Science & Nutrition. 2020. Vol. 8. No. 2. P. 1039-1048. doi:10.1002/fsn3.1389

24 Karkanis A. et al. Milk thistle (Silybum marianum L.) as a functional food: A review // Phytotherapy Research. 2018. Vol. 32. No. 11. P. 2202-2213. doi:10.1002/ptr.6171

25 Elsayed E.A. et al. Milk thistle seed oil and meal: Composition, biological activities, and food applications // Antioxidants. 2021. Vol. 10. No. 5. P. 762. doi:10.3390/antiox10050762

26 Gallagher E. et al. The use of alternative flours in breadmaking: Rheological and technological considerations // International Journal of Food Science & Technology. 2004. Vol. 39. No. 5. P. 461-473. doi: 10.1111/j.1365-2621.2004.00804.x

27 Struck S. et al. Sugar replacement in baked goods: Strategies using honey, syrups, and pastes // Journal of Food Science. 2018. Vol. 83. No. 3. P. 580-588. doi:10.1111/1750-3841.14044

28 Camelia P. et al. Application of Doehlert design in optimizing gluten-free bread formulations // LWT-Food Science and Technology. 2020. Vol. 118. P. 108712. doi: 10.1016/j.lwt.2019.108712

References

1 Lapshina V.T., Kuznetsova L.S., Sidanova M.Yu. Collection of recipes for cakes, pastries, cupcakes, rolls, cookies, gingerbread, honey cakes and rich bakery products: coll. of technological standards. Moscow: Khlebprodinform, 2000. Part 3. 720 p. (in Russian)

2 Regional peculiarities of gingerbread industry in Russia [Electronic resource]. Available at: https://mgpu-media.ru/issues/issue-25/historical-science/regional-features.html (date of access: 04/12/2025) (in Russian).

3 Magomedov G.O., Plotnikova I.V., Pisarevsky D.S. Development of high biological value gingerbread for athletes. Bread Products. 2018. no. 8. pp. 38-41. (in Russian)

4 Sanzharovskaya N.S., Sokol N.V., Khrapko O.P. Use of non-traditional raw materials in raw gingerbread technology. Bulletin of KrasSAU. 2018. no. 1. pp. 147-154. (in Russian)

5 Ponomareva E.I., Popov V.I., Esaulenko I.E., Lukina S.I., Alyokhina N.N. High nutritional value gingerbread products with non-traditional types of raw materials. Nutrition Issues. 2017. vol. 86. no. 5. pp. 75-81. (in Russian)

6 Sorghum flour – chemical composition, nutritional value [Electronic resource]. Available at: https://fitaudit.ru/food/ 158409 (date of access: 04/12/2025). (in Russian).

7 Nikonorova Yu. Yu., Volkova A.V., Mokhova V.I. Influence of sorghum flour on the properties of composite mixtures with wheat flour of the highest grade // Universum: technical sciences: electron. scientific Journal 2020. no. 5 (74). URL: https:// 7universum.com/ru/tech/archive/item/9419 (date of request: 04/12/2025). (in Russian).

8 Zverev S.V., Vyugina T.P. Hulling of milk thistle seeds. Scientific Foundations of Food Technologies. 2023. no. 5(82). pp. 31-37. (in Russian)

9 Ramazanov A.Sh., Balaeva Sh.A., Shakhbanov K.Sh. Chemical composition of fruits and oil of milk thistle growing in the Republic of Dagestan. Chemistry of Plant Raw Materials. 2019. no. 2. pp. 113-118. (in Russian)

10 Kleimenova N.L. Fatty acid composition of milk thistle seed oil obtained by cold pressing. Bulletin of VSUIT. 2020. vol. 82. no. 4. pp. 102-106. (in Russian)

11 Ponomareva E.I., Alyokhina N.N., Lukina S.I., Malyutina T.N. General technology of the industry: assessment of the quality of raw materials of plant, animal and natural origin: textbook. stipend. St. Petersburg: Lan Publ., 2024. 240 p. (in Russian).

12 Ponomareva E.I., Lukina S.I., Zhuravlev A.A., Pavlovskaya S.M. Optimization of dosages of non-traditional types of raw materials in the formulation of preventive bread. University News. Food Technology. 2021. no. 4(382). pp. 55-59. (in Russian)

13 Zhuravlev A.A., Lukina S.I., Ponomareva E.I., Roslyakova K.E. Optimization of technological parameters of preparation of dough for rusks of high nutrition value. Foods and Raw Materials. 2017. vol. 5 (1). pp. 73–80. (in Russian).

14 Lobosova L.A., Malyutina T.N., Lukina S.I. Methods of studying the properties of raw materials, semi-finished products and finished products in the production of bakery and confectionery products. Theory and practice) : textbook. handbook for universities / Saint Petersburg: Lan, 2023.120 p. (in Russian).

15 Homemade gingerbread cookies [Electronic resource]. Access mode: https://www.russianfood.com/recipes/ recipe.php? rid=139288 (date of reference: 04/12/2025). (in Russian).

16 Egorova E.Yu., Ponomareva E.I. Modern trends in the production of functional flour confectionery products. Food Industry. 2022. no. 5. pp. 34–38. (in Russian)

17 Lukina S.I., Alekhina N.N. Mathematical modeling in the optimization of flour product formulations. Bulletin of VSUIT. 2021. vol. 83. no. 2. pp. 45–52. (in Russian)

18 Nartova V.N., Ponomareva E.I. Use of non-traditional raw materials in gingerbread production. Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. 2023. no. 1. pp. 67–73. (in Russian)

19 Shevchenko V.V., Petrova T.A. Sorghum as a promising source of dietary fiber and protein. Cereal Crops. 2020. no. 4. pp. 22–27. (in Russian)

20 Kuznetsova O.A., Ivanova L.P. Biologically active substances of milk thistle seeds and their application in food technologies. Nutrition Issues. 2021. vol. 90. no. 3. pp. 55–62. (in Russian)

21 Taylor J.R.N., Emmambux M.N. Sorghum and millet foods: Product characteristics and challenges. Cereal Chemistry. 2010. vol. 87. no. 4. pp. 349-359. doi:10.1094/CCHEM-87-4-0349

22 de Morais Cardoso L. et al. Sorghum (Sorghum bicolor L.): Nutrients, bioactive compounds, and potential impact on human health. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2017. vol. 57. no. 2. pp. 372-390. doi:10.1080/10408398.2014.887057

23 Onyango C. et al. Gluten-free sorghum bread enriched with alternative protein sources: Nutritional and sensory evaluation. Food Science & Nutrition. 2020. vol. 8. no. 2. pp. 1039-1048. doi:10.1002/fsn3.1389

24 Karkanis A. et al. Milk thistle (Silybum marianum L.) as a functional food: A review. Phytotherapy Research. 2018. vol. 32. no. 11. pp. 2202-2213. doi:10.1002/ptr.6171

25 Elsayed E.A. et al. Milk thistle seed oil and meal: Composition, biological activities, and food applications. Antioxidants. 2021. vol. 10. no. 5. pp. 762. doi:10.3390/antiox10050762

26 Gallagher E. et al. The use of alternative flours in breadmaking: Rheological and technological considerations. International Journal of Food Science & Technology. 2004. vol. 39. no. 5. pp. 461-473. doi:10.1111/j.1365-2621.2004.00804.x

27 Struck S. et al. Sugar replacement in baked goods: Strategies using honey, syrups, and pastes. Journal of Food Science. 2018. vol. 83. no. 3. pp. 580-588. doi:10.1111/1750-3841.14044

28 Camelia P. et al. Application of Doehlert design in optimizing gluten-free bread formulations. LWT-Food Science and Technology. 2020. vol. 118. pp. 108712. doi:10.1016/j.lwt.2019.108712

Сведения об авторах

Елена И. Пономарева 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, elena6815@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0023-2310-2838

Светлана И. Лукина 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, lukina.si@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-4393-2046

Надежда Н. Алехина 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, nadinat@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-3317-9858

Валерия Н. Нартова магистр, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, iwakina.val@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0007-4589-6428

Information about authors

Elena I. Ponomareva 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, elena6815@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0023-2310-2838

Svetlana I. Lukina Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lukina.si@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-4393-2046

Nadezhda N. Alekhina 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, nadinat@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-3317-9858

Valeria N. Nartova master, Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, iwakina.val@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0007-4589-6428

Вклад авторов

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

Contribution

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/01/2025	**После редакции** 27/01/2025	**Принята в печать** 08/02/2025

Received 11/01/2025	**Accepted in revised** 27/01/2025	**Accepted** 08/02/2025

Химическая технология

Chemical Technology

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-213-222 Оригинальная статья/Research article

УДК 628.355 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Особенности регулирования реакции среды в анаэробном биореакторе с гранулированным илом

Мария В. Рымовская [1] rymovskaya_mv@mail.ru 0000-0003-4350-7859
Раиса М. Маркевич [1] marami-bstu@ya.ru 0000-0002-9238-3568
Александра А. Масехнович [1] al.masekhnovich@mail.ru 0000-0001-8564-5139

1 Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13-а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь

Аннотация. Рассмотрено влияние нагрузки по органическим веществам и реагентов для коррекции pH на биохимическую активность, состав и свойства анаэробного гранулированного ила при очистке сточных вод молокоперерабатывающего предприятия. Технологический процесс моделировали в лабораторных биореакторах при 30ºС в полунепрерывном режиме с подпиткой модельной сточной водой. В качестве реагентов для регулирования pH использовали гидрокарбонат натрия, гидроксид аммония и гидроксид натрия. Определены основные технологические характеристики работы лабораторных биореакторов: скорость утилизации органических веществ, эффективность очистки сточных вод, pH жидкости в биореакторах, стабильность гранул. Показано, что тип реагента для коррекции pH не оказывает влияния на скорость утилизации органических веществ. При коррекции pH гидрокарбонатом натрия достигается наибольшая эффективность очистки модельной сточной воды (83-88%) и оптимальный для метаногенных бактерий интервал pH (6,9-7,2). Самая высокая степень разрушения гранул наблюдалась при использовании для коррекции pH гидроксида натрия. Тип реагента для коррекции pH оказывает влияние на состав минеральной части ила и обуславливает увеличение в ней доли вносимого катиона. Предпочтительным для коррекции pH в анаэробных биореакторах признан гидрокарбонат натрия. Использование растворов аммиака и гидроксида натрия можно порекомендовать для средне- и высоконагружаемых систем. Экспериментально установлено, что гидрокарбонат натрия обеспечивает наиболее стабильные условия для метаногенеза, поддерживая pH в оптимальном диапазоне независимо от органической нагрузки. В отличие от гидроксидных реагентов, он не вызывает значительного разрушения гранулированной структуры ила, что подтверждается микроскопическими исследованиями и анализом минерального состава. При этом использование гидроксида натрия приводит к увеличению доли мелкодисперсных частиц в реакторе до 84% при высоких нагрузках, что может негативно влиять на эффективность очистки. Полученные данные важны для оптимизации работы промышленных анаэробных реакторов, особенно при обработке сточных вод с переменным составом и нагрузкой. Результаты исследования демонстрируют преимущества буферных систем на основе гидрокарбонатов перед сильными щелочами для поддержания стабильной работы биологических систем очистки.

Ключевые слова: очистка сточных вод, анаэробный гранулированный активный ил, лабораторный биореактор, полунепрерывный режим культивирования, реакция среды, нагрузка по органическим загрязнителям, скорость утилизации, состав ила.

Features of the medium reaction regulation in anaerobic bioreactor with granular sludge

Mariya V. Rymovskaya [1] rymovskaya_mv@mail.ru 0000-0003-4350-7859
Raisa M. Markevich [1] marami-bstu@ya.ru 0000-0002-9238-3568
Aleksandra A. Masehnovich [1] al.masekhnovich@mail.ru 0000-0001-8564-5139

1 Belarusian State Technological University, Sverdlova Str., 13-a Minsk, 220006, Respublic of Belarus

Abstract. The influence of organic matter load and pH correction reagents on the biochemical activity, composition and properties of anaerobic granular sludge during milk processing wastewater treatment has been considered. The process was modeled in laboratory bioreactors at 30 °C in a semi-continuous mode with model wastewater feed. Sodium bicarbonate, ammonium hydroxide and sodium hydroxide have been used as pH adjustment reagents. The main technological characteristics of the laboratory bioreactors were determined: rate of organic pollutant utilization, efficiency of wastewater treatment, pH of bioreactors liquid, and the proportion of debris in total mass of granules. It was shown that the type of pH correction reagent does not affect the organic matter utilization rate. The highest efficiency of model wastewater treatment (83-88%) and the closest pH to the optimum for methanogenic bacteria (6.9-7.2) was achieved while pH adjusted with sodium bicarbonate. The highest degree of granule destruction has been observed when sodium hydroxide was used to correct pH. The type of pH correction reagent affects the composition of the mineral part of the sludge and causes an increasing of the introduced cation proportion. Sodium bicarbonate has been recognized as preferable for pH correction in anaerobic bioreactors. The use of ammonia and sodium hydroxide solutions can be recommended for medium- and high-load systems. It has been experimentally established that sodium bicarbonate provides the most stable conditions for methanogenesis, maintaining pH depending on the organic load. Unlike hydroxide reagents, it does not cause significant disturbances in the granular structure, which is confirmed by microscopic studies and analysis of the mineral composition. At the same time, the use of sodium hydroxide leads to an increase in the proportion of fine particles in the reactor to 84% at high loads, which can negatively affect the efficiency of purification. The data obtained are important for optimizing the operation of industrial anaerobic reactors, especially when treating wastewater with variable composition and inclusions. Results of a study of the efficiency of buffer systems based on bicarbonates against strong alkalis to maintain stable operation of biological purification systems.

Keywords: wastewater treatment, anaerobic granular activated sludge, laboratory bioreactor, semi-continuous cultivation mode, medium reaction, organic pollutant load, disposal rate, sludge composition.

Для цитирования

Рымовская М.В., Маркевич Р.М., Масехнович А.А. Особенности регулирования реакции среды в анаэробном биореакторе с гранулированным илом // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 213–222. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-213-222

For citation

Rymoskaya M.V., Markevich R.M., Masehnovich A.A. Features of the medium reaction regulation in anaerobic bioreactor with granular sludge. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 213–222. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-213-222

© 2025, Рымовская М.В. и др. / Rymoskaya M.V. et al.

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

Введение

Анаэробные технологии очистки сточных вод совершенствуются параллельно с традиционно используемыми аэробными технологиями. В основе их лежит культивирование спонтанно развивающихся сообществ микроорганизмов при непрерывном или полунепрерывном поступлении субстрата в составе сточных вод, причем объемный расход и состав сточных вод, pH и температура редко регулируются, чаще только контролируются.

Бурное развитие анаэробных технологий очистки сточных вод объясняется их серьезными преимуществами перед традиционными аэробными методами: низкая потребность в электроэнергии ввиду отсутствия аэрации сточных вод и циркуляции активного ила; малый прирост биомассы активного ила, который является обременительным отходом; стабильность избыточного анаэробного ила; генерация биогаза, используемого в качестве энергоносителя; возможность эксплуатации их как высоконагружаемых систем при относительно небольшой потребности в производственных площадях. Эти особенности и преимущества анаэробных методов открывают возможности эксплуатации их для очистки сточных вод периодически действующих и сезонных производств.

Медленное накопление биомассы анаэробных микроорганизмов стало причиной активного поиска способов ее удержания в объеме биореактора. Самым удачным решением является использование гранулированного ила, формирующегося в результате автоселекции размножающихся суспендированных бактерий и их агрегирования в частицы в восходящем потоке жидкости [1]. Медленнорастущие метаногенные и ацетогенные микроорганизмы формируют компактные плотные гранулы с хорошей осаждаемостью, поэтому в реакторе можно достичь высокой концентрации биомассы, наибольших значений скорости утилизации загрязнений и метаногенерации.

Гранулы такого ила стабильны, в них создаются оптимальные условия для развития всех его биообъектов в единой метаболической цепи, когда продукты жизнедеятельности микроорганизмов внешних слоев служат субстратом для микроорганизмов центральных зон. Диффузионные расстояния в гранулах активного ила минимальны и благоприятны для транспорта промежуточных продуктов разложения органических веществ [2]. Метаногенная активность гранулированного ила выше, чем у флокулированного, и значительно превышает активность дисперсной биомассы.

Ферментативная активность бактерий зависит от уровня pH среды. Оптимум pH для метаногенных бактерий 6,8–7,2, при значении pH 6,2 и менее их метаболизм нарушается. В то же время это значение pH считается оптимальным для ацетатобразующих бактерий. Интенсивный синтез ими уксусной кислоты приводит к дальнейшему снижению уровня pH и подавлению потребляющих ее метаногенов, результатом чего является закисление среды в биореакторе [3].

Присутствующие в среде положительно и отрицательно заряженные ионы формируют буферную систему, которая обеспечивает поддержание стабильного значения pH. В условиях подкисления среды органическими кислотами важно знать количество ионов, обеспечивающих ее подщелачивание, – щелочность. Снижение щелочности приводит к резким колебаниям уровня pH даже при незначительном изменении концентраций положительно и отрицательно заряженных ионов [4] и может стать причиной сбоя в работе сообщества микроорганизмов.

Щелочность в анаэробных биореакторах обусловлена присутствием ионов аммония, образующихся при утилизации аминокислот и находящихся в равновесии с аммиаком, бикарбонатов, находящихся в равновесии с диоксидом углерода, и органических кислот, образующихся в результате жизнедеятельности кислотогенной и ацетогенной групп бактерий. Равновесие между этими компонентами определяет уровень pH. Аммиак растворяется в воде и с диоксидом углерода формирует бикарбонат аммония. Аммонийные соли органических кислот утилизируются метаногенными бактериями с высвобождением аммиака, который снова участвует в обеспечении щелочности системы [5].

Для достижения устойчивого уровня pH в анаэробный биореактор вносят вещества, увеличивающие щелочность: гидроксиды и карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов, гидроксид аммония. Для длительного применения предпочтительно внесение смеси катионов, что позволяет нивелировать недостатки отдельных реагентов [6–7].

Слабым местом технологий очистки сточных вод является постепенное отклонение от оптимальных параметров, приводящее к хроническим проблемам эксплуатации биореакторов. Общие стратегии и рекомендации по управлению подобными системами разработаны, неплохо систематизированы в книгах и руководствах, публикуются частные случаи эксплуатации очистных сооружений [8–10].

Публикаций, посвященных изучению влияния реагента для коррекции pH на состав ила и технологический процесс очистки практически нет.

В Республике Беларусь действует несколько анаэробных очистных сооружений с гранулированным активным илом. В частности, на локальной очистной станции ОАО «Туровский молочный комбинат» (г. Туров, Гомельская обл.) используют анаэробный биореактор типа E2E с псевдоожиженным слоем гранулированного ила, а на локальной очистной станции ОСП ГГЦ «Березинский спиртовой завод» РУП «Минск-Кристалл» (г. Березино, Минская обл.) действует анаэробный реактор типа UASB. Биореактор типа E2E (Voith Paper GmbH & Co. KG, Германия) состоит из резервуара реактора и напорной колоны. В зависимости от количества сточных вод и уровня загрязненности биологически очищенная вода частично возвращается в реактор для создания постоянной скорости потока, что способствует поддержанию достаточно большой скорости массообмена. В этой динамичной системе с большой скоростью протока очищаемой жидкости для поддержания pH используют гидроксид натрия. Для коррекции pH в UASB-реакторе на ОСП ГГЦ «Березинский спиртовой завод» РУП «Минск-Кристалл» приемлемым стало использование карбоната кальция, поскольку на очистку подается жидкость с относительно большой загрязненностью по органическим веществам, горизонтальное перемешивание практически отсутствует, а высвобождение катионов кальция, связывающихся с анионами неорганических кислот, растянуто во времени.

Целью работы стало изучение особенностей коррекции pH в анаэробном биореакторе с гранулированным илом.

Объектом исследования являлся технологический процесс анаэробной очистки сточных вод молокоперерабатывающего производства в лабораторных биореакторах с гранулированным активным илом. Предмет исследования – биохимические процессы в анаэробных биореакторах и состав гранулированного активного ила в условиях коррекции pH.

Научная задача исследования заключалась в изучении биохимической активности, состава и свойств анаэробного гранулированного ила, используемого в условиях разной нагрузки по органическим веществам и различных реагентов для коррекции pH, сопоставлении технологических характеристик для определения наилучшего варианта реагента для коррекции pH.

Материалы и методы

Для моделирования технологического процесса анаэробной очистки сточных вод использовались 18 лабораторных биореакторов, представляющих собой вертикальные цилиндрические емкости рабочим объемом 200 см³. Биореакторы снабжены гидрозатворами для поддержания анаэробного режима. В каждый из биореакторов вносили 50 г. (примерно 50 см³) влажного гранулированного ила и 150 см³ модельной сточной воды. В работе использован гранулированный активный ил, отобранный из анаэробного биореактора типа E2E с псевдоожиженным слоем ила (ОАО «Туровский молочный комбинат»). Биореакторы термостатировали в суховоздушном термостате при температуре 30° С. Подпитку биоректоров модельной сточной водой, отбор проб жидкости и удаление биологически очищенной воды вели без нарушения анаэробиоза с периодичностью 1 раз в сутки, перемешивали содержимое биореакторов во время подпитки или отбора проб.

Для подпитки микроорганизмов ила органическими веществами использовали модельную сточную воду молокоперерабатывающего производства, ее готовили на основе сухой сладкой сыворотки с внесением нитрата натрия, поскольку мойка оборудования на предприятиях отрасли происходит с использованием растворов гидроксида натрия и азотной кислоты. Состав модельной сточной воды, мг/дм^3: сухая молочная сыворотка – 2000; натрия нитрат – 10; отстоявшаяся водопроводная вода – остальное; pH – 7,0. Для моделирования низко-, средне- и высоконагружаемых систем готовили концентраты такой воды 5×, 10× и 20× соответственно.

Для оценки работы анаэробных биореакторов определяли химическое потребление кислорода (ХПК), щелочность, концентрацию ионов аммония, pH сточной (СВ) и биологически очищенной воды (БОВ). Для измерения ХПК использовали автоматический измеритель ХПК, состоящий из блока подготовки проб III 839800 COD REACTOR и анализатора Multiparameter Bench Photometer. Щелочность определяли по ГОСТ 31957–2012. Концентрацию неорганического азота в аммонийной форме определяли путем отгонки фильтрата с последующим титрованием. Показатель pH устанавливали потенциометрически с использованием прибора pH/ORP meter HANNA instruments по инструкции производителя.

Анаэробный гранулированный активный ил из биореакторов подвергали анализу после отделения свободно стекающей влаги. Для характеристики ила определяли массу влажного ила из каждого биореактора, устанавливали

влажность, рассчитывали концентрацию ила в биореакторе по сухой массе, определяли массовую долю минеральных веществ в сухом остатке и компонентный состав минерального остатка, оценивали целостность и плотность гранул. Установление влажности и содержания сухих веществ проводили по ГОСТ 171–2015, доли минеральных веществ в сухом остатке – по ГОСТ 28178–89. Плотность гранулированного активного ила определяли путем отнесения массы навески влажного гранулированного ила к объему, занимаемому им. Компонентный состав минерального остатка устанавливали с использованием сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201 (JEOL, Япония).

В условиях экспериментов варьировались нагрузка по органическим веществам и реагент для регулирования pH с изучением каждого из сочетаний.

Нагрузка по органическим веществам на ил была принята на основании опытно-эксплуатационных данных промышленных анаэробных биореакторов с локальных очистных сооружений ОАО «Туровский молочный комбинат» и ОСП ГГЦ «Березинский спиртовой завод» РУП «Минск-Кристалл». Средняя нагрузка по органическим загрязнениям, оцененная по ХПК, составляла 7,8 и 3,3 кг ХПК/(м^3·сут) соответственно для биореакторов с рециркуляцией и без рециркуляции очищаемой воды, при этом достигается средняя эффективность очистки воды 88 и 93% соответственно. Поскольку в моделируемом в нашем исследовании процессе не была предусмотрена рециркуляция очищаемой воды, то решили принять за рабочую (среднюю), характерную для нормальных условий работы таких установок, нагрузку на уровне 3,0–4,0 кг ХПК/(м^3·сут)). Условия низкой и высокой нагрузки моделировали на уровне 1,0–2,0 и 7,0–8,0 кг ХПК/(м^3·сут) соответственно.

В качестве реагентов для регулирования pH использовали гидрокарбонат натрия, гидроксид аммония и гидроксид натрия. Регулирование реакции среды вели при снижении значения pH ниже 6,5 до достижения значения pH 7,0.

Для вывода биореакторов на установившийся режим в течение 3 месяцев выдерживали их в выбранном варианте условий нагрузки по органическим веществам при регулярной подпитке (1 раз в сутки) и своевременной коррекции реакции среды (pH). Для постановки эксперимента сменяли часть жидкости в биореакторе в выбранном режиме и далее модельную сточную воду не вносили, отбор проб жидкости из биореакторов делали на 1, 3, 5 и 7 сут. На основании данных по загрязненности СВ и БОВ рассчитывали эффективность очистки по ХПК,%, скорость утилизации органических загрязнителей сточных вод микроорганизмами активного ила на единицу рабочего объема биореактора и на единицу сухих веществ ила, кг ХПК/(м^3·сут) и г ХПК/(кг×сут) соответственно, а также скорость накопления аммонийного азота в расчете на единицу сухих веществ ила, г N/(кг×сут).

Результаты и обсуждение

Качественный и количественный состав загрязнителей сточных вод, гидродинамический режим работы анаэробных биореакторов с гранулированным илом оказывают непосредственное влияние на величину показателя pH и качество создаваемой буферной среды. Для промышленных анаэробных биореакторов в таблице 1 приведены результаты анализа разовых проб сточной и биологически очищенной воды, гранулированного активного ила.

Таблица 1.

Показатели качества сточных и биологически очищенных вод, гранулированного активного ила из промышленных анаэробных биореакторов

Table 1.

Quality indicators of wastewater and biologically treated water, granulated active sludge from industrial anaerobic bioreactors

Показатель качества | Water quality index	pH | pH		Щелочность, мг/дм^3 по $CaCO_3$ | Alkalinity, mg/dm^3 by $CaCO_3$		Аммонийный азот, мг/дм^3 | Ammonium nitrogen, mg/dm^3		Концентрация в биореакторе, кг с.в./м^3 | Concentration in the bioreactor, kg dry matter/m^3	Содержание минеральных веществ, % от с.в. | Mineral content, % of dry matter
Наименование объекта анализа | Name of the object of analysis	СВ | Waste water	БОВ | Biologically treated water	СВ | Waste water	БОВ | Biologically treated water	СВ | Waste water	БОВ | Biologically treated water	гранулированный активный ил | granulated active sludge	
Биореактор типа UASB | Bioreactor type UASB	3,5–6,1	6,9–7,6	1700	3900	547,2	1116,3	220–240	49,7–55,8
Биореактор типа E2E | Bioreactor type E2E	6,8–7,0	6,7–7,5	50	61	5,2	6,1	100–140	32,4–38,8

Сточные воды производства пищевого этанола содержат много органических кислот и аммонийного азота. В результате утилизации олиго- и полисахаридов, пептидов микробиотой активного ила щелочность и текущая концентрация аммонийного азота в биореакторе типа UASB увеличиваются в 2 раза, обеспечивая метаногенным бактериям надежную защиту от снижения pH. Даже при низком значении показателя pH поступающих сточных вод он корректируется катионами в биореакторе до приемлемого значения 6,9–7,6, большой вклад при этом вносят, по-видимому, ионы аммония. Карбонат кальция в эту систему вносится либо при значительном увеличении объемного расхода потока или его загрязненности, либо в случае пуска после длительного отсутствия подпитки.

В составе СВ молокоперерабатывающего производства, напротив, аммонийного азота относительно мало и щелочность невелика, значительного увеличения этих показателей в БОВ не происходит из-за использования рециркуляции потока очищенной воды для корректной работы биореактора с псевдоожиженным слоем, при котором достигается омывание гранул ила очищаемой водой и потому – интенсивный массообмен. Использование для коррекции pH гидроксида натрия позволяет поддерживать оптимальный для метаногенных бактерий уровень pH.

Концентрация активного ила в биореакторе типа UASB в 2 раза выше, чем в биореакторе с псевдоожиженным слоем ила, что объясняется различающимся гидродинамическим режимом работы. Содержание минеральных веществ в иле относительно велико. Есть свидетельства, что малорастворимые соли в составе таких гранул могут формировать трехмерный каркас и потому участвовать в обеспечении прочности и целостности таких гранул [11].

В результате моделирования процесса анаэробной очистки сточных вод молокоперерабатывающего производства в лабораторных биореакторах нами установлено, что на скорость утилизации органических веществ значимое влияние оказало увеличение нагрузки на ил по органическим веществам, тогда как достоверной разницы при смене типа реагента для коррекции pH не выявлено (таблица 2).

Таблица 2.

Скорость утилизации органических загрязнителей по ХПК в зависимости от нагрузки и типа реагента

Table 2.

Rate of organic pollutant disposal by COD depending on the load and type of reagent

Нагрузка по органическим загрязнениям, кг ХПК/(м^3·сут) Organic pollutant load, kg COD/(m^3·day)	Скорость утилизации органических загрязнителей по ХПК, г ХПК/(кг×сут) Rate of organic pollutant disposal by COD, g COD/(kg day)		
	тип реагента для коррекции pH | pH correction reagent type		
	$NaHCO_3$	NH_4OH	NaOH
1 сут | 1 day			
1,0–2,0	13	18	19
3,0–4,0	130	135	137
7,0–8,0	352	352	367
5 сут | 5 days			
1,0–2,0	3	4	4
3,0–4,0	26	27	26
7,0–8,0	70	69	73

Полученные значения скоростей утилизации имеют линейную зависимость от нагрузки по загрязнениям, поэтому можно сделать вывод о том, что предельная скорость деструкции органических веществ для изучаемых систем в нашем эксперименте не достигнута.

Численные значения эффективности очистки сточной воды по удаляемым органическим загрязнениям представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Эффективность очистки сточных вод по ХПК в зависимости от нагрузки и типа реагента

Table 3.

Efficiency of wastewater treatment by COD depending on the load and type of reagent

Время, сут | Time, days	Эффективность очистки сточной воды по ХПК,% | Efficiency of wastewater treatment by COD,%					
	Тип реагента для коррекции pH | pH correction reagent type					
	$NaHCO_3$		NH_4OH		NaOH	
	нагрузка по органическим загрязнениям, кг ХПК/(м^3·сут) | organic pollutant load, kg COD/(m^3·day)					
	3,0–4,0	7,0–8,0	3,0–4,0	7,0–8,0	3,0–4,0	7,0–8,0
3	45	55	50	48	32	54
5	73	60	51	53	35	55
7	88	83	54	68	42	62

Достигаемая эффективность очистки по ХПК при средней и высокой нагрузке составила 42–68% в случае коррекции pH гидроксидом аммония и гидроксидом натрия, тогда как коррекция pH гидрокарбонатом натрия приводила к повышению эффективности очистки до 83–88%. В условиях малонагружаемых систем устойчивого эффекта снижения ХПК не наблюдали – вероятно, из-за недостатка субстрата для метаногенов [12].

В таблице 4 представлены численные значения pH жидкости из анаэробных биореакторов по истечении 1 и 7 сут эксперимента.

Таблица 4.

Показатель pH биологически очищенной воды в зависимости от нагрузки и типа реагента

Table 4.

pH value of biologically treated water depending on the load and type of reagent

Нагрузка по органическим загрязнениям, кг ХПК/(м³·сут) | Organic pollutant load, kg COD/(m³·day)	Значения pH жидкости из анаэробных биореакторов | pH values of liquid from anaerobic bioreactors		
	Тип реагента для коррекции pH | pH correction reagent type		
	$NaHCO_3$	NH_4OH	NaOH
1 сут | 1 day			
1,0–2,0	5,8	6,6	6,7
3,0–4,0	5,1	5,1	5,2
7,0–8,0	4,9	5,0	5,1
7 сут | 7 days			
1,0–2,0	7,1	9,2	8,4
3,0–4,0	7,2	7,5	6,7
7,0–8,0	6,9	6,3	6,4

В первые сутки для средне- и высоконагружаемых систем pH снижался до уровня 4,9–5,2, и коррекция его до уровня 7,0 приводила к стабилизации pH через 7 сут на уровне 6,3–7,5 вследствие согласованного образования и потребления органических кислот метаногенными бактериями. В низконагружаемых системах показатель pH снизился за 1 сут до 5,8–6,7 из-за меньшего кислотообразования и буферности системы. Несмотря на то, что внесения реагента для коррекции pH не требовалось (и поэтому он не вносился), через 7 сут pH стал щелочным в системах, где для его коррекции использовались растворы гидроксидов аммония и натрия.

При использовании гидрокарбоната натрия показатель pH стабилизировался на уровне 6,9–7,2 для всех вариантов нагрузок по органическим веществам. Влияние гидроксидов аммония и натрия было более значительным: pH возрастал (до 8,4–9,2) при низких нагрузках, был близок к нейтральному (6,7–7,5) при средних нагрузках и стабилизировался в кислой области (6,3–6,4) при высоких нагрузках.

Скорость накопления аммонийного азота в анаэробных биореакторах, где для коррекции pH использовались гидрокарбонат натрия и гидроксид аммония, была наибольшей (700–1100 г NH_4^+/(кг×сут)) за первые сутки эксперимента, в случае использования для коррекции pH гидроксида натрия скорость накопления аммонийного азота была на уровне 100–200 г NH_4^+/(кг · сут). Рост концентрации аммонийного азота свидетельствует об активном процессе разложения белков, а при подщелачивании содержимого биореакторов гидроксид аммония разлагается до аммиака и воды, аммиак переходит в газовую фазу. Отметим, что численные значения pH для этого периода (таблица 4) для всех вариантов сопоставимы. Поэтому можем предположить, что рост концентрации ионов аммония был скомпенсирован ростом концентрации органических кислот.

При оценке влияния условий очистки на свойства гранулированного ила анализировали степень разрушения гранул анаэробного активного ила (таблица 5), плотность, влажность и содержание минеральных веществ (таблица 6).

Таблица 5.

Степень разрушения гранул анаэробного активного ила

Table 5.

Degree of destruction of anaerobic active sludge granules

Нагрузка по органическим загрязнениям, кг ХПК/(м³·сут) Organic pollutant load, kg COD/(m³·day)	Доля мелких взвешенных частиц,% масс. Proportion of debrys,% by weight		
	тип реагента для коррекции pH pH correction reagent type		
	$NaHCO_3$	NH_4OH	NaOH
1,0–2,0	18	17	28
3,0–4,0	30	38	54
7,0–8,0	35	41	84

Таблица 6.

Показатели качества гранулированного ила

Table 6.

Quality indicators of granulated sludge

Показатель качества ила | Sludge quality index	Тип реагента для коррекции pH | pH correction reagent type		
	$NaHCO_3$	NH_4OH	NaOH
Плотность гранул ила, кг/дм³ | Density of sludge granules, kg/dm³	0,98 ± 0,03	0,99 ± 0,04	0,98 ± 0,04
Влажность,% | Humidity,%	94,0 ± 1,0	95,0 ± 1,0	95,0 ± 1,5
Содержание минеральных веществ,% от сухих веществ | Mineral content,% of dry matter	17,6 ± 0,6	15,3 ± 0,6	18,6 ± 1,3

Процессы формирования новых и разрушения уже сформировавшихся флокул и гранул являются естественной неотъемлемой частью всех технологий биологической очистки сточных вод. Неравномерность подаваемой подпитки и обусловленная этим неравномерность образующихся потоков отходящих газообразных метаболитов приводят к образованию новых флокул и разрыву сформированных гранул, и потому – увеличению количества взвешенных веществ и фрагментов гранул. Количество мелких взвешенных частиц в биореакторах, где pH корректировался с использованием гидроксида натрия, было в 1,5–2,0 раза больше, чем при использовании гидрокарбоната натрия и гидроксида аммония. Считаем, что этот факт можно считать свидетельством меньшей устойчивости к колебаниям нагрузки гранулированного ила из анаэробных биореакторов, где коррекция pH ведется с использованием гидроксида натрия.

Плотность гранул ила и влажность не имели значимых различий и составили в среднем 0,94–1,03 кг/дм^3 и 93,0–96,5%. Содержание минеральных веществ в гранулах ила из системы, где коррекция pH велась с использованием гидроксида аммония, значимо меньше, чем из систем, где для коррекции pH использовались реагенты, содержащие катион щелочного металла, и составляет 14,7–15,9 и 17,0–19,9% от сухих веществ соответственно. Этот факт вызвал интерес, поскольку щелочные металлы с подавляющим числом анионов не образуют малорастворимые осадки, и поэтому был выполнен элементный анализ золы (таблица 7).

Таблица 7.

Массовая доля химических элементов в золе, образующейся при сжигании гранулированного активного ила из действующих и использованных в эксперименте анаэробных биореакторов

Table 7.

Mass fraction of chemical elements in ash formed during combustion of granulated activated sludge from operating and experimental anaerobic bioreactors

Химический элемент в составе золы Chemical element in the ash	Массовая доля химических элементов,% от массы золы | Mass fraction of chemical elements,% of ash mass			
	Вещество, постоянно используемое для коррекции pH | Constantly used substance to correct pH			
	NaOH	$CaCO_3$	$NaHCO_3$	NH_4OH
	Наименование анаэробного биореактора с гранулированным илом Name of the anaerobic bioreactor with granular sludge			
	промышленный биореактор типа E2E (ОАО «Туровский молочный комбинат») industrial bioreactor type E2E ("Turov Dairy Plant")	промышленный биореактор типа UASB (ОСП ГГЦ «Березинский спиртовой завод» РУП «Минск-Кристалл») | industrial bioreactor type UASB ("Berezinsky Distillery")	лабораторный биореактор | laboratory bioreactor	лабораторный биореактор | laboratory bioreactor
O	30,12 ± 0,15	49,85 ± 0,35	37,87 ± 0,20	45,61 ± 0,24
Na	45,02 ± 0,23	0,94 ± 0,91	26,82 ± 0,27	8,63 ± 0,39
K	1,70 ± 0,10	0,54 ± 0,15	1,54 ± 0,10	1,39 ± 0,11
Ca	2,73 ± 0,12	21,63 ± 0,19	5,57 ± 0,19	8,40 ± 0,13
Mg	3,66 ± 0,38	4,21 ± 0,44	3,33 ± 0,44	2,99 ± 0,24
Fe	4,48 ± 0,20	11,03 ± 0,34	3,63 ± 0,34	2,78 ± 0,21
Zn	отс. | absent	0,94 ± 0,80	0,64 ± 0,80	1,28 ± 0,51
Al	5,61 ± 0,31	0,51 ± 0,38	9,68 ± 0,23	13,75 ± 0,20
Si	0,39 ± 0,26	0,70 ± 0,32	4,61 ± 0,24	8,84 ± 0,23
P	1,40 ± 0,25	7,76 ± 0,32	3,88 ± 0,25	6,36 ± 0,26
S	1,39 ± 0,17	1,63 ± 0,26	0,70 ± 0,17	отс. | absent
Cl	3,50 ± 0,10	0,29 ± 0,15	1,75 ± 0,10	отс. | absent

Большая часть ионов металлов из представленных в таблице 7 (кальций, магний, железо, цинк, алюминий) образуют малорастворимые соли с карбонат-, фосфат- и гидроксид-анионами, железо и цинк образуют малорастворимые сульфиды.

Содержание калия для всех систем находилось на уровне 0,5–1,7% масс. и соответствует физиологически нормальной концентрации его в живых клетках. На этом же уровне находится концентрация натрия в зольном остатке ила

из биореактора типа UASB. В системах, где для коррекции pH использовались гидроксид и гидрокарбонат натрия, массовая доля натрия составила 45,0 и 26,8% соответственно, использование карбоната кальция в качестве реагента для коррекции pH приводит к увеличению массовой доли кальция до 21,6%. Повышенное содержание натрия (8,6% масс.) в золе ила из системы, где для коррекции pH использовался гидроксид аммония, может быть объяснено тем, что для лабораторного эксперимента был использован гранулированный ил из промышленного биореактора типа E2E.

В результате анализа преобладающих и сопутствующих элементов в составе золы и образуемых с их участием малорастворимых соединений можем сделать предположение, что основу минерального каркаса гранул составляют алюмосиликаты и фосфаты.

В составе минеральных остатков ила изученных систем концентрация алюмосиликатов, оцененная по массе комплексных анионов, содержащих алюминий, кремний и кислород, составляет до 20% масс. и до 38% масс. для лабораторных биореакторов, где для регулирования pH использовались гидрокарбонат натрия и гидроксид аммония соответственно.

Фосфаты кальция, магния, алюминия, цинка и железа малорастворимы, есть указания на образование устойчивых нерастворимых комплексов между железом, кальцием и фосфат-анионом [13]. Если исключить из рассмотрения анаэробный биореактор, где для коррекции pH использовался карбонат кальция, то содержание кальция, магния и железа в зольном остатке гранулированных илов находятся в тесной взаимосвязи с коэффициентами корреляции более 0,999. В [14] авторы показали, что в присутствии этих ионов в среде увеличивается продукция экзопротеинов в процессе гранулообразования.

Произведения растворимости солей (фосфатов, карбонатов) и гидроксидов кальция и магния меньше, чем произведения растворимости солей и гидроксидов железа, алюминия и цинка, поэтому замена одних катионов на вторые термодинамически выгодна, и происходит накопление ионов металлов с большей молекулярной массой. Концентрация фосфатов, оцененная по фосфат-анионам, составляет до 4,2, 23,4, 11,7 и 19,2% масс. для систем, где для регулирования pH использовались гидроксид натрия, карбонат кальция, гидрокарбонат натрия и гидроксид аммония соответственно.

Тем не менее доля натрия в составе продуктов озоления не соответствует стехиометрическому соотношению элементов в составе малорастворимых соединений, и он, по-видимому, присутствует в относительно свободном виде в равновесии с карбонат- и гидрокарбонатионами. Кроме того, удержание в составе гранул алюминия позволяет предположить образование в гранулах алюмонатриевых, алюмокалиевых и алюмоаммонийных квасцов – сульфатов трех- и одновалентных металлов.

Заключение

Вид реагента для коррекции pH не оказывает влияния на скорость утилизации органических веществ. Наибольшая эффективность очистки, оцененная по снижению ХПК, достигалась при коррекции pH гидрокарбонатом натрия.

Наилучшим вариантом, обеспечивающим мягкое и стабильное поддержание корректного уровня pH, стало использование гидрокарбоната натрия: показатель pH был на уровне 6,9–7,2 для всех вариантов нагрузок по органическим веществам. При использовании гидроксидов аммония и натрия разброс численных значений pH был более значительным: от 8,4–9,2 при низких нагрузках до 6,3–6,4 при высоких нагрузках.

Гранулированный ил из анаэробных биореакторов, где коррекция pH ведется с использованием гидроксида натрия, содержал больше фрагментов гранул, что может стать причиной выноса активной биомассы из биореактора и потому – снижения эффективности его работы.

Тип реагента для коррекции pH оказывает влияние на состав минеральной части ила и обуславливает увеличение доли вносимого катиона в составе золы.

Предпочтительным для коррекции pH в анаэробных биореакторах является гидрокарбонат натрия, поскольку обеспечивает наиболее мягкий вариант поддержания оптимальных значений pH для жизнедеятельности метаногенных бактерий. Использование растворов аммиака и гидроксида натрия можно порекомендовать для применения в средне- и высоконагружаемых системах.

Литература

1 Haandel A., Lettinga G. Anaerobic Sewage Treatment: A Practical Guide for Regions with a Hot Climate. Chichester, England: Wiley, 1995. 226 p.

2 Mills S., Trego A.C., Prevedello M., Vrieze J.D., O'Flaherty V., Lens P.N.L., Collins G. Unifying concepts in methanogenic, aerobic, and anammox sludge granulation // Environmental Science and Ecotechnology. 2024. Vol. 17. P. 100310. doi:10.1016/j.ese.2023.100310. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666498423000753 (дата обращения: 20.12.2024).

3 Seghezzo L., Zeeman G., van Liel J.B., Hamelers H.V.M., Lettinga G. A review: the anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors // Bioresource Technology. 1998. Vol. 65, Issue 3. P. 175-190. doi:10.1016/S0960-8524(98)00046-7.

4 Deublein D., Steinhauser A. Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008. 450 p.

5 Markevich R.M., Grebenchikova I.A., Rymovskaya M.V. Biotechnological processing of industrial waste. Laboratory practical training. Minsk: BGTU, 2019. 153 p.

6 Polprasert C. Organic Waste Recycling Technology and Management. London: International Water Association (IWA) Publisher, 2007. 538 p.

7 Gerardi M.H. The Microbiology of Anaerobic Digesters. Hoboken: John Wiley & Sons, 2003. 188 p.

8 Macarie H., Esquive M., Laguna A., Baron O., El Mamouni R., Guiot S.R., Monroy O. Strategy to identify the causes and to solve a sludge granulation problem in methanogenic reactors: application to a full-scale plant treating cheese wastewater // Environmental Science and Pollution Research. 2017. Vol. 25, Issue 22. P. 21318-21331. doi:10.1007/s11356-017-9818-3.

9 Liu C., Li H., Zhang Y., Chen Q. Characterization of methanogenic activity during high-solids anaerobic digestion of sewage sludge // Biochemical Engineering Journal. 2016. Vol. 109. P. 96-100. doi:10.1016/j.bej.2016.01.010.

10 Yoochatchaval W., Ohashi A., Harada H., Yamaguchi T., Syutsubo K. Characteristics of Granular Sludge in an EGSB Reactor for Treating low Strength Wastewater // International Journal of Environment Resources. 2008. Vol. 2, No. 4. P. 319-328.

11 Yu H.-Q., Tay J.-H., Fang H.H.P. The role of calcium in sludge granulation during UASB reactor start-up // Water Research. 2001. Vol. 35, No. 4. P. 1052-1060. doi:10.1016/S0043-1354(00)00345-6. URL: https://www.researchgate.net/publication/12095771_The_role_of_calcium_in_sludge_granulation_during_UASB_reactor_start-up (дата обращения: 24.11.2023).

12 Rymovskaya M.V., Il'yukevich I.S., Sverdlova A.R. Evaluation of biochemical activity of granulated sludge in the technology of anaerobic treatment of wastewater from milk processing plants // Proceedings of the 87th scientific and technical conference of faculty, research staff and postgraduate students "Technology of organic substances". Minsk: BGTU, 2023. P. 401-405.

13 Klyuchnikov S.O. Vitamin and mineral complexes for children: theory and practice // Pediatrics. Journal named after G.N. Speransky. 2008. No. 4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vitaminno-mineralnye-kompleksy-dlya-detey-teoriya-i-praktika (дата обращения: 24.11.2024).

14 Kończak B., Miksch K. Influence of calcium, magnesium and iron ions on the molecular mass of exoproteins during biogranulation // Chemical and Process Engineering. 2020. Vol. 41, No. 4. P. 257-266. doi:10.24425/cpe.2020.136011.

15 Wang Z., Jiang K., Zhu Y., Liu L., Zou X., Yang X., Xu Y., Zhang J., Chen Y., Gao W., Wang S. Review of the mechanism and control methods of anaerobic granular sludge calcification // Journal of Water Process Engineering. 2023. Vol. 53. P. 103695. doi: 10.1016/j.jwpe.2023.103695.

16 Hamiruddin N.A., Awang N.A., Shahpudin S.N.M., Zaidi N.S. et al. Effects of wastewater type on stability and operating conditions control strategy in relation to the formation of aerobic granular sludge - a review // Water Science and Technology. 2021. Vol. 84. No. 9. P. 2113-2130. doi: 10.2166/wst.2021.415.

17 Haaksman V.A., Schouteren M., van Loosdrecht M.C.M., Pronk M. Impact of the anaerobic feeding mode on substrate distribution in aerobic granular sludge // Water Research. 2023. Vol. 233. P. 119803. doi: 10.1016/j.watres.2023.119803.

18 Haaksman V.A., van Dijk E.J.H., Al-Zuhairy S., Mulders M. et al. Utilizing anaerobic substrate distribution for growth of aerobic granular sludge in continuous-flow reactors // Water Research. 2024. Vol. 257. P. 121531. doi: 10.1016/j.watres.2024.121531.

19 Fazzino F., Frontera P., Malara A., Pedullà A., Calabrò P.S. Effects of carbon-based conductive materials on semi-continuous anaerobic co-digestion of organic fraction of municipal solid waste and waste activated sludge // Chemosphere. 2024. Vol. 357. P. 142077. doi: 10.1016/j.chemosphere.2024.142077.

20 Xu D., Li J., Liu J., Qu X., Ma H. Advances in continuous flow aerobic granular sludge: A review // Process Safety and Environmental Protection. 2022. Vol. 163. P. 27-35. doi: 10.1016/j.psep.2022.05.018.

21 Galang M.G.K., Chen J., Cobb K., Zarra T., Ruan R. Reduction of biogenic CO2 emissions, COD and nutrients in municipal wastewater via mixotrophic co-cultivation of Chlorella vulgaris - aerobic-activated sludge consortium // Environmental Technology. 2025. P. 1-15. doi: 10.1080/09593330.2025.2463696.

22 Hou Y., Gan C., Chen R., Chen Y., Yuan S., Chen Y. Structural Characteristics of Aerobic Granular Sludge and Factors That Influence Its Stability: A Mini Review // Water. 2021. Vol. 13, No. 19. P. 2726. doi: 10.3390/w13192726.

References

1 Haandel A., Lettinga G. Anaerobic Sewage Treatment: A Practical Guide for Regions with a Hot Climate. Chichester, England: Wiley, 1995. 226 p.

2 Mills S., Trego A.C., Prevedello M., Vrieze J.D., O'Flaherty V., Lens P.N.L., Collins G. Unifying concepts in methanogenic, aerobic, and anammox sludge granulation // Environmental Science and Ecotechnology. 2024. Vol. 17. https://doi.org/10.1016/j.ese.2023.100310. Available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666498423000753. (accessed 20.12.2024).

3 Seghezzo L., Zeeman G., van Liel J.B. et al. A review: the anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors. Bioresource Technology. 1998. vol. 65. no. 3. pp. 175-190. doi:10.1016/S0960-8524(98)00046-7.

4 Deublein D., Steinhauser A. Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction. Germany, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008. 450 p.

5 Markevich R.M., Grebenchikova I.A., Rymovskaya M.V. Biotechnological processing of industrial waste. Laboratory practical training. Minsk: BSTU, 2019. 153 p. (in Russian).

6 Polprasert C. Organic Waste Recycling Technology and Management. London: IWA Publishing, 2007. 538 p.

7 Gerardi M.H. The Microbiology of Anaerobic Digesters. Hoboken: Wiley, 2003. 188 p.

8 Macarie H., Esquive M., Laguna A. et al. Strategy to identify the causes and to solve a sludge granulation problem in methanogenic reactors. Environmental Science and Pollution Research. 2017. vol. 25, no. 22. pp. 21318-21331. doi:10.1007/s11356-017-9818-3.

9 Liu C., Li H., Zhang Y., Chen Q. Characterization of methanogenic activity during high-solids anaerobic digestion of sewage sludge. Biochemical Engineering Journal. 2016. vol. 109. pp. 96-100. doi:10.1016/j.bej.2016.01.010.

10 Yoochatchaval W., Ohashi A., Harada H. et al. Characteristics of Granular Sludge in an EGSB Reactor for Treating low Strength Wastewater. International Journal of Environment Resources. 2008. vol. 2. no. 4. pp. 319-328.

11 Han-Qing Yu, Joo-Hwa Tay, Herbert H P Fang The role of calcium in sludge granulation during UASB reactor start-up // Water Research. 2001. Vol. 35. № 4. PP. 1052–1060. DOI:10.1016/S0043–1354(00)00345–6. URL: https://www.researchgate.net/publication/12095771_The_role_of_calcium_in_sludge_granulation_during_UASB_reactor_start-up. (accessed: 24.11.2023).

12 Rymovskaya M.V., Il'yukevich I.S., Sverdlova A.R. Evaluation of biochemical activity of granulated sludge in the technology of anaerobic treatment of wastewater from milk processing plants // Proceedings of the 87th scientific and technical. conf. of faculty, research staff and postgraduate students (with international participation) "Technology of organic substances", Minsk, January 31 – February 17, 2023, Belarusian State Technological University, responsible for the publication I.V. Voitov. Minsk : BGTU, 2023. pp. 401–405. (in Russian).

13 Klyuchnikov S.O. Vitamin and mineral complexes for children: theory and practice // Pediatrics. Journal named after G.N. Speransky. 2008. № 4. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/vitaminno-mineralnye-kompleksy-dlya-detey-teoriya-i-praktika (accessed: 24.11.2024). (in Russian).

14 Kończak B., Miksch K. Influence of calcium, magnesium and iron ions on the molecular mass of exoproteins during biogranulation // Chemical and Process Engineering. 2020. Vol. 41. № 4. PP. 257–266. DOI: 10.24425/cpe.2020.136011.

15 Wang Z., Jiang K., Zhu Y., Liu L., Zou X., Yang X. et al. Review of the mechanism and control methods of anaerobic granular sludge calcification. Journal of Water Process Engineering. 2023. vol. 53. 103695. doi: 10.1016/j.jwpe.2023.103695.

16 Hamiruddin N.A., Awang N.A., Shahpudin S.N.M., Zaidi N.S. et al. Effects of wastewater type on stability and operating conditions control strategy in relation to the formation of aerobic granular sludge – a review. Water Science and Technology. 2021. vol. 84. no. 9. pp. 2113–2130. doi: 10.2166/wst.2021.415.

17 Haaksman V.A., Schouteren M., van Loosdrecht M.C.M., Pronk M. Impact of the anaerobic feeding mode on substrate distribution in aerobic granular sludge. Water Research. 2023. vol. 233. 119803. doi: 10.1016/j.watres.2023.119803.

18 Haaksman V.A., van Dijk E.J.H., Al-Zuhairy S., Mulders M. et al. Utilizing anaerobic substrate distribution for growth of aerobic granular sludge in continuous-flow reactors. Water Research. 2024. vol. 257. 121531. doi: 10.1016/j.watres.2024.121531.

19 Fazzino F., Frontera P., Malara A., Pedullà A., Calabrò P.S. Effects of carbon-based conductive materials on semi-continuous anaerobic co-digestion of organic fraction of municipal solid waste and waste activated sludge. Chemosphere. 2024. vol. 357. 142077. doi: 10.1016/j.chemosphere.2024.142077.

20 Xu D., Li J., Liu J., Qu X., Ma H. Advances in continuous flow aerobic granular sludge: A review. Process Safety and Environmental Protection. 2022. vol. 163. pp. 27–35. doi: 10.1016/j.psep.2022.05.018.

21 Galang M.G.K., Chen J., Cobb K., Zarra T., Ruan R. Reduction of biogenic CO2 emissions, COD and nutrients in municipal wastewater via mixotrophic co-cultivation of Chlorella vulgaris – aerobic-activated sludge consortium. Environmental Technology. 2025. pp. 1–15. doi: 10.1080/09593330.2025.2463696.

22 Hou Y., Gan C., Chen R., Chen Y., Yuan S., Chen Y. Structural Characteristics of Aerobic Granular Sludge and Factors That Influence Its Stability: A Mini Review. Water. 2021. vol. 13. no. 19. 2726. doi: 10.3390/w13192726.

23

Сведения об авторах

Мария В. Рымовская к.т.н., доцент, кафедра биотехнологии, Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13-а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь, rymovskaya_mv@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-4350-7859

Раиса М. Маркевич к.х.н., доцент, кафедра биотехнологии, Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13-а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь, marami-bstu@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-9238-3568

Александра А. Масехнович ассистент, кафедра биотехнологии, Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13-а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь, al.masekhnovich@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-8564-5139

Information about authors

Mariya V. Rymovskaya Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biotechnology department, Belarusian State Technological University, Sverdlova Str., 13-a Minsk, 220006, Republic of Belarus, rymovskaya_mv@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-4350-7859

Raisa M. Markevich Cand. Sci. (Chem.), associate professor, biotechnology department, Belarusian State Technological University, Sverdlova Str., 13-a Minsk, 220006, Republic of Belarus, marami-bstu@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-9238-3568

Aleksandra A. Masehnovich assistant, biotechnology department, Belarusian State Technological University, Sverdlova Str., 13-a Minsk, 220006, Republic of Belarus, al.masekhnovich@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-8564-5139

Вклад авторов

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

Contribution

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 09/01/2025	**После редакции** 03/03/2025	**Принята в печать** 18/03/2025

Received 09/01/2025	**Accepted in revised** 03/03/2025	**Accepted** 18/03/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-223-230 Оригинальная статья/Research article
УДК 678.028.3 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Перспективы разработки топливостойких эластомерных материалов для применения в регионах с холодным климатом

Анна С. Пушница [1] apushnitsa@inbox.ru 0000-0003-4417-4371
Валерий В. Власов [2] ganghubas@mail.ru 0000-0003-1057-8167
Александр С. Москалев [3] kaf-tospp@vsuet.ru 0000-0002-3403-3850

1 МИРЭА – Российский технологический университет, Малая Пироговская, д.1, стр.5, г. Москва, 119435, Россия
2 Ярославский государственный технический университет, пр-т Московский, 88, г. Ярославль, 150023, Россия
3 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Полимерные материалы с низкотемпературными характеристиками должны обеспечивать надежность техники, конструкций и сооружений при воздействии как внешних, так и внутренних факторов способных разрушить материал. Анализируя научно-техническую литературу в области материаловедения, в частности эластомерных материалов работоспособных в различных углеводородных средах в условиях холодного климата, принято решение продолжать исследования направленные на повышение морозостойкости и долговечности эластомерных материалов стойких к топливу. В работе описаны результаты исследования бутадиен-нитрильных каучуков путем модификации агентами вулканизации и полимерными добавками, с целью улучшения комплекса эксплуатационных свойств эластомерных материалов уплотнительного назначения. Исследованы свойства вулканизатов стандартных резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильных каучуков с различным содержанием нитрилакриловой кислоты. В качестве агентов вулканизации были выбраны органический пероксид 2ди-(2-третбутилпероксиизопропил) - бензол торговой марки Luperox F-40 и комбинация серы с ускорителем. Определены их реологических свойств в зависимости от вида вулканизующего агента. Изучены физико-механических и низкотемпературных свойств полученных вулканизатов. Проведено исследование влияния вида вулканизующего агента в резиновой смеси на основе полярных каучуков на низкотемпературные свойства вулканизатов. Исследованы рецептуры резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильного каучука, модифицированных полукристаллическим и стирол-бутилен-стирольного блок-сополимера для повышения низкотемпературных свойств. Изучены физико-механических свойства полученных материалов. Предложены рецептурно-технологические решения, обеспечивающие повышение морозостойкости полимерных композиционных материалов на основе эластомеров, эксплуатируемых в условиях низких температур. Исследования, направленные на разработку новых методов модификации эластомерных материалов на основе БНК, позволят эффективно решать проблемы создания многофункциональных резин для регионов с холодным климатом.

Ключевые слова: морозостойкость, эластомерные материалы, масло-, бензостойкость, бутадиен-нитрильный каучук, надежность

Potential for development of fuel-resistant elastomeric materials for use in regions with severe climate conditions

Anna S. Pushnitsa [1] apushnitsa@inbox.ru 0000-0003-4417-4371
Valeriy V. Vlasov [2] ganghubas@mail.ru 0000-0003-1057-8167
Alexandr S. Moskalev [3] kaf-tospp@vsuet.ru 0000-0002-3403-3850

1 MIREA - Russian Technological University, Malaya Pirogovskaya, 1, p. 5, Mos-cow,119435, Russia
2 Yaroslavl State Technical University, Moskovsky Ave., 88, Yaroslavl, 1509999, Russia
3 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voro-nezh, 394036, Russia

Abstract. Polymer materials with low-temperature characteristics must ensure the reliability of machinery, structures and structures when exposed to both external and internal factors capable of destroying the material. Analyzing the scientific and technical literature in the field of materials science, in particular elastomeric materials that can work in various hydrocarbon environments in cold climates, it was decided to continue research aimed at increasing the frost resistance and durability of elastomeric materials resistant to fuel. The paper describes the results of a study of nitrile butadiene rubbers by modification with vulcanization agents and polymer additives in order to improve the complex of operational properties of elastomeric sealing materials. The properties of vulcanizates of standard rubber compounds based on butadiene-nitrile rubbers with different contents of nitrilacrylic acid are investigated. Organic 2di-(2-tretbutylperoxyisopropyl)-benzene peroxide of the Luperox F-40 trademark and a combination of sulfur with an accelerator were selected as vulcanization agents. Their rheological properties are determined depending on the type of vulcanizing agent. The physicomechanical and low-temperature properties of the obtained vulcanizates have been studied. The effect of a type of vulcanizing agent in a rubber compound based on polar rubbers on the low-temperature properties of vulcanizates has been studied. Formulations of rubber compounds based on butadiene-nitrile rubber modified with semi-crystalline and styrene-butylene-styrene block copolymer for increasing low-temperature properties are studied. The physicomechanical properties of the obtained materials have been studied. Formulation and technological solutions are proposed to increase the frost resistance of polymer composite materials based on elastomers operated at low temperatures. Research aimed at developing new methods for modifying elastomeric materials based on BNC will effectively solve the problems of creating multifunctional rubbers for regions with a cold climate.

Keywords: frost resistance, elastomeric materials, oil and gasoline resistance, nitrile butadiene rubber, reliability.

Для цитирования
Пушница А.С., Власов В.В., Москалев А.С. Перспективы разработки топливостойких эластомерных материалов для применения в регионах с холодным климатом // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 223–230. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-223-230

For citation
Pushnitsa A.S., Vlasov V.V., Moskalev A.S. Potential for development of fuel-resistant elastomeric materials for use in regions with severe climate conditions. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 223–230. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-223-230

© 2025, Пушница А.С. / Pushnitsa A.S.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Внимание к развитию регионов с холодным климатом, уделяется по причинам безопасности государства и экономическому росту. Развитие требует решения задач, связанных с экономическими, природными, научно-техническими и другими факторами. Научно-технический фактор в области арктического материаловедения во многом определяет состояние развития регионов с холодным климатом. Обзоры [1–3] академика В.М. Бузника и соавторов посвящены истории и тенденциям развития арктического материаловедения, в которых показана актуальность исследований в области повышения морозостойкости эластомерных материалов.

Согласно определению академика И.В. Тананаева, материалы – это химические вещества со свойствами, обеспечивающими их практическое применение. Материалы, должны не только обеспечивать практическое применение, но и обеспечивать долговечность эксплуатационного ресурса для обеспечения надежности техники, особенно в условиях холодного климата. Регионы с холодным климатом подвержены перепадом температур от минус 30 до 0 °С за сутки в осенне-весенний период и длительному снижению температуры воздуха до минус 60 °С в зимний период; высокой влажности, сильному ветру и УФ-излучению в летний период.

Полимерные материалы с низкотемпературными характеристиками должны обеспечивать надежность техники, конструкций и сооружений при воздействии как внешних, так и внутренних факторов способных разрушить материал. В работах, посвященных арктическому материаловедению [1, 2] особое внимание уделяется вопросу надежности изделий изготовленных с применением полимерных композиционных материалов, поскольку способность материалов длительное время сохранять эксплуатационные свойства и работать безаварийно является одним из ключевых требований при создании функциональных материалов, эксплуатируемых в условиях холодного климата.

В обзоре [1], приведено распределение эластомерных материалов по отраслям. С указанием на то, что полимерные композиционные материалы, в частности морозо-, масло-, бензостойкие эластомерные материалы, необходимы для развития полярной авиации, морских и речных судов, наземного транспорта и геологоразведочной техники, а также специальных видов техники для добычи и транспортировки углеводородов и минерального сырья.

На данном этапе создание полимерных композиционных материалов, которые составляют не менее 10% от общего числа материалов для регионов с холодным климатом, качественно переходит на новый уровень. В связи с чем увеличивается количество работ, посвященных исследованиям по созданию «smart materials», по компатибилизации полимеров на границе раздела фаз термодинамически несовместимых полимеров, математическому моделированию структурирования при различных условиях вулканизации и др., а также эффективным методам оценки эксплуатационных свойств материалов [4].

При этом, в настоящее время, для научно-технических специалистов импортозамещение стоит во главе при выборе полимерной матрицы и функциональных добавок для сознания полимерных композиционных материалов, отвечающим долговечности в условиях эксплуатации и технологичности.

Так, например, для создания морозостойких резин уплотнительного назначения, стойких к воздействию топлива, проводили исследования эластомерных материалов на основе гидрированных бутадиен-нитрильных каучуков [8], эпихлоргидриновых и пропиленоксидных, которые обладают лучшими низкотемпературными характеристиками и стойкостью к агрессивным средам [5, 11, 13–18]. Однако, результаты проведенных исследований не нашли распространенного практического применения поскольку, целевые ингредиенты исследованных эластомерных материалов выпускаются в основном за пределами РФ.

В РФ выпускаются фторсилоксановые и бутадиен-нитрильные каучуки, которые обладают стойкостью к низким температурам и топливу. Фторсилоксановые эластомерные материалы могут длительное время эксплуатироваться на воздухе в широком интервале температур при контакте с различными видами топлива, но их стоимость накладывает ограничение для многих отраслей промышленности. [22–24]. Бутадиен-нитрильные каучуки уступают фторсилоксановым по температурному интервалу эксплуатации, при этом они значительно дешевле и имеют потенциал к различным видам модификации.

Известно, что к авиационном материалам предъявляются более жесткие требования к эксплуатационным свойствам и долговечности материалов. Поэтому уплотнительные элементы для авиационной техники, обладающие низкотемпературными характеристиками и масло-, бензостойкостью изготавливаются на отечественных фторсилоксановых эластомерных материалах.

Увеличение [6–12] научно-практических работ, направленных на исследование и разработку новых методов модификации эластомеров на основе бутадиен-нитрильных каучуков с целью улучшения эксплуатационных характеристик и долговечности резин на их основе, обосновано их разнообразием на отечественном рынке. ПАО «СИБУР Холдинг» производит бутадиен-нитрильные каучуки с различным содержанием НАК (нитрилакриловой кислоты)

от 18 до 40% [25]. Публикации, посвященные исследованиям резин на основе гидрированных бутадиен-нитрильных каучуков, имеют место, так как в них демонстрируются преимущества эксплуатационных свойств по отношению к бутадиен-нитрильным каучукам.

Эластомерные материалы на основе гидрированных бутадиен-нитрильных каучуков обладают озоно-, термостойкостью, а также, что важно высокой морозостойкостью в сочетании с устойчивостью к действию различных углеводородных сред [19–21]. На рисунке 1 представлено строение макромолекул, с увеличением количества полярных групп в боковых ответвлениях улучшается стойкость к углеводородным средам и снижается морозостойкость.

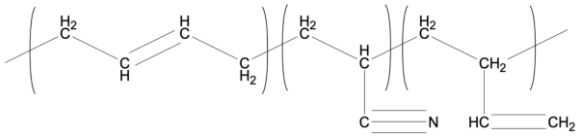


Рисунок 1. Структурная формула бутадиен-нитрильного каучука

Figure 1. Structural formula of butadiene-nitrile rubber

Эластомерные материалы, изготовленные с применением ГБНК и БНК, нашли широкое распространение в качестве уплотнительных элементов в различных транспортных наземных системах, и насосных станций, поскольку, они обеспечивают достаточный уровень стойкости к маслам и низким температурам до минус 50 °С.

Анализируя научно-техническую литературу в области материаловедения, в частности эластомерных материалов работоспособных в различных углеводородных средах в условиях холодного климата, принято решение продолжать исследования направленные на повышение морозостойкости и долговечности эластомерных материалов стойких к топливу. Исследование направленные на разработку новых методов модификации эластомерных материалов на основе БНК позволит эффективно решать проблемы материаловедения по долговечности эксплуатационного.

Цель работы – изучение комплекса свойств эластомерных материалов, предъявляемых к уплотнительным материалам, предназначенным для изготовления различных уплотнительных элементов техники и конструкций, контактирующих с агрессивными средами в условиях холодного климата.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования приготовлены резиновые смеси на основе бутадиен-нитрильных каучуков по стандартной рецептуре. Все модельные смеси готовили на лабораторных смесительных вальцах в одном температурном режиме.

Затем согласно стандартным методам испытания [26] изучали кинетику вулканизации и влияние различных агентов вулканизации на эксплуатационные свойства модельных образцов. Вулканизационные характеристики определяли с помощью реометра MDR 3000. В качестве агентов вулканизации были выбраны органический пероксид 2ди-(2-третбутилпероксиизопропил) – бензол торговой марки Luperox F-40 и комбинация серы с ускорителем.

В качестве модифицирующей добавки изучили полукристаллический сополимер этилена и пропилена под торговой маркой Vistamaxx 6102, а также термоэластопластичный стирол-этилен-бутилен-стирольный блок-сополимер.

Резиновые смеси содержали БНКС-40 АМН, технический углерод П-324, стеариновую кислоту, оксид цинка с варьированием содержания органического пероксида 1, 2, 3, 5, 8 и 10 масс. частей на 100 масс. частей каучука, а также смесь сравнения на серной вулканизующей системе. Рецептуры опытных резиновых смесей представлены в таблице 1., результаты их испытаний – в таблице 2.

Кроме того, в ходе эксперимента было изучено влияние предварительной механоактивации гранул пероксида путем измельчения на свойства готового материала.

Таблица 1.

Рецептуры опытных резиновых смесей

Table 1.

Formulations of experimental rubber compounds

Ингредиент Ingredient	Шифры образцов и содержание ингредиентов, масс. ч. Sample codes and ingredient content, phr						
	3П-1	3П-2	3П-3	3П-5	3П-8	3П-10	2С
БНКС-40АМН BNKS-40AMN rubber	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Оксид цинка | Zinc oxide	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	3,0
Luperox F40	1,0	2,0	3,0	5,0	8,0	10,0	
Стеарин | Stearic acid	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Сера | Sulfur	-	-	-	-	-	-	1,5
Сульфенамид Ц | Accelerator CBS	-	-	-	-	-	-	0,7
Техуглерод П324 (N330) Carbon black П324 (N330)	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
Итого | Total	147,0	148,0	149,0	151,0	154,0	156,0	146,2

Таблица 2.

Результаты испытаний опытных резиновых смесей

Table 2.

Test results of experimental rubber compounds

Показатели Indicators	Шифры образцов и значение показателей Sample codes and value of indicators						
	3П-1	3П-2	3П-3	3П-5	3П-8	3П-10	2С
Температура вулканизации, °С | Vulcanization temperature, °С	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0
Время оптимума вулканизации, мин Optimum vulcanization, min	26,0	26,0	26,00	26,0	26,0	26,0	21,0
Условная прочность при растяжении, Мпа Conditional tensile strength, MPa	15,9	23,8	22,5	20,7	14,8	9,1	24,1
Условное напряжение при удлинении 100%, Мпа Nominal elongation tension of 100%, MPa	1,9	2,8	3,7	5,9	8,9	-	3,9
Относительное удлинение при разрыве, % Elongation at break, %	850,0	600,0	420,0	250,0	150,0	90,0	450,0
Относительное остаточное удлинение, % Relative residual elongation, %	60	20	8	4	0	0	8,0
Твердость Шор А | Shore A Hardness	57–60	59–63	65–67	69–71	75–77	77–80	67–70
Т хрупкости ℃ | fragility temperature ℃	-45	-51	-56	-59	-52	-51	-50,0
ОДС 20%, 100℃, 72 ч. residual compression deformation 20%, 100℃, 72 ч	71,5	63,1	57,4	36,1	36,6	39,6	74,1
Набухание в СЖР-3, 24 ч 100℃, % Swelling in CZHR-3, 24h 100℃, %	-	-	-	7,4	-	-	8,8
Объемная доля каучука в набухшем вулканизате Volume fraction of rubber in the swollen vulcanizate	0,066	0,108	0,139	0,187	0,236	0,256	0,140
Равновесная степень набухания | Balanced degree of swelling	14,198	8,237	6,198	4,341	3,252	0,256	6,124

Таблица 3.

Физико-механические свойства вулканизатов

Table 3.

Physico-mechanical properties of vulcanizates

Показатели Indicators	Шифры образцов | Sample codes					
	2С	2СВ5	2СВ10	3П	3ПВ5	3ПВ10
Условная прочность при растяжении, Мпа Conditional tensile strength, MPa	21,0	29,4	19,4	26,0	16,5	28,5
Относительное удлинение при разрыве, % Elongation at break, %	450	410	410	250	200	290
Твердость по Шору А усл. ед.| Shore A Hardness	67–70	67–70	67–670	69–71	67–68	63–65
Стойкость к агрессивным средам СЖР-3 24 ч, 100 °С Swelling in CZHR-3, 24h 100℃, %	8,8	9,9	-	7,4	-	11,9
Т хрупкости °С | fragility emperature ℃	-50	-	-	-51	-	-

.

Благодаря дополнительной механоактивации пероксида перед введением его в резиновую смесь наблюдается уменьшение температурного предела хрупкости вулканизатов.

Для выбранной модельной смеси значительно улучшились показатели температурного предела хрупкости и ОДС. Оптимальная дозировка составила от 3 до 5 мас. ч. пероксида. Также установлено, что при его дозировке 3 масс. части, вулканизаты демонстрируют комплекс физико-механических свойств, находящийся практически на одном уровне с вулканизатами в присутствии серы.

Для изучения влияния ранее не применявшийся для модификации эластомерных композиций технологической добавки – полукристаллического со-полимера этилена и пропилена под торговой маркой Vistamaxx 6102 с варьированием от 5 до 10 масс. ч., В качестве модельных смесей были выбраны смесь с содержанием органического пероксида 5 масс. частей и смесь содержащая серную вулканизующую группу.

Модификация стандартной резиновой смеси на основе БНКС-40 показывает, что введение Vistamaxx 6102 в дозировках от 5 до 10 масс. ч. оказывает влияние на физико-механические показатели. При его введении в количестве 5 масс. ч. с вулканизующей группой, содержащей серу, происходит повышение показателя условной прочности на разрыв с 21,0 МПа до 29,4 МПа, но снижается относительное удлинение с 450 до 410%. Твёрдость по Шору А остается почти без изменений на уровне 67–70 усл. ед.

При вулканизации резиновой смеси пероксидом Luperox F-40, при дозировке Vistamaxx 6102 в количестве 10 масс. ч., наблюдается незначительное увеличение показателя

условной прочности при растяжении с 26,0 до 28,5 МПа и относительного удлинения с 250 до 290%. При том, что твердость по Шору А снижается в пределах нескольких единиц до 63–65 усл. ед. Также установлено незначительное повышение стойкости к агрессивным средам при введении Vistamaxx 6102 в сочетании с дибутилсебацинатом по сравнению с исходной смесью (среда СЖР-3, температура 100 °С, экспозиция 24 ч).

Для повышения низкотемпературных свойств резин на основе нитрильных каучуков, было исследовано влияние технологической добавки – стирол-этилен-бутилен-стирольного сополимера (СЭБС). Экспериментальные рецептуры резиновых смесей, представленные в таблице 4. Физико-механические свойства вулканизатов представлены в таблице 5.

Таблица 4.

Состав резиновых смесей

Table 4.

Composition of rubber compounds

Ингредиент Ingredient	Шифры образцов и содержание ингредиентов, масс. ч. Sample codes and ingredient content, phr					
	18	28	40	18П	28П	40П
Каучук БНКС-40АМН | Rubber BNKS-40AMN	-	-	100,0	-	-	100,0
БНКС-28АМН | Rubber BNKS-28AMN	-	100,0	-	-	100,0	-
БНКС-18АМН | Rubber BNKS-18AMN	100,0	-	-	100,0	-	-
Белила цинковые | Zinc oxide	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Luperox F-40	3,0	3,0	3,0	5,0	5,0	5,0
Стеариновая кислота | Stearic acid	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Технологическая добавка СЭБС | Technological additive SEBS	20,0	20,0	20,0	-	-	-
Дибутилсебацинат | Dibutyl sebacate	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Технический углерод П324 (N330) | Carbon black П324 (N330)	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
Итого | Total	179,0	179,0	179,0	151,0	151,0	151,0

Таблица 5.

Физико-механические свойства вулканизатов (Режим вулканизации 160 °С × 26 мин)

Table 5.

Physico-mechanical properties of vulcanizates (Vulcanization mode 160 °C × 26 min)

Показатели Indicators	Шифры образцов и значение показателей Sample codes and value of indicators					
	18	28	40	18П	28П	40П
Условная прочность при растяжении, Мпа | Conditional tensile strength, MPa	10,4	13,5	17,1	7,6	13,1	20,7
Условное напряжение МПа, при удлинении 50% Nominal elongation tension of 50%, MPa	1,6	1,5	1,4	3,5	3,2	5,9
Условное напряжение МПа, при удлинении 100% Nominal elongation tension of 100%, MPa	2,9	2,6	2,4	7,4	6,7	14,6
Относительное удлинение при разрыве, % | Elongation at break, %	280,0	350,0	460,0	105,0	170,0	250,0
Твердость ШОР А | Shore A Hardness	62–64	62–63	61–63	63–66	65–67	67–69
Т хрупкости °С | fragility temperature °С	-53	-46	-37	-71	-71	-59
ОДС 20%, 100°С, 72 ч. | residual compression deformation 20%, 100°С, 72 ч	-	-	-	31,7	35,9	36,1
Стойкость к агрессивным средам СЖР – 3 24 ч 100°С, % Swelling in CZHR-3, 24h 100°С, %	45,6	20,6	10,2	37,3	15,9	7,4
Объемная доля каучука в набухшем вулканизате Volume fraction of rubber in the swollen vulcanizate	-	-	-	-	-	0,187
Равновесная степень набухания | Balanced degree of swelling	-	-	-	-	-	4,341
Коэффициент морозостойкости | Coefficient of frost resistance Кв при -45 °С / K at -45 °С Кв при -25 °С / K at -45 °С	0,46	0,07	0,15	0,20 0,82	0,17 0,59	0,11

Заключение

В результате проделанной работы достигнуты следующие результаты:

Исследованы свойства вулканизатов стандартных резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильных каучуков с различным содержанием нитрилакриловой кислоты. Определены их реологических свойств в зависимости от вида вулканизующего агента. Изучены физико-механических и низкотемпературных свойств полученных вулканизатов.

Проведено исследование влияния вида вулканизующего агента в резиновой смеси на основе полярных каучуков на низкотемпературные свойства вулканизатов.

Исследованы рецептуры резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильного каучука, модифицированных полукристаллическим и стирол-бутилен-стирольного блок-сополимера. Изучены физико-механических свойства полученных материалов.

Предложены рецептурно-технологические решения, обеспечивающие повышение морозостойкости полимерных композиционных материалов на основе эластомеров, эксплуатируемых в условиях низких температур

Литература

1 Бузник В.М., Бурковская Н.П., Зибарева И.В. Арктическое материаловедение. 2018. №. 3. С. 44.

2 Рогозин Д.О. Северный полюс будет обустроен и заселен // Российская Федерация сегодня. 2016. №. 12. С. 36.

3 Бузник В.М., Василевич Н.И. Материалы для освоения арктических территорий-вызовы и решения // Лаборатория и производство. 2020. №. 1. С. 98–107.

4 Лепов В.В., Охлопкова А.А. Разработки в области северного и арктического материаловедения для промышленности Республики Саха (Якутия) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023. Т. 28. № 4. С. 627–640. doi:10.31242/2618–9712–2023–28–4–627–640

5 Павлова В.В., Соколова М.Д. Исследование влияния пластификаторов на эксплуатационные свойства резин на основе эпихлоргидринового каучука // Новые материалы и технологии в условиях Арктики. 2022. С. 185.

6 Павлова В.В., Соколова М.Д., Федорова А.Ф. Влияние содержания и природы пластификатора на свойства бутадиен-нитрильной резины // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2021. Т. 14. №. 2. С. 222–232.

7 Павлова В.В., Федорова А.Ф., Соколова М.Д. Исследование влияния ДОФ и ДОТФ на эксплуатационные свойства резин на основе бутадиен-нитрильного каучука // Вклад ДИ Менделеева в развитие фундаментальных наук, в углубление и расширение образования для устойчивого развития. 2019. С. 209–212.

8 Ушмарин Н.Ф., Егоров Е.Н., Кольцов Н.И. Морозостойкая резина на основе комбинации бутадиен-нитрильного и гидриновых каучуков // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2017. Т. 60. №. 8. С. 60–64.

9 Прокопьев А.М. Исследование климатического старения резин на основе фторкаучука и смесей бутадиен-нитрильного и диеновых каучуков // Редакционная коллегия. 2022. С. 918.

10 Боброва И.И., Котова С.В., Наумова Ю.А. Влияние экологичных масел Фитонорман на адгезионные свойства морозостойких резин на основе бутадиен-нитрильного каучука // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2023. Т. 85. №. 2. С. 189–197.

11 Мухин В.В., Петрова Н.Н., Маскалюнайте О.Е. Сравнительная оценка климатической стойкости резин на основе эпихлоргидринового и бутадиен-нитрильного каучука // механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций. 2018. С. 252–253.

12 Нагорная М.Н. Влияние пластификаторов на свойства маслобензоморозостойких резин // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства. 2022. С. 121–122.

13 Петрова, Н.Н., Портнягина В.В. Влияние размера частиц и концентрации фторсодержащего полимера на свойства морозостойких резин на основе пропиленоксидного каучука // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020. Т. 25. № 1. С. 101–117. doi:10.31242/2618–9712–2020–25–1–11

14 Резников М.С., Ушмарин Н.Ф., Егоров Е.Н., Сандалов С.И. Исследование влияния технологических добавок на свойства резин на основе эпихлоргидриновых и пропиленоксидных каучуков // Каучук и резина. 2016. № 1. С. 18–21.

15 Ушмарин Н. Ф., Егоров Е. Н., Кольцов Н. И. Морозостойкая резина на основе комбинации бутадиен-нитрильного и гидриновых каучуков //Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2017. Т. 60. №. 8. С. 60-64.

16 Гресь И.М., Демидов Д.В., Востриков Д.С. Исследование низкотемпературных свойств и стойкости к действию авиационного керосина эластомеров на основе пропиленоксидного и эпихлоргидринового каучуков // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2017.№ 11(206). С. 113–117.

17 Yu J. Liu, S., Cardoso, A., Han, Y. et al. Catalytic pyrolysis of rubbers and vulcanized rubbers using modified zeolites and mesoporous catalysts with Zn and Cu //Energy. 2019. Т. 188. С. 116117.

18 Кахраманов Н. Т. Касумова, Г. Ш., Осипчик, В. С., Гаджиева, Р. Ш. Износостойкие полимерные материалы. Структура и свойства //Пластические массы. 2017. №. 11-12. С. 8-15.

19 Klyuchnikov O. R., Klyuchnikov Y. O. Vulcanization of Elastomers with Quinol Ethers of P-Benzoquinone Dioxime // Key Engineering Materials. 2021. Vol. 899. P. 479-485.

20 Хорова Е.А., Раздьяконова Г.И., Ходакова С.Я. Влияние структуры гидрированного бутадиен-нитрильного каучука на стойкость к воздействию агрессивных сред и повышенных температур // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: материалы 6-й международной науч.-техн. конф. Омск, 2016. С. 155–156.

21 Sang J., Aisawa S., Hirahara H., Mori K. Primary process to fabricate functional groups on acrylonitrile-butadiene rubber surface during peroxide curing //Chemical Engineering Journal. 2016. V. 287. P. 657-664.

22 Чайкун А. М. Наумов И. С., Венедиктова М. А., Алифанов Е. В. Новые разработки резин специального назначения на основе фторсилоксановых каучуков //Авиационные материалы и технологии. 2016. №. 3 (42). С. 60-65.

23 Елисеев О. А. Чайкун А. М., Бузник В. М., Соколова М. Д и др. Основные принципы построения рецептур морозостойких резин для изделий, эксплуатируемых в условиях арктического климата //Перспективные материалы. 2015. №. 11. С. 5-18.

24 Чайкун А.М., Алифанов Е.В., Наумов И.С. Эластомерные материалы для применения в топливных и масляных системах (обзор) // Новости материаловедения. Наука и техника. 2018. №. 3–4. С. 7.

25 Бутадиен-нитрильные каучуки от СИБУР. URL:https://nitrile.sibur.ru

26 ГОСТ Р 54547–2011 Смеси резиновые. Определение вулканизационных характеристик с использованием безроторных реометров. М: Стандартинформ, 2013. 16 с.

References

1 Buznik V.M., Burkovskaya N.P., Zibareva I.V. Arctic materials science. 2018. no. 3. pp. 44. (in Russian).

2 Rogozin D.O. The North Pole will be equipped and inhabited //The Russian Federation today. 2016. no. 12. pp. 36. (in Russian).

3 Buznik V.M., Vasilevich N.I. Materials for the development of Arctic territories – challenges and solutions //Laboratory and production. 2020. no. 1. pp. 98–107. (in Russian).

4 Lepov V.V., Okhlopkova A.A. Developments in the field of northern and Arctic materials science for the industry of the Republic of Sakha (Yakutia) // Natural Resources of the Arctic and Subarctic. 2023. Vol. 28. no. 4. pp. 627-640. doi:10.31242/2618-9712-2023-28-4-627-640 (in Russian).

5 Pavlova V.V., Sokolova M.D. Investigation of the effect of plasticizers on the performance properties of rubber based on epichlorohydrin rubber //New materials and technologies in the Arctic. 2022. pp. 185. (in Russian).

6 Pavlova V.V., Sokolova M.D., Fedorova A.F. Influence of the content and nature of plasticizer on the properties of butadiene-nitrile rubber //Journal of the Siberian Federal University. Machinery and technology. 2021. Vol. 14. no. 2. pp. 222–232. (in Russian).

7 Pavlova V.V., Fedorova A.F., Sokolova M.D. Investigation of the effect of DOF and DOTF on the performance properties of rubbers based on butadiene-nitrile rubber //D. Mendeleev's contribution to the development of fundamental sciences, to the deepening and expansion of education for sustainable development. 2019. pp. 209–212. (in Russian).

8 Ushmarin N.F., Egorov E.N., Koltsov N.I. Frost-resistant rubber based on a combination of butadiene-nitrile and hydrine rubbers //News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology. 2017. Vol. 60. no. 8. pp. 60–64.

9 Prokopyev A.M. Study of climatic aging of rubber based on fluorocarbon rubber and mixtures of butadiene-nitrile and diene rubbers //The Editorial board. 2022. pp. 918. (in Russian).

10 Bobrova I.I., Kotova S.V., Naumova Yu. A. The effect of eco-friendly Phytonormane oils on the adhesive properties of frost-resistant rubbers based on butadiene-nitrile rubber. //Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2023. Vol. 85. no. 2. pp. 189–197. (in Russian).

11 Mukhin V.V., Petrova N.N., Maskalyunaite O.E. Comparative assessment of climatic resistance of rubbers based on epichlorohydrin and butadiene-nitrile rubber //mechanics, resource and diagnostics of materials and structures. 2018. pp. 252–253. (in Russian).

12 Nagornaya M.N. The effect of plasticizers on the properties of oil and gasoline resistant rubbers //Equipment and technology of petrochemical and oil and gas production. 2022. pp. 121–122. (in Russian).

13 Petrova, N.N., Portnyagina V.V. The effect of particle size and concentration of a fluorinated polymer on the properties of frost-resistant rubbers based on propylene oxide rubber // Natural Resources of the Arctic and Subarctic. 2020. Vol. 25. No. 1. pp. 101-117. doi:10.31242/2618-9712-2020-25-1-11 (in Russian).

14 Reznikov M.S., Ushmarin N.F., Egorov E.N., Sandalov S.I. Investigation of the effect of technological additives on the properties of rubbers based on epichlorohydrin and propylene oxide rubbers. 2016. то. 1. pp. 18-21. (in Russian).

15 Ushmarin N. F., Egorov E. N., Koltsov N. I. Frost-resistant rubber based on a combination of butadiene-nitrile and hydrine rubbers //News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology. 2017. Vol. 60. то. 8. pp. 60-64. (in Russian).

16 Gres I.M., Demidov D.V., Vostrikov D.S. Investigation of low-temperature properties and resistance to aviation kerosene of elastomers based on propylene oxide and epichlorohydrin rubbers // Izvestiya Volgograd State Technical University. 2017. no. 11(206). pp. 113-117. (in Russian).

17 Yu J. Liu, S., Cardoso, A., Han, Y. et al. Catalytic pyrolysis of rubbers and vulcanized rubbers using modified zeolites and mesoporous catalysts with Zn and Cu //Energy. 2019. Vol. 188. pp. 116117.

18 Kakhramanov N. T. Kasumova, G. S., Osipchik, V. S., Gadzhieva, R. S. Wear-resistant polymer materials. Structure and properties //Plastic masses. 2017. no. 11-12. pp. 8-15. (in Russian).

19 Klyuchnikov O. R., Klyuchnikov Y. O. Vulcanization of Elastomers with Quinol Ethers of P-Benzoquinone Dioxime //Key Engineering Materials. 2021. Vol. 899. pp. 479-485.

20 Khorova E.A., Razdiakonova G.I., Khodakova S.Ya. Influence of the structure of hydrogenated butadiene-nitrile rubber on resistance to aggressive media and elevated temperatures // Technique and technology of petrochemical and oil and gas production: Materials of the 6th International Scientific and Technical Conference. conf. Omsk, 2016. pp. 155-156. (in Russian).

21 Sang J., Aisawa S., Hirahara H., Mori K. Primary process to fabricate functional groups on acrylonitrile-butadiene rubber surface during peroxide curing //Chemical Engineering Journal. 2016. Vol. 287. pp. 657-664.

22 Chaikun A.M., Naumov I. S., Venediktova M. A., Alifanov E. V. New developments in special-purpose rubbers based on fluorosiloxane rubbers //Aviation Materials and Technologies. 2016. no. 3 (42). pp. 60-65. (in Russian).

23 Eliseev O. A. Chaikun, A.M., Buznik, V. M., Sokolova, M. D. et al. The basic principles of constructing formulations of frost-resistant rubbers for products used in the Arctic climate //Promising materials. 2015. no. 11. pp. 5-18. (in Russian).

24 Chaikun A.M., Alifanov E.V., Naumov I.S. Elastomeric materials for use in fuel and oil systems (review) //Materials Science news. Science and technology. 2018. no. 3–4. pp. 7. (in Russian).

25 Butadiene-nitrile rubbers from SIBUR, URL: https://nitrile.sibur.ru (in Russian).

26 State Standart R 54547–2011 Rubber mixtures. Determination of vulcanization characteristics using rotorless rheometers. Standartinform, 2013. 16 p. (in Russian).

Сведения об авторах

Анна С. Пушница аспирант, МИРЭА, Российский технологический университет, Малая Пироговская, д.1, стр.5, г. Москва, 119435, Россия, apushnitsa@inbox.ru
https://orcid.org/0000-0003-4417-4371

Валерий В. Власов к.т.н., доцент, кафедра химической технологии биологически активных веществ и полимерных композитов, Ярославский государственный технический университет, пр-т Московский, 88, г. Ярославль, 150023, Россия, ganghubas@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-1057-8167

Александр С. Москалев к.т.н., доцент, кафедра технологии органических соединений и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, kaf-tospp@vsuet.ru
https://orcid.org/0000-0002-3403-3850

Вклад авторов

Анна С. Пушница написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Валерий В. Власов консультация в ходе исследования
Александр С. Москалев предложил методику проведения эксперимента

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Anna S. Pushnitsa PhD student, MIREA, Russian Technological University, Malaya Pirogovskaya, 1, p. 5, Mos-cow,119435, Russia, apushnitsa@inbox.ru
https://orcid.org/0000-0003-4417-4371

Valeriy V. Vlasov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemical technology of biologically active substances and polymer composites department, Yaroslavl State Technical University, Moskovsky Ave., 88, Yaroslavl, 1509999, Russia,, ganghubas@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-1057-8167

Alexandr S. Moskalev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of organic compounds and polymer processing department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kaf-tospp@vsuet.ru
https://orcid.org/0000-0002-3403-3850

Contribution

Anna S. Pushnitsa All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism
Valeriy V. Vlasov consultation during the study
Alexandr S. Moskalev proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 23/10/2024	**После редакции** 13/11/2024	**Принята в печать** 25/11/2024

Received 23/10/2024	**Accepted in revised** 13/11/2024	**Accepted** 25/11/2024

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-231-238 Оригинальная статья/Research article
УДК 640 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

О возможности интенсификации извлечения полярными экстрагентами

Джафарли Ниджат Тахир оглы [1] nidjat96@mail.ru 0009-0009-9695-2359
1 Санкт-Петербургский Государственный Технологический Институт (Технический Университет), Россия

Аннотация. В работе исследовано влияние переменного электрического поля на физико-химические свойства полярных жидкостей и эффективность экстракционных процессов с их применением. Проведен сравнительный анализ различных подходов к интенсификации массообменных процессов, в том числе с учетом надмолекулярной организации экстрагентов. Основное внимание уделено изменениям структурных характеристик этанола, воды и трибутилфосфата под воздействием переменного частотно-модулированного сигнала. Показано, что электрофизическая обработка приводит к снижению динамической вязкости на 14–20 %, уменьшению коэффициента поверхностного натяжения до 23 % и увеличению площади свободной поверхности жидкости. Это обусловливает рост коэффициентов диффузии и массопередачи, способствуя ускорению экстракционных процессов. Экспериментальные данные подтверждают, что предварительная обработка компонентов системы электрическим полем повышает проницаемость через полупроницаемые мембраны, усиливает капиллярный подъем и изменяет параметры осмотического давления. Установлено, что наибольшую эффективность демонстрирует селективное воздействие на один из компонентов системы — трибутилфосфат или водный раствор лантаноидов — в отличие от одновременной обработки обеих фаз. Коэффициент распределения при этом увеличивается до 69 %, что свидетельствует о перспективности такого подхода для интенсификации процессов экстракции. Полученные результаты имеют значимое прикладное значение для оптимизации технологий разделения в химической промышленности. Авторы подчеркивают необходимость дальнейших исследований по уточнению оптимальных параметров электрофизического воздействия и расширению круга исследуемых экстрагентов.

Ключевые слова: экстрагирование, экстракция, воздействие переменного электрического поля, полярные экстрагенты, изменения надмолекулярной структуры, этиловый спирт, NMП.

On the possibility of intensification of extraction by polar extracting agents

Jafarli Nijat Tahir [1] nidjat96@mail.ru 0009-0009-9695-2359
1 St. Petersburg State Technological Institute (Technical University), Russia

Abstract. The study examines the influence of alternating electric fields on the physicochemical properties of polar liquids and the efficiency of extraction processes involving them. A comparative analysis of various approaches to the intensification of mass transfer processes is presented, with particular focus on the supramolecular organization of extractants. Special attention is given to structural changes in ethanol, water, and tributyl phosphate under the action of a modulated alternating current signal. It is shown that electrophysical treatment reduces dynamic viscosity by 14–20%, decreases surface tension by up to 23%, and increases the free surface area of the liquids. These changes enhance diffusion and mass transfer coefficients, thus accelerating extraction processes. Experimental results confirm that preliminary treatment of system components with electric fields increases permeability through semipermeable membranes, intensifies capillary rise, and affects osmotic pressure parameters. It is established that the most effective approach involves selective treatment of a single system component—either tributyl phosphate or the aqueous solution of rare earth elements—rather than simultaneous treatment of both phases. The distribution coefficient increases by up to 69%, indicating the high potential of this method for intensifying extraction processes. These findings have significant practical implications for optimizing separation technologies in the chemical industry. The authors emphasize the need for further research to define optimal electrophysical treatment parameters and to extend the range of investigated extractants.

Keywords: solid extraction, extraction, effects of alternating electric field, polar extractants, changes in the supramolecular structure, ethyl alcohol, NMP.

Введение

Экстракция и экстрагирование (от лат. extraho – извлекаю) представляют собой важнейшие массообменные процессы на границе раздела фаз, широко применяемые в различных отраслях промышленности. Эти методы разделения играют ключевую роль в химической, нефтеперерабатывающей, пищевой, фармацевтической и других высокотехнологичных отраслях производства.

Жидкая экстракция представляет собой процесс извлечения целевого компонента из жидкой фазы с помощью специально подобранного растворителя (экстрагента). Основным механизмом разделения является различная растворимость компонентов исходной смеси в экстрагенте. Процесс протекает преимущественно при механическом перемешивании, что приводит к образованию эмульсии, состоящей из двух растворов: экстрактного и рафинатного [1].

Для цитирования
Джафарли Н.Т. О возможности интенсификации извлечения полярными экстрагентами // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 231–238. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-231-238

For citation
Jafarli Nijat Tahir On the possibility of intensification of extraction by polar extracting agents. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 231–238. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-231-238

© 2025, Джафарли Н.Т. и др. / Jafarli Nijat Tahir et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Твердое экстрагирование характеризуется выщелачиванием целевого компонента из твердой фазы с помощью жидкого экстрагента [2]. Механизм данного процесса включает три последовательные стадии:

1. Проникновение экстрагента в пористую структуру твердого тела.
2. Растворение целевого компонента в экстрагенте.
3. Диффузия образовавшегося раствора в основную массу жидкости.

Скорость протекания всего процесса определяется скоростью наиболее медленной стадии, как правило, диффузионной [3]. Первые две стадии обычно протекают достаточно быстро, поэтому оптимизация процесса направлена на интенсификацию именно диффузионной составляющей.

Учитывая огромное значение данных методов разделения в современном производстве, исследования в области совершенствования экстракционных технологий продолжаются по нескольким направлениям: подбор оптимальных экстрагентов и их смесей; оптимизация концентрационных режимов; изучение физико-химических свойств экстрагентов; разработка методов модификации структуры экстрагентов для повышения их селективности и проницаемости.

Особый интерес представляют возможности направленного изменения надмолекулярной структуры экстрагентов с целью улучшения их технологических характеристик. Одним из перспективных направлений является воздействие электрических полей на полярные экстрагенты, что может существенно изменить их физико-химические свойства и, соответственно, эффективность экстракционных процессов.

Теоретическая часть

Процессы экстракции и экстрагирования основаны на различии в растворимости компонентов смеси между двумя несмешивающимися фазами. Эффективность этих процессов определяется рядом факторов, среди которых ключевую роль играют:

Природа экстрагента: полярность молекул; способность к образованию водородных связей; диэлектрическая проницаемость; вязкость и поверхностное натяжение.

Механизмы массопереноса: диффузия через границу раздела фаз; конвективный перенос; капиллярные явления; надмолекулярная структура жидкостей.

Полярные жидкости характеризуются наличием устойчивых ассоциатов молекул. Например, в структуре воды преобладают тетраэдрические образования из четырех молекул, связанных водородными связями [4]. Эти кластеры могут существовать от нескольких минут до нескольких суток.

Переменные электрические поля способны вызывать существенные изменения в надмолекулярной организации жидкостей. Основные механизмы воздействия включают [5]: ориентацию дипольных молекул по полю; изменение энергии водородных связей; перестройку кластерной структуры; изменение конформационных характеристик молекул.

Изменение свойств жидкости при электрофизическом воздействии постоянных и переменных электрических полей, приводит к электроконвекционным явлениям, которые упорядочивают надмолекулярную структуру жидкости и способствуют возникновению предпочтительной ориентации молекул [6].

В настоящее время ведутся исследования по влиянию природы электрофизических воздействий на различные объекты с целью поиска инновационных технологий и совершенствования уже имеющихся [7].

В статье [8] показано, что электрофизическое воздействие переменных электрических полей на жидкости различной полярности приводит к изменению их адгезионных и когезионных свойств, за счет надмолекулярной перестройки структуры вещества и возможного изменения ассоциации молекул жидкости, что проявляется в изменениях некоторых физических свойств.

Рассмотрим в качестве полярной жидкости эмблему полярных жидкостей, состоящую из тетраэдрической структуры, а именно воды H-O-H.

Известно, что в воде часть молекул связана водородными связями. Водородные связи распределены неравномерно по объему. Области с повышенным содержанием водородных связей можно считать кластерами. По модели молекулы воды Бъеррума структурным элементом воды является тетраэдр из четырёх молекул, связанных друг с другом водородными связями [4].

Различные нестационарные процессы могут приводить к образованию кластеров в воде. Переменное электрическое поле может изменять движение зарядов, опосредованно действуя на водородные связи в кластерах. Отмечается пороговый характер воздействия – изменения параметров воды замечаются только при накоплении изменений. Эволюция водных кластеров характеризуется временами 12 мин, 2 ч, 24 ч и несколько суток, после чего разбавленный водный раствор становится нечувствительным к слабым полевым воздействиям [9].

Вода способна длительно сохранять свой первичный химический тип, структурные особенности и физические свойства. В статье [10] рассмотрено существование в воде молекулярных структур различного рода в зависимости от степени диссоциации. Показано явление сохранения водой физической структуры и свойств после воздействий различного характера.

Были выполнены теоретические исследования кластеров воды, использующие полуэмпирические расчеты, а также экспериментальные исследования различными методами. При действии слабоинтенсивных медленно меняющихся электрических полей на воду, возможно изменение только структуры кластеров [11].

Кинетика экстракции описывается общим уравнением массообмена:

$$M = K \cdot dC \cdot F \cdot t \quad (1)$$

где M – количество экстрагированного вещества; F – площадь раздела фаз; t – время процесса экстракции; K – коэффициент массопередачи; dC – разность концентраций.

Коэффициент массопередачи рассчитывают по формуле:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{r}{D_{Вн}} + \frac{x}{D_{Св}}} \quad (2)$$

где K – коэффициент массопередачи; β – коэффициент конвективной диффузии; r – размер диффундируемых частиц, м; $D_{вн}$ – коэффициент внутренней молекулярной диффузии; x – площадь слоя экстрагента; $D_{св}$ – коэффициент свободной молекулярной диффузии.

Так же уравнение массообмена можно написать по второму закону Фика:

$$M = D\frac{d^2C}{dx^2}dVt \quad (3)$$

где M – количество экстрагированного вещества; D – коэффициент молекулярной диффузии; dC – разность концентраций; dx – изменение толщины диффузного слоя; V – мольный объем диффундирующих веществ; t – время процесса экстракции.

Можно предположить, что изменением структуры полярных жидкостей, можно понизить их динамическую вязкость.

По Нернсту и Эйнштейну, с понижением динамической вязкости увеличивается коэффициент диффузии.

$$D = \frac{RT}{6\pi r\eta} \quad (4)$$

где D – коэффициент диффузии; R – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; η – динамическая вязкость жидкости; r-радиус молекул.

Соответственно, при воздействии переменного электрического поля на полярную жидкость понижается её динамическая вязкость, что приводит к повышению коэффициента молекулярной диффузии и, как следствие, повышается количество экстрагированного вещества и коэффициента массопередачи.

При воздействии на полярные экстрагенты переменными электрическими полями меняется надмолекулярная структура полярных жидкостей, можно предположить, что площадь свободной поверхности увеличится. По формуле расчета поверхностного натяжения, при увеличении площади свободной поверхности, уменьшается поверхностное натяжение:

$$\sigma = \frac{E_{Пов}}{S} \quad (5)$$

где $E_{Пов}$ – поверхностная энергия жидкости, S – площадь свободной поверхности жидкости.

Соответственно, поверхностное натяжение жидкости понижается, что приводит к увеличению её проницаемости. Важно отметить, что поверхностное натяжение никак не зависит от площади свободной поверхности, а при увеличении площади свободной поверхности жидкости поверхностное натяжение уменьшается.

Изменения поверхностного натяжения можно увидеть по формуле Жюрена.

$$\sigma = \frac{Hr\rho g}{2\cos\theta} \quad (6)$$

где H – высота поднятия столба жидкости, θ – угол смачивания жидкостью стенки капилляра, g – ускорение свободного падения, ρ – плотность жидкости, r радиус капилляра.

Коэффициент поверхностного натяжения жидкости понижается с понижением высоты поднятия столба жидкости и уменьшением угла смачивания жидкостью стенки капилляра. При отсутствии смачивания $\theta>90°$, $\cos\theta<0$ и уровень жидкости в капилляре опускается на величину h. При полном смачивании $\theta=0$, $\cos\theta=1$ и радиус мениска равен радиусу капилляра.

Измерения поверхностного натяжения также можно рассчитать по формуле:

$$\sigma = \frac{Mg}{n\pi d} \quad (7)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения воды, M – масса жидкости (M=m*n масса капли умножить на количество капель), m – масса капли, n – число капель, d – внутренний диаметр пипетки, g – ускорение свободного падения, равно 9,8 м/с²

Экспериментальная часть

Методика проведения экспериментов исследования проводилась на лабораторной установке, включающей следующие основные элементы:

Устройство, генерирующее переменный частотно-модулируемый сигнал (ПЧМС) со следующими характеристиками: 220 В, 50 Гц Подобное устройство выпускается в КНР фирмы «Pan bao».

Объектами исследования служили: дистиллированная вода (ph = 6,8); 96 %-ный этиловый спирт; трибутилфосфат

Ниже, в таблице 1 приведены площадь свободной поверхности и изменения поверхностного натяжения жидкостей.

Таблица 1.

Изменение площади поверхности и поверхностного натяжения

Table 1.

Changes in surface area and surface tension

			Вода Water		Спирт Ethanol	
			S, см^2	Δσ, %	S, см^2	Δσ, %
Стекло	Без обработки Untreated Untreated		1,72	-15,7	4,12	-11,1
	После обработки переменным электрическим полем в течении мин After treatment with alternating electric field for min.	10	1,76		4,17	
		20	1,80		4,23	
		30	1,85		4,31	
		40	1,91		4,39	
		50	1,97		4,51	
		60	2,04		4,63	
Пластик	Без обработки Untreated		1,12	-23,8	1,94	-14,6
	После обработки переменным электрическим полем в течении мин After treatment with alternating electric field for min.	10	1,15		1,97	
		20	1,19		2,01	
		30	1,25		2,06	
		40	1,32		2,12	
		50	1,39		2,19	
		60	1,47		2,27	

Как видно из данных таблицы 1, при обработке переменным электрическим полем наблюдается увеличение площади свободной поверхности жидкости. Особенно заметны изменения для воды на пластиковой поверхности. Через 30 минут обработки площадь увеличивается на 15–18 %, что свидетельствует о существенном снижении поверхностного натяжения.

Для воды на стеклянной поверхности площадь увеличивается с 1,72 см² до 2,04 см² (рост на 18,6 %);

Для воды на пластиковой поверхности изменение более значительное: с 1,12 см² до 1,47 см² (прирост 31,2 %);

Спирт демонстрирует меньшую динамику изменений по сравнению с водой.

В таблице 2 приведены высота поднятия столба жидкости и угол смачивания.

Таблица 2.

Изменения коэффициента поверхностного натяжения

Table 2.

Changes in the surface tension coefficient

			H, мм	Θ, ∘	cosθ	Δσ, %
Вода Water	Без обработки Untreated		5,7	32	0,85	-18,0
	После обработки переменным электрическим полем в течении мин After treatment with alternating electric field for min.	10	5,7	31	0,86	
		20	5,8	29	0,87	
		30	5,9	27	0,89	
		40	6,0	24	0,91	
		50	6,1	21	0,93	
		60	6,2	18	0,95	
Спирт Ethanol	Без обработки Untreated		4,8	18	0,95	-11,0
	После обработки переменным электрическим полем в течении мин After treatment with alternating electric field for min.	10	4,8	17	0,96	
		20	4,9	16	0,96	
		30	5,0	14	0,97	
		40	5,1	12	0,98	
		50	5,1	10	0,98	
		60	5,2	7	0,99	

По полученные данным, можно отметить, что увеличивается высота поднятия столба жидкости, а угол смачивания уменьшается. Соответственно понижается поверхностное натяжение.

Ниже, в таблице 3 приведены изменения поверхностного натяжения.

Результаты показывают стабильное уменьшение массы капли при увеличении времени воздействия электрического поля. Для воды это изменение составляет 0,12 г/мин, что значительно выше естественного испарения (0,03 г./мин).

По результатам таблиц 1–3, можно заметить, что коэффициент поверхностного натяжения жидкостей понижается симбатно по всем трем методикам измерения коэффициента поверхностного натяжения.

Таблица 3.

Изменения поверхностного натяжения

Table 3.

Changes in surface tension

			M, мг	n	d, мм	Δσ, %
Вода Water	Без обработки Untreated		4,1247	50	2,1	-17,4
	После обработки переменным электрическим полем в течении мин After treatment with alternating electric field for min.	10	4,0869	50	2,1	
		20	3,9784	50	2,1	
		30	3,8565	50	2,1	
		40	3,7175	50	2,1	
		50	3,5668	50	2,1	
		60	3,4083	50	2,1	
Спирт Ethanol	Без обработки Untreated		0,9758	50	2,1	-11,5
	После обработки переменным электрическим полем в течении мин After treatment with alternating electric field for min.	10	0,9594	50	2,1	
		20	0,9418	50	2,1	
		30	0,9269	50	2,1	
		40	0,9089	50	2,1	
		50	0,8894	50	2,1	
		60	0,8636	50	2,1	

Ниже, в таблице 4 приведены изменения динамической вязкости жидкостей.

Таблица 4.

Изменение Динамической вязкости после обработки переменным электрическим полем

Table 4.

Change in dynamic viscosity after treatment with an alternating electric field

		Вода	Спирт
		$\mu \cdot 10^3$, Па, с	$\mu \cdot 10^3$, Па, с
Без обработки Untreated		0,943	1,141
После обработки переменным электрическим полем в течении мин After treatment with alternating electric field for min.	10	0,928	1,122
	20	0,909	1,103
	30	0,879	1,081
	40	0,844	1,049
	50	0,798	1,017
	60	0,749	0,978

По приведенным данным в таблице 4, согласно экспериментальным данным, динамическая вязкость жидкостей снижается после воздействия переменным электрическим полем.

Заметное изменение динамической вязкости замечается после 30 минут воздействия переменного электрического поля на жидкости: спирт и вода.

Динамическая вязкость воды понизилась на 20 %;

Динамическая вязкость воды понизилась на 14 %.

Далее изучалось изменение осмотического давления воды, обработанной переменным электрическим полем.

Исследование проводилось методом определения высоты поднятия уровня физиологического раствора в сообщающихся сосудах, разделенных биологической полупроницаемой мембраной. Результаты измерения осмотического давления, высоты поднятия воды без обработки.

Без обработки и электрофизически обработанной воды переменным частотно-модулируемым сигналом, относительно физиологического раствора, представлены ниже.

Таблица 5.

Осмотическое давление воды относительно физиологического раствора (0,9 % NaCl масс)

Table 5.

Osmotic pressure of water relative to saline solution (0.9 % NaCl by weight)

		Высота поднятия жидкости Δh, мм	Осмотическое давление π, Па
Без обработки Untreated		3,5	335,2
После обработки переменным электрическим полем в течении мин After treatment with alternating electric field for min.	10	3,6	347,4
	20	3,7	363,1
	30	3,9	387,8
	40	4,1	412,7
	50	4,4	436,4
	60	4,7	462,6

Измерение осмотического давления подтверждает повышение проницаемости обработанной воды через полупроницаемые мембраны. Прирост составил 25–30 % по сравнению с исходными значениями.

Таблица 6.

Высота поднятия жидкости по фильтровальной бумаге

Table 6.

The height of the liquid rise on the filter paper

		Высота поднятия жидкости Δh, см
Без обработки Untreated		5,6
После обработки переменным электрическим полем в течении мин After treatment with alternating electric field for min.	10	6,1
	20	6,8
	30	7,9
	40	8,7
	50	9,4
	60	9,9

Эксперимент с фильтровальной бумагой демонстрирует увеличение капиллярного подъема обработанной воды. Высота подъема увеличивается на 40 мм по сравнению с необработанным образцом.

Для практической верификации выдвинутой гипотезы была осуществлена серия экспериментов по экстракции редкоземельных элементов (РЗЭ) с использованием трибутил-

фосфата (ТБФ) в качестве экстрагента. Исследование проводилось по четырем различным методикам:; классический метод без предварительной обработки реагентов; методика с предварительной обработкой трибутилфосфата переменным электрическим полем; вариант с предварительной обработкой водного раствора лантаноидов переменным электрическим полем; способ с непрерывной подачей переменного электрического поля непосредственно в процессе экстракции; каждый вариант эксперимента был проведен в 10 последовательных стадиях для обеспечения репрезентативности результатов.

Таблица 7.
Средние результаты коэффициента Распределения D

Table 7.
Average Distribution Coefficient Results D

Методика экстракции Extraction technique	Коэффициент распределения D Distribution coefficient D
Классический метод Classical method	0,47
С обработкой ТБФ With TBP treatment	0,77
С обработкой раствора РЗЭ With treatment of REE solution	0,80
С одновременной обработкой With simultaneous treatment	0,42

Полученные данные демонстрируют, что предварительная обработка как трибутилфосфата, так и водного раствора РЗЭ переменным электрическим полем приводит к существенному повышению эффективности экстракции. При этом одновременная обработка обоих компонентов процесса показывает наименее эффективный результат, что указывает о необходимости создания градиента свойств между фазами: предварительная обработка ТБФ дает увеличение коэффициента распределения на 63,8 %; обработка водного раствора РЗЭ эффективнее – прирост 69,1 %

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать следующие выводы:

Проведенные исследования показали, что воздействие переменного электрического поля приводит к существенным изменениям физико-химических свойств полярных жидкостей. Снижение поверхностного натяжения в среднем составило 15–23 %, что согласуется с данными других авторов [11]. Наблюдаемое увеличение площади свободной поверхности подтверждает гипотезу о разрушении структурированных слоев на межфазной границе.

Динамическая вязкость исследуемых жидкостей демонстрирует устойчивую тенденцию к снижению при увеличении времени электрической обработки. Максимальное изменение вязкости наблюдалось для водных растворов и составило около 20 %. Это можно объяснить перестройкой надмолекулярной структуры жидкости под воздействием внешнего поля.

Полученные данные имеют важное практическое значение для оптимизации экстракционных процессов. Увеличение коэффициента распределения при предварительной обработке компонентов электрическим полем (до 40–45 %) открывает новые возможности для интенсификации массообменных процессов в химической технологии.

Результаты исследования согласуются с работами [8, 10], где также отмечено влияние электрических полей на структуру полярных жидкостей. Однако, впервые показано, что наиболее эффективным является предварительная обработка одного из компонентов системы, а не одновременное воздействие на оба компонента.

Необходимы дополнительные исследования для определения оптимальных параметров электрической обработки различных типов экстрагентов. Особый интерес представляет изучение влияния переменных частотных характеристик электрического поля на эффективность экстракционных процессов.

Заключение

Влияние электрической обработки на свойства экстрагентов. Установлено, что воздействие переменного электрического поля на полярные жидкости приводит к существенным изменениям их физико-химических характеристик. Происходит снижение поверхностного натяжения в среднем на 15–23%, что подтверждается данными всех проведенных экспериментов.

Изменение реологических параметров. Динамическая вязкость исследуемых жидкостей демонстрирует устойчивую тенденцию к снижению при увеличении времени электрической обработки. Максимальное изменение вязкости составило около 20% для водных растворов и 15% для спиртовых растворов.

Массообменный процесс происходит благодаря наличию концентрации градиента фазовых коэффициентов массоотдачи. Для усиления массообменного процесса нужно повысить коэффициент диффузии, а коэффициент диффузии, в свою очередь, повышается с понижением динамической вязкости жидкости. По проведенным опытам видно, что воздействие переменного электрического поля на полярные жидкости

приводит к понижению динамической вязкости полярных жидкостей.

Так же воздействие переменного электрического поля приводит к понижению поверхностного натяжения, в связи с чем уменьшаются когезионные свойства и увеличиваются адгезионные свойства, что приводит к повышению способности растворения экстрагентов.

Полученные данные имеют важное прикладное значение для оптимизации процессов экстракции. Увеличение коэффициента распределения при предварительной обработке компонентов электрическим полем (до 40–45%) открывает новые возможности для интенсификации массообменных процессов в химической технологии.

Литература

1 Романков П.Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи): Учебное пособие для вузов / П.Г. Романков, В.Ф. Фролов, О.М. Флисюк. СПб.: ХИМИЗДАТ, 2009. 544 с.

2 Gerbaud V. Review of Extractive Distillation. Process design, operation, optimization and control // Chemical Engineering Research and Design. 2018. Vol. 141. P. 229–271.

3 Комиссаров Ю.А. Процессы и аппараты химической технологии. В 5 частях часть 5: учебник для академического бакалавриата / Ю.А. Комиссаров, Л.С. Гордеев, Д.П. Вент; под редакцией Ю.А. Комиссаров. 2 е изд., перераб. И доп. – Москва: Юрайт, 2018. 219 с.

4 Bjerrum N. Sructure and Prop. of Ice // Science. 1952. Vol.115. № 11. P.385.

5 Классен В.И. Омагничивание водных систем. М.: Химия, 1978. 240 с.

6 Hilbers C.W., MacLean C. NMR Basic Principles and Progress Published // Springer Science and Business Media LLC. 1972. P. 1–52. doi: 10.1007/978–3–642–65312-4_1.

7 Савиных Б.В., Фасхутдинов А.А., Мухамадиев А.А., Пашанин А.В. Динамическая вязкость жидкостей в электрических полях. Бутлеровские сообщения. Приложение к спецвыпуску. Казань, 2002. № 10. С. 204–212.

8 Рамзани М.С., Панфёрова Т.В., Иванов А.В., Ивахнюк Г.К. О вероятных механизмах взаимодействия переменных электрических полей с жидкостями различной полярности // Известия. СПб., 2020. № 55 (81). С. 39–42.

9 Лобышев В.И., Рыжиков Б.Д., Шихлинская Р.Э. // Журнал физической химии. 1998. Т.43. Вып.4. С. 710.

10 Дергольц В.Ф. Мир воды. – Люберцы, 1979. 254 с.

11 Жидько М.В., Шипунов Б.П. Влияние ВЧ поля на растворимость кислорода в воде и ее физико-химические свойства / Сб. трудов I-й Международной Российско-Казахстанской конференции по химии и химической технологии. С. 77–79.

12 Eie LV, Pedersen-Bjergaard S, Hansen FA. Electromembrane extraction of polar substances - Status and perspectives. // J Pharm Biomed Anal. 2022 Vol. 207. P.114407. doi: 10.1016/j.jpba.2021.114407

13 Pedersen-Bjergaard S, Huang C, Gjelstad A. Electromembrane extraction-Recent trends and where to go. // J Pharm Anal. 2017. Vol. 7. No. 3. pp. 141-147. doi: 10.1016/j.jpha.2017.04.002.

14 Ferreira Avelar, Millena Christie et al. Electric field-assisted multiphase extraction to increase selectivity and sensitivity in liquid chromatography-mass spectrometry and paper spray mass spectrometry. // Talanta. 2020. Vol. 224. P. 121887.

15 Hansen FA, Santigosa-Murillo E, Ramos-Payán M, Muñoz M, Leere Øiestad E, Pedersen-Bjergaard S. Electromembrane extraction using deep eutectic solvents as the liquid membrane // Anal Chim Acta. 2021. Vol. 1143. P.109-116. doi: 10.1016/j.aca.2020.11.044.

16 Jaiswal V, Singh S, Harikrishnan AR, Dhar P. Competitive Electrohydrodynamic and Electrosolutal Advection Arrests Evaporation Kinetics of Droplets. Langmuir. 2020. Vol. 36. No. 30. P. 8971-8982. doi: 10.1021/acs.langmuir.0c01619

17 Dias ALB, de Aguiar AC, Rostagno MA. Extraction of natural products using supercritical fluids and pressurized liquids assisted by ultrasound: Current status and trends // Ultrason Sonochem. 2021. P. 105584. doi: 10.1016/j.ultsonch.2021.105584.

18 Ballesteros-Gómez A., Sicilia M. D., Rubio S. Supramolecular solvents in the extraction of organic compounds. A review // Analytica Chimica Acta. 2010. Vol. 677. No. 2. P. 108-130.

19 Pramanik S. et al. Supramolecular chemistry of liquid–liquid extraction //Chemical Science. 2024. Vol. 15. No. 21. P. 7824-7847.

20 Jagirani M. S., Soylak M. Supramolecular solvents: a review of a modern innovation in liquid-phase microextraction technique //Turkish Journal of Chemistry. 2021. Vol. 45. No. 6. P. 1651-1677.

References

1 Romankov P.G. Metody rascheta processov i apparatov himicheskoj tehnologii (primery i zadachi): Uchebnoe posobie dlya vuzov / P.G. Romankov, V.F. Frolov, O.M. Flisyuk. – SPb.: HIMIZDAT, 2009. – 544 s.

2 Gerbaud V. Review of Extractive Distillation. Process design, operation, optimization and control // Chemical Engineering Research and Design. 2018. vol. 141. pp. 229–271.

3 Komissarov Yu.A. Processy i apparaty himicheskoj tehnologii. V 5 chastyah. Chast 5: Uchebnik dlya akademicheskogo bakalavriata / Yu.A. Komissarov, L.S. Gordeev, D.P. Vent; pod redakciej Yu.A. Komissarov. 2-e izd., pererab. i dop. – Moskva: Yurajt, 2018. – 219 s.

4 Bjerrum N. Structure and Prop. of Ice // Science. 1952. vol. 115. no. 11. p. 385.

5 Klassen V.I. Omagnichivanie vodnykh sistem. Moscow: Khimiya, 1978. 240 s.

6 Hilbers C.W., MacLean S. NMR Basic Principles and Progress Published // Springer Science and Business Media LLC. 1972. pp. 1–52. doi: 10.1007/978–3–642–65312-4_1.

7 Savinykh B.V., Faskhutdinov A.A., Mukhamadiev A.A., Pashanin A.V. Dinamicheskaya vyazkost zhidkostey v elektricheskikh polyakh // Butlerovskie soobshcheniya. Prilozhenie k spetsvypusku. Kazan, 2002. no. 10. pp. 204–212. (in Russian)

8 Ramzani M.S., Panfyorova T.V., Ivanov A.V., Ivakhnyuk G.K. O veroyatnykh mekhanizmakh vzaimodeystviya peremennykh elektricheskikh poley s zhidkostyami razlichnoy polyarnosti // Izvestiya. SPb., 2020. no. 55 (81). pp. 39–42. (in Russian)

9 Lobyshev V.I., Ryzhikov B.D., Shikhinskaya R.E. // Zhurnal fizicheskoy khimii. 1998. vol. 43. no. 4. pp. 710. (in Russian)

10 Dergolts V.F. Mir vody. Lyubertsy, 1979. 254 s. (in Russian)

11 Zhidko M.V., Shipunov B.P. Vliyanie VCh polya na rastvorimost kisloroda v vode i ee fiziko-khimicheskie svoystva // Sb. trudov I-oy Mezhdunarodnoy Rossiysko-Kazakhstanskoy konferentsii po khimii i khimicheskoy tekhnologii. pp. 77–79. (in Russian)

12 Eie LV, Pedersen-Bjergaard S, Hansen FA. Electromembrane extraction of polar substances - Status and perspectives. // J Pharm Biomed Anal. 2022. vol. 207. pp.114407. doi: 10.1016/j.jpba.2021.114407

13 Pedersen-Bjergaard S, Huang C, Gjelstad A. Electromembrane extraction-Recent trends and where to go. // J Pharm Anal. 2017. vol. 7. no. 3. pp. 141-147. doi: 10.1016/j.jpha.2017.04.002.

14 Ferreira Avelar, Millena Christie et al. Electric field-assisted multiphase extraction to increase selectivity and sensitivity in liquid chromatography-mass spectrometry and paper spray mass spectrometry. // Talanta. 2020. vol. 224. pp. 121887.

15 Hansen FA, Santigosa-Murillo E, Ramos-Payán M, Muñoz M, Leere Øiestad E, Pedersen-Bjergaard S. Electromembrane extraction using deep eutectic solvents as the liquid membrane. Anal Chim Acta. 2021. vol. 1143. pp.109-116. doi: 10.1016/j.aca.2020.11.044.

16 Jaiswal V, Singh S, Harikrishnan AR, Dhar P. Competitive Electrohydrodynamic and Electrosolutal Advection Arrests Evaporation Kinetics of Droplets. Langmuir. 2020. vol. 36. no. 30. pp. 8971-8982. doi: 10.1021/acs.langmuir.0c01619

17 Dias ALB, de Aguiar AC, Rostagno MA. Extraction of natural products using supercritical fluids and pressurized liquids assisted by ultrasound: Current status and trends. Ultrason Sonochem. 2021. pp. 105584. doi: 10.1016/j.ultsonch.2021.105584.

18 Ballesteros-Gómez A., Sicilia M. D., Rubio S. Supramolecular solvents in the extraction of organic compounds. A review // Analytica Chimica Acta. 2010. vol. 677. no. 2. pp. 108-130.

19 Pramanik S. et al. Supramolecular chemistry of liquid–liquid extraction // Chemical Science. 2024. vol. 15. no.21. pp. 7824-7847.

20 Jagirani M. S., Soylak M. Supramolecular solvents: a review of a modern innovation in liquid-phase microextraction technique //Turkish Journal of Chemistry. 2021. vol. 45. no. 6. pp. 1651-1677.

Сведения об авторах

Джафарли Ниджат Тахир оглы аспирант, кафедра инженерной защиты окружающей среды, Санкт-Петербургский Государственный Технологический Институт (Технический Университет), Московский проспект, 24-26/49 литера А, г. Санкт-Петербург, 190013, Россия, nidjat96@mail.ru
https://orcid.org/0009-0009-9695-2359

Information about authors

Jafarli Nijat Tahir postgrad, Department of Environmental engineering, Saint-Petersburg State Institute of Technology, Moskovsky Av., 24-26/49 Saint-Petersburg, 190013, Russia, nidjat96@mail.ru
https://orcid.org/0009-0009-9695-2359

Вклад авторов

Джафарли Ниджат Тахир оглы написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Jafarli Nijat Tahir wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 21/04/2025	**После редакции** 18/05/2025	**Принята в печать** 20/05/2025

Received 21/04/2025	**Accepted in revised** 18/05/2025	**Accepted** 20/05/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-239-245 Обзорная статья/Review article
УДК 658.567.1 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Исследование технического решения экологических и энергетических проблем при пиролизной переработке крупнотоннажных твердых органических отходов

Мария Ю. Балабанова [1] mariya_balabanova@mail.ru 0000-0002-7126-2863
Сергей Ю. Панов [2] su-panov@mail.ru 0000-0003-2257-8180
Александр Ю. Марнов [2] su-panov@mail.ru 0009-0005-9613-2271

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия

Аннотация. Крупнотоннажные твердые органические отходы (КТОО), такие как жом свекловичный, дробина пивная, отработанный активный ил (ОАИ) и ионообменные смолы (ОИС) в большом количестве образуются на пищевых и химических предприятиях России. В настоящее время для указанных КТООизвестно большое количество способов переработки и утилизации (использование в качестве сырого корма или для получения кормовых добавок для животных, консервирование в силосных или жомовых ямах, использование в качестве сырья для получения биогаза, сушка, использование в качестве сырья для получения полезных компонентов), однако, указанные способы позволяют переработать или утилизировать лишь небольшой объем КТОО, основная же часть КТОО складируется на полигонах или иловых картах. Необходимо разработать техническое решение экологических и энергетических проблем при пиролизной переработки КТОО, для чего были проведены экспериментальные исследования пиролизной переработки КТОО на лабораторной установке, которая включат в себя горизонтальный пиролизный реактор, устройства загрузки и выгрузки, два конденсатора. В результате чего получены зависимости выходов вторичных продуктов от температуры проведения процесса пиролиза. Установлено, что в процессе термической переработки КТОО образуются вторичные продукты: жидкая фракция, твердый остаток и пиролизный газ. Полученные вторичные продукты имеют различный выход по массе в зависимости от температуры пиролиза, но аналогичный характер графических зависимостей для всех исследованных КТОО. Разработана структурная схема универсальной пиролизной установки для переработки отходов различных отраслей промышленности, которая включает в себя три участка: участок пиролизной утилизации, участок газификации твердого остатка, участок разделения жидкой фракцию

Ключевые слова: переработка отходов, пиролиз, вторичные продукты, вторичные продукты, реактор.

Research of Technical Solutions to Environmental and Energy Problems During Pyrolysis Processing of Large-Tonnage Solid Organic Waste

Mariya Yu. Balabanova [1] mariya_balabanova@mail.ru 0000-0002-7126-2863
Sergej Yu. Panov [2] su-panov@mail.ru 0000-0003-2257-8180
Aleksandr Yu. Marnov [2] su-panov@mail.ru 0009-0005-9613-2271

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia
2 Voronezh State Technical University, 20th Anniversary of October Street, 84, Voronezh, 394006, Russia

Abstract. . Large-tonnage solid organic waste [LSOW], such as beet pulp, beer pellets, spent activated sludge [SAS], and ion exchange resins [IER], are formed in large quantities at food and chemical enterprises in Russia. Currently, a large number of methods of processing and disposal are known for these LSOW (use as raw feed or for obtaining feed additives for animals, canning in silage or pulp pits, use as raw materials for biogas production, drying, use as raw materials for obtaining useful components). However, these methods allow only a small amount of LSOW to be processed or disposed of. The main part of LSOW is stored in landfills or silt maps. It is necessary to develop a technical solution to environmental and energy problems in the pyrolysis processing of LSOW. For it, the authors carried out the experimental studies of the pyrolysis processing of LSOW on a laboratory installation. It will include a horizontal pyrolysis reactor, loading and unloading devices, two condensers. As a result, the dependences of the yields of secondary products on the temperature of the pyrolysis process are obtained. The authors established that secondary products are formed in the process of thermal processing of LSOW: liquid fraction; solid residue; pyrolysis gas. The obtained secondary products have a different yield by weight depending on the pyrolysis temperature, but the graphical dependencies are similar for all the studied LSOW. The authors developed a block diagram of a universal pyrolysis plant for processing waste from various industries. It includes three sections:pyrolysis disposal section; solid residue gasification section; liquid fraction separation section.

Keywords: waste recycling, pyrolysis, secondary products, secondary products, reactor.

Для цитирования
Балабанова М.Ю., Панов С.Ю., Марнов А.Ю. Исследование технического решения экологических и энергетических проблем при пиролизной переработке крупнотоннажных твердых органических отходов // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 239–245. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-239-245

For citation
Balabanova M.Yu., Panov S.Yu., Marnov A.Yu. Research of Technical Solutions to Environmental and Energy Problems During Pyrolysis Processing of Large-Tonnage Solid Organic Waste. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 239–245. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-239-245

©2025, Балабанова М.Ю. и др. / Balabanova M.Yu. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

На пищевых и химических предприятиях России образуются КТОО, для переработки и утилизации которых используется большое количество различных способов. Выбор способа переработки и утилизации зависит от характеристик и свойств конкретного отхода и экономических возможностей предприятия, на котором они образуются.

Нами рассматривается возможность применения универсального, доступного и недорогого способа переработки КТОО, которые обладают минимальным набором сходных характеристик. Применение универсального способа позволит сократить расходы предприятий на переработку отходов, так как одно предприятие в регионе может заниматься переработкой отходов различных отраслей промышленности.

При выборе отходов (объектов исследования) руководствовались следующими условиями:

– отходы являются органическими и крупнотоннажными;

– отходы образуются в одном регионе;

– практическое решение проблемы переработки и утилизации отходов (с имеющимися на предприятиях ресурсами) является затруднительным с технической и экономической стороны.

Исходя из вышесказанного, нами рассматриваются следующие виды КТОО: жом свекловичный, дробина пивная, ОАИ и ОИС. Указанные отходы являются органическими (жом свекловичный, дробина пивная и ОАИ – целлюлозосодержащими) и крупнотоннажными (например, на сахарных и пивоваренных заводах России образуется около 4,7 млн т./год жома свекловичного и 1,3 млн т/год дробины пивной соответственно), все отходы изначально обладают высокой влажностью, доходящей у ОАИ до 80%. Предприятия, на которых они образуются, а именно пищевые (преимущественно сахарные и пивоваренные заводы), химические предприятия, имеющие в своем составе очистные сооружения, а также предприятия, на которых предусмотрен процесс водоподготовки, являются основными для многих регионов страны.

Существует большое количество различных способов переработки и утилизации КТОО.

В частности, использование в качестве корма для животных и сырья для получения ценных компонентов, компостирование, сушка и силосование применяются для жома свекловичного и дробины пивной; депонирование на иловых картах, биологическая переработка анаэробными микроорганизмами в метантенках, технологическое сжигание – для ОАИ; цементирование, компактирование, сжигание, регенерация – для ОИС. Однако указанные способы не могут полностью справиться с образующимися объемами отходов в связи с возникающими трудностями. В частности, дробина пивная и жом свекловичный быстро закисают (срок хранения составляет не более 24 часов), что приводит к невозможности использования отходов в качестве корма для животных и сырья для получения ценных компонентов. Компостирование и силосование требуют достаточно много времени, сушка – значительных энергетических затрат [3, 8, 9].

ОАИ с биологических очистных сооружений практически в полном объеме складируется на иловых картах, которые зачастую переполнены, особенно в крупных городах. Биологическая переработка анаэробными микроорганизмами в метантенках и технологическое сжигание в настоящее время практически не применяются.

При переработке и утилизации ОИС также возникает ряд трудностей:

- при цементировании объем конечного продукта увеличивается 5–8 раз;
- сжигание опасно ввиду высвобождения оксидов серы и азота;
- при компактировании коэффициент уменьшения объема составляет около двух единиц;
- регенерация является трудоемким и затратным процессом, при практической реализации которого образуется большое количество вторичных жидких отходов.

В связи с вышеперечисленными трудностями на многих предприятиях регенерация и обезвреживание ОИС затруднена, и после истощения обменной емкости её направляют на хранение с последующим захоронением.

Авторами проведен аналитический обзор альтернативных методов переработки и утилизации КТОО, в результате которого в качестве универсального и доступного для практической реализации выбран один из Авторами проведен аналитический обзор альтернативных методов переработки и утилизации КТОО, в результате которого в качестве универсального и доступного для практической реализации выбран пиролиз, который позволит разложить органические отходы под воздействием высокой температуры (350–1050 °С) без доступа кислорода на простые химические соединения и получить вторичные продукты, такие как твердый остаток, жидкие фракции и пиролизный газ (пирогаз) [1, 5–7].

Выход того или иного продукта, а также его энергетические и химические свойства зависят от свойств сырья, температуры процесса, скорости теплообмена между веществами и теплоносителем.

Цель работы – исследование процесса пиролизной переработки крупнотоннажных твердых органических отходов с учетом экологических и энергетических проблем.

Материалы и методы

Схема универсальной экспериментальной установки для пиролизной переработки КТОО представлена на рисунке 1.

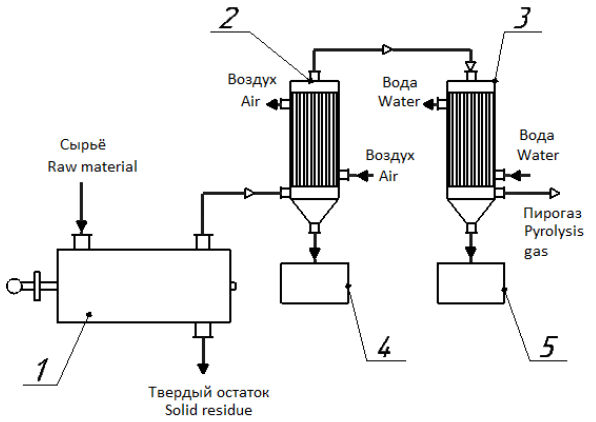


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки: 1 – реактор; 2, 3 – конденсаторы; 4, 5 – сборники

Figure 1. The scheme of the experimental installation: 1 – reactor; 2, 3 – capacitors; 4, 5 – collectors

Экспериментальная установка выполнена в виде комплекса связанных между собой аппаратов различного функционального назначения: пиролизного реактора 1, конденсаторов 2 и 3, сборников жидких фракций 4 и 5.

Пиролизный реактор выполнен в горизонтальном исполнении. Обогрев реакционной камеры реактора реализуется с помощью электронагревателей, которые размещены с внешней стороны корпуса и закрыты теплоизоляцией с защитным кожухом.

Экспериментальная установка работает следующим образом.

Исходное сырье через шаровой кран подаётся в загрузочный патрубок реактора *1*. Сырьё, постоянно перемешиваясь внутри реактора с помощью ворошителя, перемещается к выгрузному патрубку. Ворошитель приводится в движение с помощью электропривода, снабженного электронным преобразователем частоты для регулирования скорости его вращения.

Электронагреватели обеспечивают нагрев сырья до температуры, при которой происходит пиролиз с образованием парогазовой смеси и твердого остатка.

Парогазовая смесь из горизонтального пиролизного реактора по газоходу поступает в трубное пространство конденсатора *2*, в трубках которого протекает процесс перехода высококипящих компонентов в жидкое состояние, а образующаяся при этом жидкая фракция, состоящая из преимущественно из тяжёлых углеводородов, стекает в днище конденсатора, откуда поступает в сборник *4*.

Легкокипящие компоненты парогазовой смеси (пары воды, органические и неорганические составляющие пирогаза) выходят из конденсатора *2* с температурой 110–120 °С и поступают в трубное пространство конденсатора *3*, в трубном пространстве которого происходит конденсация легкокипящих компонентов пирогаза и паров воды. Жидкая фракция с температурой 50–60 °С стекает в сборник *5*, а образующийся после разделения смеси пиролизный газ подается на горелку.

Результаты

На разработанной экспериментальной установке проведены исследования зависимости выходов вторичных продуктов (жидкой фракции, твердого остатка и пирогаза) от температуры пиролизной утилизации КТОО. Экспериментальные исследования проводились при атмосферном давлении в диапазоне температур 350–550 °С (с интервалом 50 °С). Выбор температурного диапазона обусловлен наиболее интенсивным протеканием процесса разложения органических веществ при минимальных энергетических затратах. Графические зависимости выходов вторичных продуктов от температуры пиролизной утилизации КТОО представлены на рисунках 2–4.

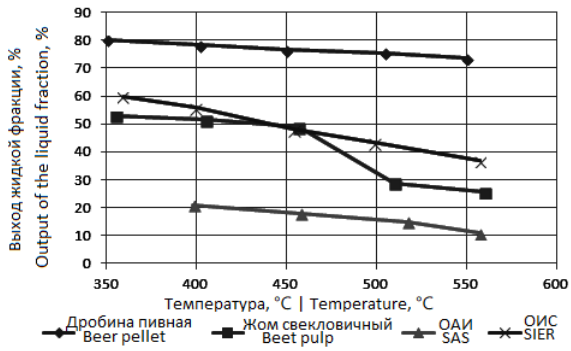


Рисунок 2. Зависимость выхода жидкой фракции от температуры пиролиза для различных видов КТОО

Figure2. Dependence of the yield of the liquid fraction on the pyrolysis temperature for various types of LSOW

Выход жидкой фракции в процентном отношении к сухому веществу, как следует из представленных на рисунке 2 зависимостей, при увеличении температуры протекания процесса пиролиза КТОО уменьшается. Образующаяся жидкая фракция представляет собой жидкость от темно-коричневого до черного цвета с резким запахом нефтяных фракций. При нормальных

условиях жидкая фракция, полученная после пиролизной переработки жома свекловичного, дробины пивной и отработанного активного ила не воспламеняется, при этом фракция, полученная после пиролиза отработанной ионообменной смолы, хорошо горит.

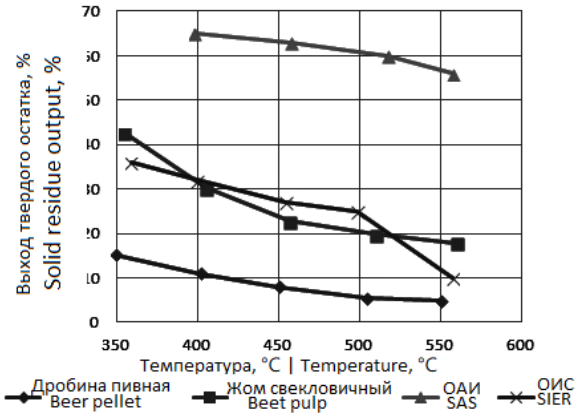


Рисунок 3. Зависимость выхода твердого остатка от температуры пиролиза для различных видов КТОО

Figure3. Dependence of the solid residue yield on the pyrolysis temperature for various types of LSOW

Из зависимостей, представленных на рисунке 3 можно сделать вывод, что с повышением температуры пиролизной утилизации количество твёрдого остатка для всех видов КТОО заметно уменьшается в следующих диапазонах: для дробины пивной – с 43% до 18%; для жома свекловичного – с 22% до 5%; для ОИС – с 37% до 10%. При этом следует отметить, что в случае ОАИ уменьшение количества твердого остатка незначительно – с 64% до 55%.

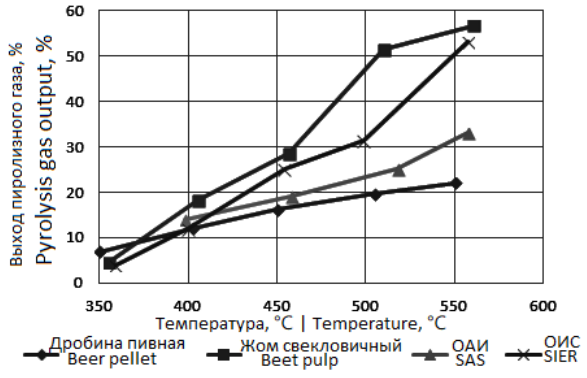


Рисунок 4. Зависимость выхода пирогаза от температуры пиролиза для различных видов КТОО

Figure4. Dependence of the pyrogas yield on the pyrolysis temperature for various types of LSOW

Как следует из графических зависимостей (рисунок 4), выход пирогаза в процентном отношении к сухому веществу с повышением температуры пиролиза плавно растёт. При повышении температуры пиролиза происходит более глубокое разложение жидких и твёрдых фракций продуктов пиролиза и их переход в газовую фракцию, что подтверждается характером графических зависимостей. Максимальный выход пирогаза составляет около 55% масс. для отходов в виде жома свекловичного, минимальный – для отходов в виде дробины пивной – около 20% масс. Полученный пирогаз является горючим и легко воспламеняется, что визуально наблюдалось в процессе проведения экспериментальных исследований

В результате проведенных экспериментальных исследований для всех КРОО получены аналогичные зависимости выходов вторичных продуктов и установлено, что оптимальное время проведения пиролизной переработки составляет 15 мин при температуре пиролиза 500 °С.

На основании результатов экспериментальных исследований и проведенного аналитического обзора разработана структурная схема универсальной установки для пиролизной утилизации КТОО (рисунок 5). Установка состоит из трех участков: пиролиза КТОО, газификации твердых фракций, полученных в результате пиролиза КТОО, разделения жидких фракций, полученных в результате пиролиза КТОО [4, 10].

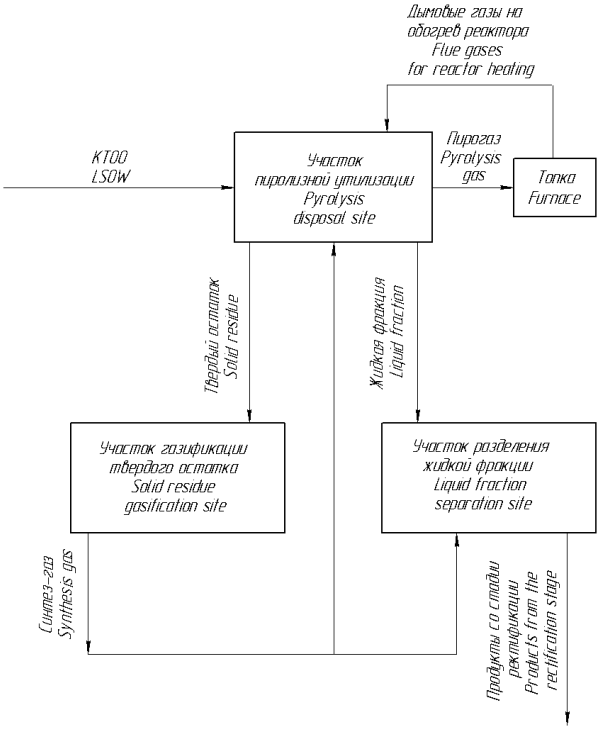


Рисунок 5. Структурная схема универсальной установки для пиролизной утилизации КТОО

Figure5. Block diagram of a universal installation for pyrolysis utilization of LSOW

Обсуждение

В работе [2] проводились исследования химико-термической переработки целлюлозосодержащих отходов (в частности, помета птичьего), в ходе которого установлено, что в процессе переработки образуются вторичные продукты виде пиролизного газа, жидкой и твердой фракций. Образование таких же вторичных продуктов происходит и в нашем исследовании пиролизной переработки КТОО. Кроме того, схож и характер графических зависимостей выходов вторичных продуктов от температуры. При увеличении температуры процесса выход пиролизного газа увеличивается, а жидкой и твердых фракций уменьшается.

Заключение

Согласно проведенным расчетам, установка, разработанная на основании представленной схемы пиролизной утилизации КТОО, при установившемся режиме работы является полностью энергетически независимой от сторонних источников энергии.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Установлена оптимальная температура пиролиза КТОО – 500 °С при данной температуре время пиролиза составляет минимальное значение 15 мин. Дальнейшее повышение температуры пиролиза не имеет практического смысла, т. к. длительность протеканияпроцесса пиролиза сокращается незначительно, в то время как затраты энергии на пиролиз увеличиваются существенно (до 90%).

2. Установлены выходы вторичных продуктов в зависимости от температуры пиролиза КТОО:

– для пирогаза: максимальный выход (55% масс.) – для отходов в виде жома свекловичного, минимальный (20% масс.) – для отходов в виде дробины пивной;

– для жидкой фракции: максимальный выход (75% масс.) – для отходов в виде дробины пивной, минимальный (10,0% масс.) – для отходов в виде отработанного активного ила;

– для твердого остатка: максимальный выход (50% масс.) – для отходов в виде отработанного активного ила, минимальный (5% масс.) – для отходов в виде дробины пивной.

3. Предложена структурная схема пиролизной утилизации с учетом возможности практической реализации универсального процесса переработки КТОО различных отраслей промышленности с учетом энергосбережения.

Литература

1 Хасхачих В.В., Ларина О.М., Сычев Г.А., Герасимов Г.Я., Зайченко В.М. Пиролитические методы термической переработки твердых коммунальных отходов // Теплофизика высоких температур. 2021. № 3. С. 467–480.

2 Балабанова М.Ю., Скляднев Е.В. Исследование комплексной химико-термической переработки целлюлозосодержащих отходов // Проблемы и инновационные решения в химической технологии. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2019. С. 304–305.

3 Ермолаев В.А. Вторичное сырье сахарного производства и направления его переработки // Инновации и продовольственная безопасность. 2024. № 1. С. 87–94. doi: 10.31677/2311–0651–2024–43–1–87–94.

4 Габитов Р.Н., Колибаба О.Б., Сокольский А.И., Грошева А.В. Разработка конструкции печи для утилизации твердых отходов и оценка эффективности ее работы // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2019. № 5. С. 23–30. doi: 10.17588/2072–2672.2019.5.023–030.

5 Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Зиатдинова Д.Ф. Термическая переработка твердых растительных отходов методом медленного кондуктивного пиролиза // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 11. С. 9–14.

6 Lee X.J. Fast Microwave-Assisted Pyrolysis of Wastes for Biofuels Production // Khan A., Asiri A., Bhawani S. (eds.) Waste to Biofuel Technology. Singapore: Springer, 2024. doi: 10.1007/978–981–97–4561–6_5.

7 Kaushal J., Khatri M., Arya S.K. Thermochemical Conversion of Algae Biomass: Pyrolysis and Gasification // Arya S.K., Khatri M., Singh G. (eds.) Value Added Products From Bioalgae Based Biorefineries: Opportunities and Challenges. Singapore: Springer, 2024. doi: 10.1007/978–981–97–1662–3_7.

8 Доронина А.С., Лиходумова М.А., Прохасько Л.С. Актуальные решения утилизации отходов пивоваренной промышленности // Молодой ученый. 2014. № 9. С. 133–135. URL: https://moluch.ru/archive/68/11511/ (дата обращения: 28.10.2019).

9 Зиненко Д.В., Стрекалов С.В., Лебединский Е.С. Проблемы утилизации отработанного активного ила // Актуальные вопросы техники, науки, технологии. Брянск: Брянский государственный инженерно-технологический университет, 2023. С. 163–166.

10 Пат. № 2726979 Российская Федерация, F01K 13/00, F23G 5/08. Энергетический комплекс для переработки твердых бытовых отходов / Паршуков В.И., Ефимов Н.Н., Кихтев И.М., Пряткина В.С., Копица В.В., Васильев Б.Н. № 2019119628; заявл. 24.06.2019; опубл. 20.07.2020. 9 с.

11 Икромов А.А., Эшмухамедов М.А. Эффективные методы переработки органических отходов методом пиролиза с получением топливного газа // Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. 2023. Т. 3. № 10. С. 302-310.

12 Aboelela D., Saleh H., Attia A.M., Elhenawy Y., Majozi T., Bassyouni M. Recent Advances in Biomass Pyrolysis Processes for Bioenergy Production: Optimization of Operating Conditions // Sustainability. 2023. Vol. 15. No. 14. P. 11238. doi:10.3390/su151411238

13 Zhao N., Low S.S., Law C.L., Wu T., Pang C.H. Co-pyrolysis of polymers: Recent advances, challenges and perspectives // Fuel Processing Technology. 2025. Vol. 274. P. 108239. doi:10.1016/j.fuproc.2025.108239

14 Yu S., Zhang H., Liu Z., Yi T., Mao X., Liang X., Nie Y. Design and optimization of electromagnetic induction heating pyrolysis reactor based on load impedance model and heat transfer model // Chemical Engineering Journal. 2025. Vol. 509. P. 160851. doi:10.1016/j.cej.2025.160851

15 Ghodke P.K., Sharma A.K., Pandey J.K., Chen W.-H., Patel A., Ashokkumar V. Pyrolysis of sewage sludge for sustainable biofuels and value-added biochar production // Journal of Environmental Management. 2021. Vol. 298. P. 113450. doi:10.1016/j.jenvman.2021.113450

16 Sahoo K., Behera U.S., Poddar S. Recycling processes and exploitation of waste to obtain energy and challenges: a mini review // International Journal of Environmental Science and Technology. 2025. doi:10.1007/s13762-025-06502-5

17 Puligundla P., Mok C. Valorization of sugar beet pulp through biotechnological approaches: recent developments // Biotechnology Letters. 2021. Vol. 43. P. 1253-1263. doi:10.1007/s10529-021-03146-6

18 Jackowski M., Niedźwiecki Ł., Jagiełło K., Uchańska O., Trusek A. Brewer's Spent Grains - Valuable Beer Industry By-Product // Biomolecules. 2020. Vol. 10. No. 12. P. 1669. doi:10.3390/biom10121669

19 Robazza A., Welter C., Kubisch C., Baleeiro F.C.F., Ochsenreither K., Neumann A. Co-Fermenting Pyrolysis Aqueous Condensate and Pyrolysis Syngas with Anaerobic Microbial Communities Enables L-Malate Production in a Secondary Fermentative Stage // Fermentation. 2022. Vol. 8. No. 10. P. 512. doi:10.3390/fermentation8100512

20 Morya S., Sandhu D., Neumann A., Simon C.J. Chapter 3: Sustainable Environmental Remediation by Valorization of Agro-food Industrial Waste and By-products // Green Chemistry Series. 2023. P. 70-94. doi:10.1039/BK9781837670093-00070

References

1 Khaskhachikh V.V., Larina O.M., Sychev G.A., Gerasimov G.Ya., Zaichenko V.M. et al. Pyrolytic methods of thermal processing of municipal solid waste. High Temperature. 2021. no. 3. pp. 467-480. (in Russian).

2 Balabanova M.Yu., Sklyadnev E.V. Study of complex chemical-thermal processing of cellulose-containing waste. Problems and innovative solutions in chemical technology. Voronezh: Voronezh State University of Engineering Technologies, 2019. pp. 304-305. (in Russian).

3 Ermolaev V.A. Secondary raw materials of sugar production and directions of its processing. Innovations and food security. 2024. no. 1. pp. 87-94. doi: 10.31677/2311-0651-2024-43-1-87-94 (in Russian).

4 Gabitov R.N., Kolibaba O.B., Sokolisky A.I., Grosheva A.V. Development of a furnace design for solid waste disposal and evaluation of its performance. Bulletin of Ivanovo State Power University. 2019. no. 5. pp. 23-30. doi: 10.17588/2072-2672.2019.5.023-030 (in Russian).

5 Safin R.G., Sotnikov V.G., Ziatdinova D.F. Thermal processing of solid plant waste by slow conductive pyrolysis. Ecology and Industry of Russia. 2023. vol. 27. no. 11. pp. 9-14. (in Russian).

6 Lee X.J. Fast Microwave-Assisted Pyrolysis of Wastes for Biofuels Production. In: Khan A., Asiri A., Bhawani S. (eds.) Waste to Biofuel Technology. Singapore: Springer, 2024. doi: 10.1007/978-981-97-4561-6_5.

7 Kaushal J., Khatri M., Arya S.K. Thermochemical Conversion of Algae Biomass: Pyrolysis and Gasification. In: Arya S.K., Khatri M., Singh G. (eds.) Value Added Products From Bioalgae Based Biorefineries: Opportunities and Challenges. Singapore: Springer, 2024. doi: 10.1007/978-981-97-1662-3_7.

8 Doronina A.S., Likhodumova M.A., Prokhas'ko L.S. Current solutions for the disposal of brewing industry waste. Young Scientist. 2014. no. 9. pp. 133-135. Available at: https://moluch.ru/archive/68/11511/ (in Russian).

9 Zinenko D.V., Strekalov S.V., Lebedinsky E.S. Problems of disposal of spent activated sludge. Current issues of engineering, science, technology. Bryansk: Bryansk State University of Engineering and Technology, 2023. pp. 163-166. (in Russian).

10 Pat. No. 2726979 Russian Federation, F01K 13/00, F23G 5/08. Power complex for municipal solid waste processing / Parshukov V.I., Efimov N.N., Kikhtev I.M., Pryatkina V.S., Kopitsa V.V., Vasiliev B.N. No. 2019119628; filed 24.06.2019; publ. 20.07.2020. 9 p. (in Russian).

11 Ikromov A.A., Eshmukhamedov M.A. Effective methods of organic waste processing by pyrolysis with fuel gas production. Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. 2023. vol. 3. no. 10. pp. 302-310. (in Russian).

12 Aboelela D., Saleh H., Attia A.M., Elhenawy Y., Majozi T., Bassyouni M. Recent Advances in Biomass Pyrolysis Processes for Bioenergy Production: Optimization of Operating Conditions. Sustainability. 2023. vol. 15. no. 14. p. 11238. doi:10.3390/su151411238.

13 Zhao N., Low S.S., Law C.L., Wu T., Pang C.H. Co-pyrolysis of polymers: Recent advances, challenges and perspectives. Fuel Processing Technology. 2025. vol. 274. p. 108239. doi:10.1016/j.fuproc.2025.108239.

14 Yu S., Zhang H., Liu Z., Yi T., Mao X., Liang X., Nie Y. Design and optimization of electromagnetic induction heating pyrolysis reactor based on load impedance model and heat transfer model. Chemical Engineering Journal. 2025. vol. 509. p. 160851. doi:10.1016/j.cej.2025.160851.

15 Ghodke P.K., Sharma A.K., Pandey J.K., Chen W.-H., Patel A., Ashokkumar V. Pyrolysis of sewage sludge for sustainable biofuels and value-added biochar production. Journal of Environmental Management. 2021. vol. 298. p. 113450. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113450.

16 Sahoo K., Behera U.S., Poddar S. Recycling processes and exploitation of waste to obtain energy and challenges: a mini review. International Journal of Environmental Science and Technology. 2025. doi:10.1007/s13762-025-06502-5

17 Puligundla P., Mok C. Valorization of sugar beet pulp through biotechnological approaches: recent developments. Biotechnology Letters. 2021. vol. 43. pp. 1253-1263. doi:10.1007/s10529-021-03146-6.

18 Jackowski M., Niedźwiecki Ł., Jagiełło K., Uchańska O., Trusek A. Brewer's Spent Grains - Valuable Beer Industry By-Product. Biomolecules. 2020. vol. 10. no. 12. p. 1669. doi:10.3390/biom10121669.

19 Robazza A., Welter C., Kubisch C., Baleeiro F.C.F., Ochsenreither K., Neumann A. Co-Fermenting Pyrolysis Aqueous Condensate and Pyrolysis Syngas with Anaerobic Microbial Communities Enables L-Malate Production in a Secondary Fermentative Stage. Fermentation. 2022. vol. 8. no. 10. p. 512. doi:10.3390/fermentation8100512.

20 Morya S., Sandhu D., Neumann A., Simon C.J. Chapter 3: Sustainable Environmental Remediation by Valorization of Agro-food Industrial Waste and By-products. Green Chemistry Series. 2023. pp. 70-94. doi:10.1039/BK9781837670093-00070.

Сведения об авторах

Мария Ю. Балабанова старший преподаватель, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mariya_balabanova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7126-2863

Сергей Ю. Панов д.т.н., профессор, кафедра прикладной математики и механики, Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия, su-panov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-2257-8180

Александр Ю. Марнов слушатель, кафедра прикладной математики и механики, Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия, su-panov@mail.ru
https://orcid.org/0009-0005-9613-2271

Information about authors

Mariya Yu. Balabanova Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, mariya_balabanova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7126-2863

Sergej Yu. Panov doctor of technical sciences, professor, department of applied mathematics and mechanics, Voronezh State Technical University, 20th Anniversary of October Street, 84, Voronezh, 394006, Russia, su-panov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-2257-8180

Aleksandr Yu. Marnov listener, department of applied mathematics and mechanics, Voronezh State Technical University, 20th Anniversary of October Street, 84, Voronezh, 394006, Russia, su-panov@mail.ru
https://orcid.org/0009-0005-9613-2271

Вклад авторов

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

Contribution

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/12/2024	**После редакции** 18/01/2025	**Принята в печать** 10/02/2025

Received 11/12/2024	**Accepted in revised** 18/01/2025	**Accepted** 10/02/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-246-254 Оригинальная статья/Research article
УДК 678 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Экструзионная переработка и свойства композитов на основе вторичного полипропилена наполненного сополимером стирол-этилен-бутилен-стирольным каучуком

Илья Ю. Васильев [1] iljanaras@ya.ru 0000-0001-8488-5907
1 Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия

Аннотация. Представлены результаты исследований, направленные на определение структурных, теплофизических, и деформационно-прочностных свойств полимерных композиционных материалов на основе вторичного полипропилена, модифицированного стирол-этилен-бутилен-стирольным каучуком при переработке через расплав. В соответствии с разработанными составами широкого диапазона наполнения матрицы вторичного полипропилена стирол-этилен-бутилен-стирольным каучуком от 1 до 10 мас. % установили, что экструзионная переработка позволяет улучшить технологическую переработку полимерных систем, которая влияет на улучшение комплекса деформационно-прочностных свойств, при которых разрушающее напряжение при растяжении увеличивается на 9 % до 7 мас. % стирол-этилен-бутилен-стирольного каучука в смесях со вторичным полипропиленом вследствие более равномерного распределения первого, а также на относительное удлинение при растяжении на 13 % до 10 мас. % стирол-этилен-бутилен-стирольным каучуком в смесях со вторичным полипропиленом вследствие их эластикации. Отмечен положительный эффект, который проявляется при определении теплофизических свойств, указывающий на формирование однофазного характера смеси, влияющий на температурные режимы переработки смесевых составов вторичного полипропилена, наполненного стирол-этилен-бутилен-стирольным каучуком, что влияет на увеличение производительности экструзионного оборудования и экономии энергозатрат на их производство. Доказано, что экструзионная переработка вторичного полипропилена и стирол-этилен-бутилен-стирольного каучука в пленочные композиты характеризуется физическим, а не химическим или другим типом взаимодействия, что проявляется в отсутствии пиков полос поглощения, характерных для полярных групп стирол-этилен-бутилен-стирольного каучука при определении химического состава пленочных композиций методом ИК-спектроскопии. Таким образом, разработанные композиционные составы пленочных композиций на основе вторичного полипропилена, модифицированного стирол-этилен-бутилен-стирольным каучуком могут быть рекомендованы к практическому использованию для изготовления изделий многофункционального назначения.

Ключевые слова: экструзионная переработка, вторичный полипропилен, термоэластопласт, модификация, пленочные композиции, структура, полимерные системы.

Extrusion processing and properties of composites based on secondary polypropylene filled with styrene-ethylene-butylene-styrene rubber copolymer

Ilya Yu. Vasilyev [1] iljanaras@ya.ru 0000-0001-8488-5907
1 Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia

Abstract. The results of studies aimed at determining the structural, thermophysical, thermal and deformation-strength properties of polymer composite film materials based on secondary polypropylene modified with styrene-ethylene-butylene-styrene rubber when processed through a melt are presented. According to the developed compositions of a wide range of filling the matrix of secondary polypropylene with styrene-ethylene-butylene-styrene rubber from 1 to 10% by weight, that extrusion processing improves the technological compatibility of polymer systems, which affects the improvement of the complex of deformation and strength properties, wherein the tensile stress increases by 9% to 7% by weight of styrene-ethylene-butylene-styrene rubber in blends with secondary polypropylene due to a more uniform distribution of the former; as well as tensile elongation by 13% to 10% by weight of styrene-ethylene-butylene-styrene rubber in mixtures with secondary polypropylene due to their elasticisation. A positive effect was noted, which is manifested when determining thermal and thermophysical properties, indicating the formation of a single-phase nature of the mixture, affecting the temperature conditions of processing mixed compositions of secondary polypropylene filled with styrene-ethylene-butylene-styrene rubber, which affects the increase in the productivity of extrusion equipment and energy savings for their production. Extrusion processing of secondary polypropylene and styrene-ethylene-butylene-styrene rubber into film composites has been shown to be characterized by physical, rather than chemical or other type of interaction, which is manifested in the absence of absorption band peaks characteristic of styrene-ethylene-butylene-styrene rubber polar groups, which are absent in determining the chemical composition of film compositions by IR-spectroscopy. Thus, the developed composite compositions of film compositions based on secondary polypropylene modified with styrene-ethylene-butylene-styrene rubber can be recommended for practical use in the manufacture of multifunctional products.

Keywords: extrusion processing, secondary polypropylene, thermoelastoplastic, modification, film compositions, structure, polymeric systems.

Для цитирования
Васильев И.Ю. Экструзионная переработка и свойства композитов на основе вторичного полипропилена наполненного сополимером стирол-этилен-бутилен-стирольным каучуком // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 246–254. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-246-254

For citation
Vasilyev Ilya Yu. Extrusion processing and properties of composites based on secondary polypropylene filled with styrene-ethylene-butylene-styrene rubber copolymer. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 246–254. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-246-254

© 2025, Васильев И.Ю. / Vasilyev Ilya Yu
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Актуальность обращения полимерных материалов и их применение во многих отраслях промышленности сопряжено с проблемой неконтролируемого возникновения полимерных отходов, которые требуют научно-обоснованных подходов к их утилизации и переработке [1–3].

Существует несколько направлений, связанных с утилизацией полимерных материалов и пластмасс: первый – захоронение, является наиболее простым, но влияет на ухудшение экологической обстановки: полимерные изделия, утилизируемые вышеуказанным способом, являются биостойкими и не разлагаются под действием факторов окружающей среды, что приводит к ее загрязнению [4–5]. Второй метод – сжигание – рентабельное производство утилизации полимерных отходов, но связано с выделением большого количества парниковых (CO_2) и токсичных газов (окислы азота, серы, соединения хлора), также стоит отметить, что данный метод является дорогостоящим, из-за чего используется ограниченно [6].

Одним из перспективных и практико-ориентированных направлений утилизации полимерных материалов и пластмасс является рециклинг [7,8], что обуславливается возможностью перерабатывать практически все виды термопластичных полимерных материалов: полиолефины [9,10], полиэфиры [11] и их производные [12–15], однако доля рециклинга вышедших после эксплуатации изделий составляет не более 20%, а изделия, полученные из вторичного полимерного сырья используют ограниченно. В этой связи является актуальным применение крупнотоннажных вторичных полиолефинов [16], в частности, вторичного полипропилена [17] для изготовления полимерных изделий различного отраслевого назначения [18].

Наряду с переработкой полимерных материалов увеличивается научный интерес к рециклингу твердых коммунальных отходов (ТКО) из резинотехнических изделий [19]. Одним из разновидности перерабатываемых резинотехнических изделий является стирол-этилен-бутилен-стирольный каучук [20], который используется в автомобильной индустрии, в строительстве, в сельскохозяйственной и других отраслях [21].

Создание полимерных композиций на основе вторичного полипропилена, модифицированного переработанными резинотехническими изделиями, позволит расширить область их практического применения, а использование стирол-этилен-бутилен-стирольного каучука представляющего собой термоэластопласт в смесях со вторичным полипропиленом позволит направленно воздействовать на структурные и эксплуатационные свойства полимерных композиций, увеличивая их практическую значимость. Ожидается, что экструзионная переработка смесей вторичного полипропилена и термоэластопласта позволит улучшить их технологическую переработку, а использование термоэластопласта стирол-этилен-бутилен-стирольного каучука придаст полимерным композициям дополнительную эластификацию, что позволит изготавливать на их основе альтернативные изделия многофункционального назначения.

Цель работы – влияние рецептурно-технологических параметров полимерных композиционных материалов на основе вторичного полипропилена, модифицированного сополимером стирол-этилен-бутилен-стирольным каучуком при переработке через расплав на их структурные, физико-химические и эксплуатационные свойства.

Материалы и методы

В качестве полимерной матрицы в работе использовали вторичный полипропилен (ВтПП/sPP), производства компании «PlastMix», Россия.

Для модификации полимерной матрицы вторичного полипропилена использовали отечественный термоэластопласт сополимер стирол-этилен-бутилен-стирольный каучук (с добавками минеральных масел и процессионных термостабилизаторов) (СЭБС/SEBS), торговой марки «Masflex», производства компании «Rusplast», Россия. В табл. 1 представлены некоторые характеристики исходных компонентов.

Таблица 1.

Характеристики исходных компонентов

Table 1.

Characteristics of initial components

Показатель | Indicator	ВтПП sPP	СЭБС SEBS	Метод испытания Test method
Плотность, г/см^3 | Density, g/cm^3	0.92	1.17	ISO 2781:2008
ПТР, (190° С, 2.16 кг), г / 10 мин | MFR, (190° C, 2.16 kg), g / 10 min	1.9 ± 0.5	4 ± 0.2	ISO 1133–1:2011
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа | Destructive tensile stress, MPa	19	7	ISO 527–3:2018
Относительное удлинение при разрыве, % | Elongation at break, %	210	>900	ISO 527–3:2018
Твердость по Шору D (усл. ед.) | Shore D hardness (cond. units)	86	45	ISO 868:2003

Компаундирование полимерных смесей на основе вторичного полипропилена, наполненного стирол-этилен-бутилен-стирольным каучуком осуществляли на двухшнековом экструдере с барьерным шнеком и кольцевой фильерой фирмы «МашПласт» (Россия) при температуре переработки от 160° С (в зоне питания) до 170° С (в зоне формующего элемента), варьируя содержание ВтПП:СЭБС от 99:1 до 90:10 мас. % и на выходе получали стренги и экструдат размером 1.7 ± 0.03 мм и 2–4 мм. Затем экструдат загружали в плоскощелевой экструдер фирмы «МашПласт» (Россия), пластицировали при тех же температурных режимах, как и в случае получения стренг, выходящий из плоскощелевой головки расплав принимали на охлаждаемые валы и получали пленочные композиции, варьируя их толщину 90 ± 3 мкм.

Определение формирования структуры ВтПП и пленочных композиций ВтПП:СЭБС изучали с помощью флуоресцентной микроскопии на приборе Биомед-4 ПР ЛЮМ. Испытания проводили при флуоресценции пленочных композиций в сине-зеленой и желто-красной области спектра от 470 до 650 нм.

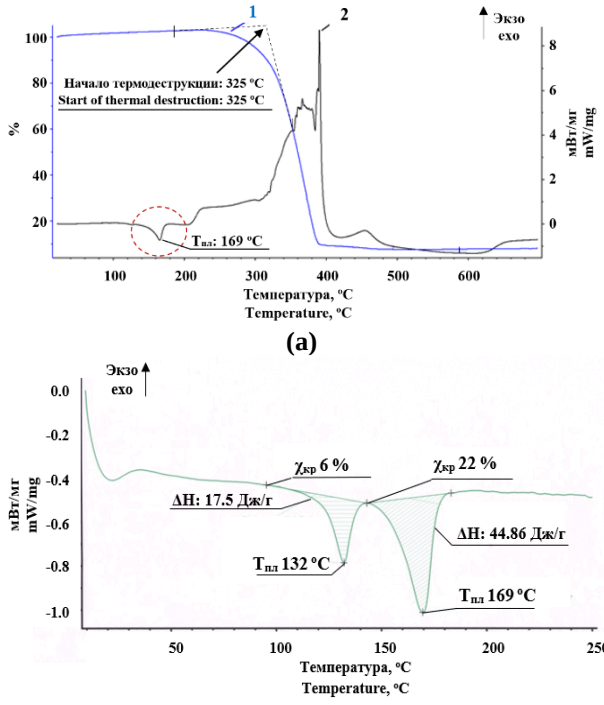
Определение теплофизических свойств ВтПП и СЭБС, а также пленочных композиций разных смесевых составов на их основе определяли с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), оснащенным синхронным определением термогравиметрического анализа (ТГА) на калориметре DSC 214 PolymaNetzsch-GerätebauGmbH (Germany) в широком интервале температур с разной скоростью сканирования и навеске образца 10 ± 1 мг согласно ISO 11357–1:2016 «Пластмассы. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК). Общие принципы».

Физико-механические свойства ВтПП и СЭБС, а также пленочных композиций разных смесевых составов на их основе определяли в соответствии с ISO 527–3:2018 «Пластмассы. Определение механических свойств при растяжении».

Изучение химической структуры ВтПП, СЭБС, а также пленочных композиций на их основе в широком диапазоне смесевых составов осуществляли методом ИК-Фурье спектроскопии на приборе ФСМ-1201 (Россия) с приставкой НПВО с разрешением в 1,0 $см^{-1}$ в диапазоне волновых чисел 375–4000 $см^{-1}$ при температуре 22±2ºС согласно ГОСТ 57939–2017 «Композиты полимерные. Инфракрасная спектроскопия. Общие принципы»

Результаты и обсуждение

При изготовлении полимерных композиционных пленочных материалов на основе вторичного полипропилена, модифицированного СЭБС необходимо учитывать температуру переработки и физико-химическую стойкость исходных компонентов. Для этого определили их теплофизические свойства и стойкость к термодеструкции.



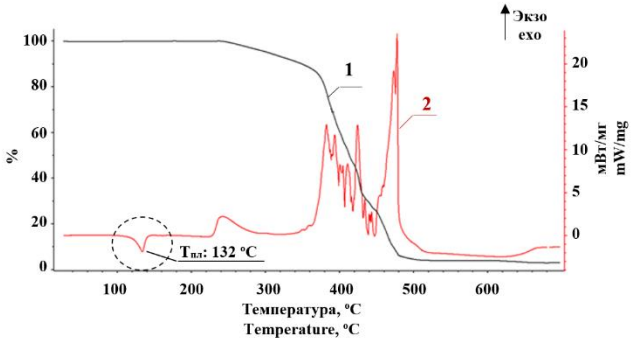


Рисунок 1. Теплофизические свойства ВтПП (a), СЭБС (b) и пленочной композиции ВтПП: СЭБС-90:10 мас. % (c), 1 – ТГА, 2 – ДСК

Figure 1. Thermophysical properties of sPP (a), SEBS (b) and film composition of sPP:SEBS-90:10 wt% (c), 1 – TGA, 2 – DSC

На рисунке 1а видно, что на термограмме присутствует одна кристаллическая фаза, эндотермический пик которой соответствует температуре плавления вторичному полипропилену 169 °С, для СЭБС температура плавления ниже и составляет 132 °С (рисунок 1б), что обуславливается химической структурой исходного наполнителя. Для пленочной композиции, в составе которой содержание СЭБС составляет 10 мас. % в смеси со вторичным полипропиленом (рисунок 1в) присутствуют две кристаллические фазы аналогичные по характеру плавления исходным компонентам, что обуславливается улучшением их технологической переработки через расплав и свидетельствует о формировании однофазного характера смеси.

Результаты термогравиметрического анализа представлены на рисунке 2. Определяя стойкость к термодеструкции исходных компонентов – ВтПП и СЭБС, а также пленочных композиций на их основе установили, что исходный ВтПП проявляет термостабильность до 200 °С, начало потери массы осуществляется при температуре 325 °С и продолжается до 400 °С с содержанием массового остатка не более 10 мас. %, для СЭБС начало потери массы осуществляется при более низких температурах – 230 °С. При температуре 585 °С массовое содержание остатка составляет 41 мас. %, что обуславливается наличием в составе СЭБС термостабилизатора. Для пленочных композиций при введении СЭБС 5 и 10 мас. % в смеси со вторичным полипропиленом начало потери массы смещается в сторону более низких температур, что обуславливается большей концентрацией термоэластопласта в смесях со вторичным полипропиленом. Для пленочной композиции ВтПП:СЭБС-95:5 мас. % снижение потери массы наблюдали до 687° С с содержанием остатка не более 3 мас. %. Для СЭБС при 10 мас. % в смеси со вторичным полипропиленом содержание массового остатка составляет 3.8 мас. % при 690 °С. При этом кривые потери массы для исходных компонентов и пленочных композиций на их основе имеют классический вид потери массы от температуры. Это свидетельствует о том, что при экструзионной переработке возможно получение более гомогенных расплавов композитов, вследствие пластификации матрицы вторичного полипропилена и улучшения технологической переработки вторичного термопласта термоэластомером.

Незначительное снижение температуры начала потери массы для пленочных композиций ВтПП:СЭБС при разной концентрации последнего, в свою очередь, влияет на увеличение производительности экструзионного оборудования и экономии энергозатрат на их производство, что оказывает положительный эффект на технологический процесс изготовления разрабатываемых композитов.

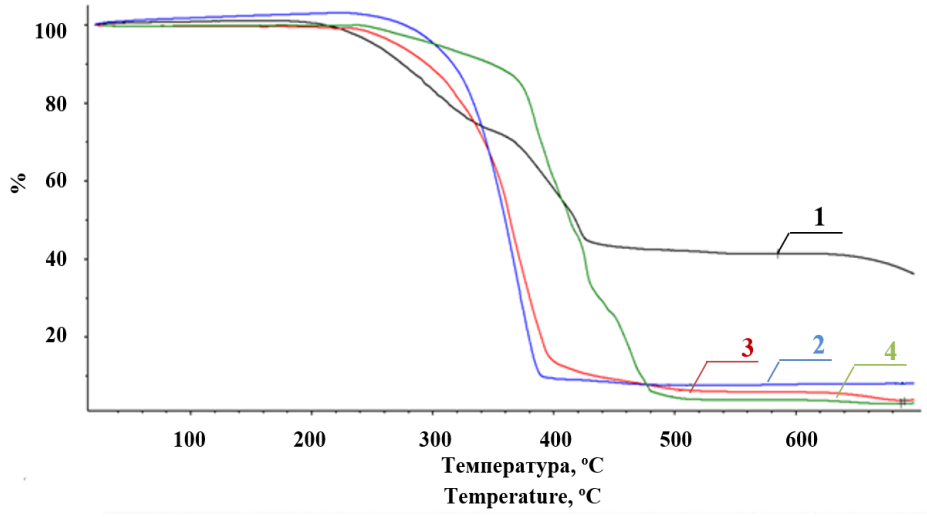


Рисунок 2. Термогравиметрические свойства: СЭБС (1), вторичного полипропилена (2) и пленочных композиций ВтПП: СЭБС, мас. %: 95:5 (3) и 90:10 (4)

Figure 2. Thermogravimetric properties: SEBS (1), secondary polypropylene (2) and film compositions sPP:SEBS, wt%: 95:5 (3) and 90:10 (4)

На рисунке 3 представлены экспериментальные данные по определению деформационно-прочностных свойств пленочных композиций разных смесевых составов на основе ВтПП, модифицированного СЭБС.

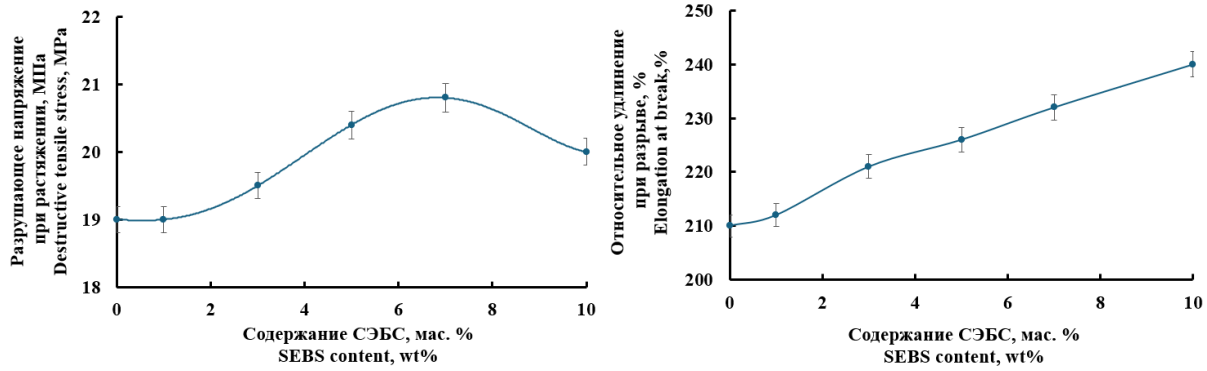


Рисунок 3. Деформационно-прочностные свойства пленочных композиций ВтПП:СЭБС

Figure 3. Deformation and strength properties of sPP:SEBS film compositions

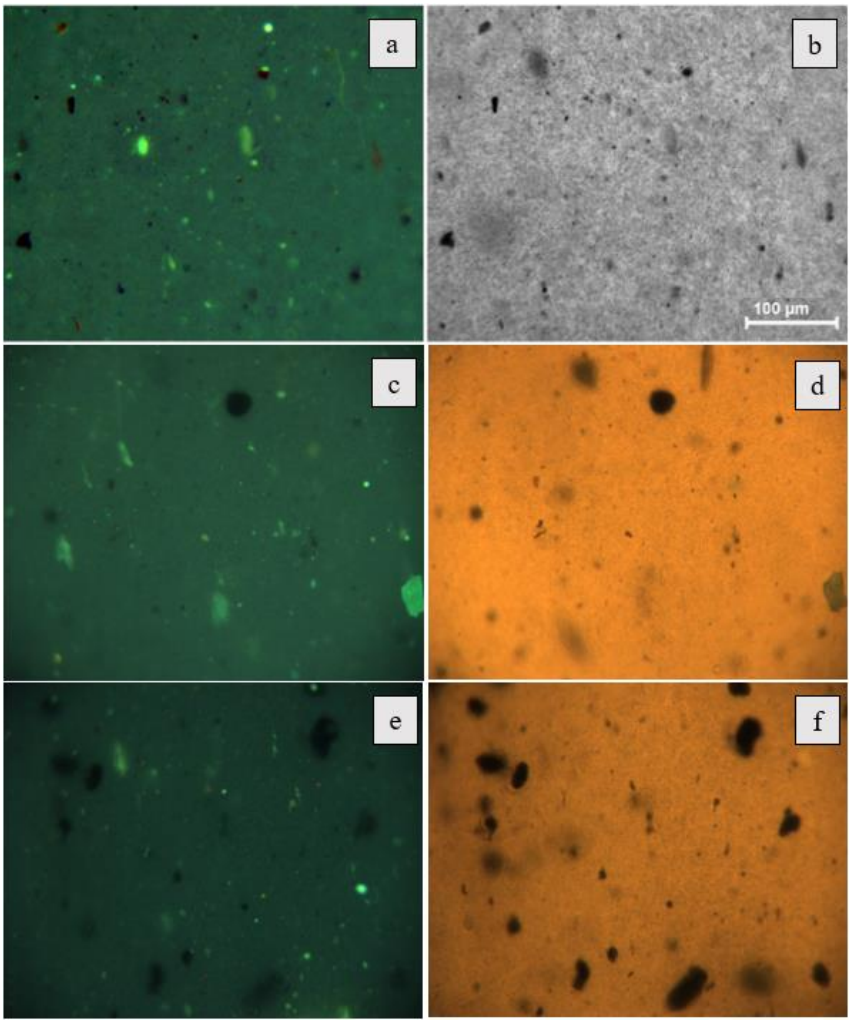


Рисунок 4. Микрофотографии структуры при флуоресценции ВтПП (a, b) и пленочных композиций ВтПП:СЭБС-95:5 мас. % (c, d) и ВтПП:СЭБС-90:10 мас. % (e, f)

Figure 4. Photomicrographs of structure at fluorescence of sPP (a, b) and film compositions of sPP:SEBS-95:5 wt% (c, d) and sPP:SEBS-90:10 wt% (e, f)

Для вторичного полипропилена разрушающее напряжение при растяжении составляет 19 МПа, при добавлении СЭБС до 7 мас. % в смеси со вторичным полипропиленом разрушающее напряжение при растяжении увеличивается на 9%, о чем свидетельствует экспериментальные данные, полученные при использовании флуоресцентной микроскопии (рисунок 4c, d), на микрофотографиях которых заметно более равномерное распределение отдельных частиц

СЭБС в матрице вторичного полипропилена, размер которых не превышает 20 мкм, идентифицированные в сине-зеленой и желто-красной области спектра, для исходного вторичного полипропилена (рисунок 4a, b) наблюдали более выраженную структуру, которая проявляется как при флуоресценции, так и в проходящем свете. При увеличении СЭБС до 10 мас. % в смеси со вторичным полипропиленом разрушающее напряжение при растяжении снижается незначительно, разница составляет 4%, что обуславливается большей концентрацией СЭБС в смеси со вторичным полипропиленом и невысокой его исходной прочностью. На некоторых участках микрофотографий заметны отдельные частицы СЭБС в структуре пленочных композиций на основе вторичного полипропилена, размер которых достигает до 40 мкм (рисунок 4e, f).

При определении деформационных свойств видно, что с увеличением содержания СЭБС до 10 мас. % в смесях со вторичным полипропиленом относительное удлинение при разрыве для пленочных композиций возрастает пропорционально увеличению концентрации СЭБС на 13% и обуславливается более гомогенным его распределением в матрице вторичного полипропилена.

Для дополнительной оценки взаимодействия вторичного полипропилена и сополимера стирол-этилен-бутилен-стирольного каучука при переработке через расплав использовали ИК-спектроскопию. На рис. 5 представлены ИК-спектры исходных компонентов и пленочной композиции при введении СЭБС 10 мас. % в смеси со вторичным полипропиленом.

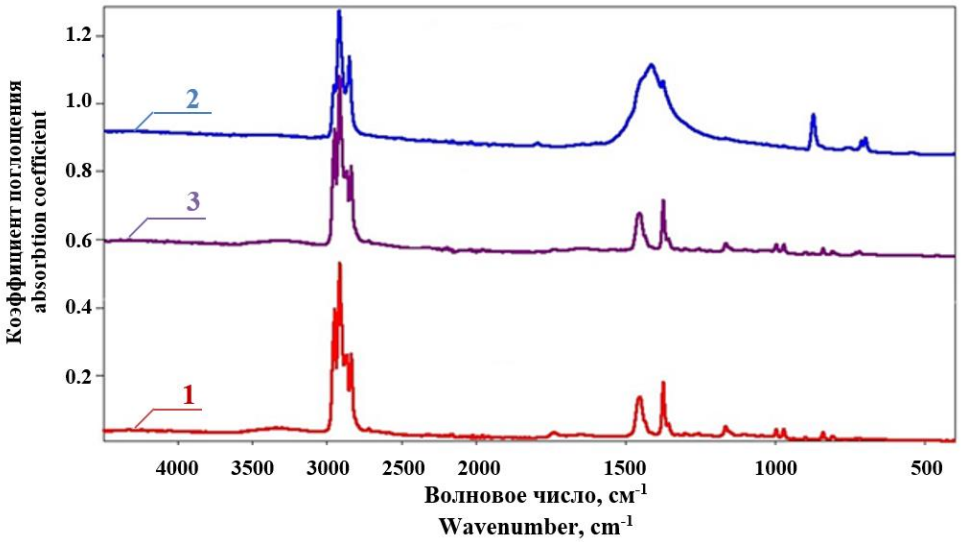


Рисунок 5. ИК-спектры: 1 – ВтПП, 2 – СЭБС, 3 – ВтПП:СЭБС-90:10 мас. %

Figure 5. IR spectra: 1 – sPP, 2 – SEBS, 3 – sPP:SEBS-90:10 wt%

Анализируя ИК-спектры видно, что вторичный полипропилен имеет классический ИК-спектр, характерный для первичного полипропилена с наличием интенсивности полос поглощения в области 2960 и 2880 $см^{-1}$, относящихся к симметричным и ассиметричным деформационным колебаниям метильной CH_3-группы. Наличие полос поглощения в области 1450 и 1378 $см^{-1}$ позволяют идентифицировать наличие в структуре вторичного полипропилена деформационных CH_2-групп.

Для сополимера стирол-этилен-бутилен-стирольного каучука, в отличие от вторичного полипропилена, характерно наличие полярных групп в его структуре. В качестве полярных соединений выступают карбонильные, карбоксильные, иногда гидроксильные группы. ИК-спектры СЭБС и вторичного полипропилена, имеют практически идентичный характер за исключением длинноволновой области (дальняя волновая область) ИК-излучения. Так в ИК-спектре СЭБС присутствует полоса поглощения 3030 $см^{-1}$, относящаяся к колебаниям ароматической группы бензольного кольца. Как и для вторичного полипропилена, так и для СЭБС характерно наличие CH_3-группы при полосах поглощения 2960 и 2880 $см^{-1}$. Наличие COOH-групп подтверждается появлением широкой полосы поглощения в области 1600–1560 $см^{-1}$. Полосы поглощения в области от 1200–960 $см^{-1}$ указывают на наличие деформационных связей характерных для CH-групп и CH-колебаний бензольного кольца. Полоса поглощения 910 $см^{-1}$ позволяет идентифицировать наличие CH_2 = CH-группы.

Для пленочной композиции на основе вторичного полипропилена, модифицированного СЭБС при 10 мас. % последнего, на ИК-спектре присутствуют полосы поглощения аналогичные исходному вторичному полипропилену. Отсутствие карбоксильных групп в области 1600–1560 $см^{-1}$ позволяют предположить, что СЭБС в смесях со вторичным полипропиленом при переработке через расплав не подвергается химическому или другому взаимодействию с матрицей вторичного полипропилена. В соответствии с ИК-спектрами, наличие СЭБС в пленочных композициях со вторичным полипропиленом не изменяет положение полос поглощения вышеописанных функциональных групп и не влияет на изменение их формы.

На основании полученных спектральных характеристик можно сделать вывод, что изученные вторичный полипропилен и сополимер стирол-этилен-бутилен-стирольный каучук, а также их смеси при экструзионной переработке не подвергаются химическому взаимодействию, а демонстрируют увеличение интенсивности полос поглощения пропорционально увеличению содержания СЭБС в смесях со вторичным полипропиленом.

Заключение

Провели комплексное исследование, направленное на изучение структурных, теплофизических, термических и физико-механических свойств полимерных композиционных материалов на основе вторичного полипропилена, модифицированного сополимером стирол-этилен-бутилен-стирольным каучуком, в которых доля СЭБС составила от 1 до 10 мас. %.

При определении стойкости пленочных композиций к термодеструкции установили, что вторичный полипропилен характеризуется термостойкостью до 325 ℃, СЭБС до 230 ℃, что позволяет перерабатывать их в пленочные композиции через расплав. Для пленочных композиций при определении теплофизических свойств установили наличие двух кристаллических фаз, характерных для ВтПП – 169 ℃ и СЭБС 132 ℃, что положительно сказывается на увеличении производительности экструзионного оборудования и экономии энергозатрат на их производство.

При определении деформационно-прочностных свойств установили, что пленочные композиции на основе вторичного полипропилена и СЭБС при увеличении последнего до 7 мас. % влияет на увеличение разрушающего напряжения при растяжении на 9% вследствие более равномерного распределения частиц СЭБС в матрице вторичного термопласта, при увеличении до 10 мас. % СЭБС наблюдали незначительное снижение прочности пленочных композиций. Относительное удлинение при разрыве для пленочных композиций при введении СЭБС до 10 мас. % в смесх с ВтПП увеличивается на 13%.

Методом ИК-спектроскопии доказали, что отсутствует химическое или другое взаимодействие вторичного полипропилена и СЭБС при изготовлении пленочных композиций, в данном случае для их смесей осуществляется только физическое взаимодействие при переработке через расплав.

Литература

1 Guivan M.Y., Ovchinnikov V.A., Mamin E.A., Khaidarov B.B., Popov A.A. The Influence of Metal Sludge on the Oxidative Destruction of Low-Density Polyethylene // Polymer Science – Series D. 2024. Vol. 17. № 2. P. 502–506.

2 Stefanovich M.A., Gubachev V.A., Tolstov A.M. The modelling of extrusion melt processes for polymer composites // International Journal of Applied Science and Technology Integral. 2022. № 2. doi: 10.55186/02357801_2022_7_2_1.

3 Dul S., Gutierrez B.J.A., Pegoretti A., Alvarez-Quintana J., Fambri L. 3D printing of ABS Nanocomposites // Comparison of processing and effects of multi-wall and single-wall carbon nanotubes on thermal, mechanical and electrical properties. Journal of Materials Science & Technology. 2022. № 121. P. 52–66. doi: 10.1016/j.jmst.2021.11.064.

4 Sheng R. 3D printing of airplane parts // 3D Printing. 2022. P. 13–20. doi: 10.1016/b978–0–323–99463–7.00003–7.

5 Sharifov D.M., Niyazbekova R.K., Mukhambetov G.M., Mikhalchenko V.N., Begaidarov Zh.A., Serekpaev M.A. Production technology and development prospects of polymer-based nanocomposite materials // Solid State Physics: Proceedings of the XV International Scientific Conference. 2022. P. 152–154.

6 Vidakis N., Mangelis P., Petousis M., Mountakis N., Papadakis V., Moutsopoulou A. et al. Mechanical reinforcement of ABS with optimized nano titanium nitride content for material extrusion 3D printing // Nanomaterials. 2023. Vol. 13. № 4. P. 669. doi: 10.3390/nano13040669.

7 Pulipaka A., Gide K., Beheshti A., Bagheri Z. Effect of 3D printing process parameters on surface and mechanical properties of FFF-printed PEEK // Journal of Manufacturing Processes. 2022. № 85. P. 368–386. doi: 10.1016/j.jmapro.2022.11.057.

8 Zhang X., Fan W., Liu T. Fused deposition modeling 3D printing of polyamide-based composites and its applications // Composites Communications. 2020. № 21. P. 100413. doi: 10.1016/j.coco.2020.100413.

9 Valvez S., Silva A.P., Reis P.N.B. Compressive behaviour of 3D-printed PETG composites // Aerospace. 2022. Vol. 9. № 3. P. 124. doi: 10.3390/aerospace9030124.

10 Bhagia S., Bornani K., Agarwal R., Satlewal A., Durkovi J., Lagana R. et al. Critical review of FDM 3D printing of PLA biocomposites filled with biomass resources, characterization, biodegradability, upcycling and opportunities for biorefineries // Applied Materials Today. 2021. № 24. doi: 10.1016/j.apmt.2021.101078.

11 Tirado-Garcia I., Garcia-Gonzalez D., Garzon-Hernandez S., Rusinek A., Robles G., Martinez-Tarifa J.M. et al. Conductive 3D printed PLA composites: on the interplay of mechanical, electrical and thermal behaviours // Composite Structures. 2021. № 261. doi: 10.1016/j.compstruct.2021.113744.

12 Troyan A.S., Troyan A.A. Recycling of secondary polyethylene terephthalate // Chemistry and chemical technology in the XXI century: Materials of the XXIII International Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists named after outstanding chemists L.P. Kulev and N.M. Kizhner. 2022. № 2. P. 339–341.

13 Ukhartseva I.Yu., Tsvetkova E.A., Goldade V.A., Shapovalov V.M. Technological aspects of manufacturing containers and packaging for food products // Polymer materials and technologies. 2022. Vol. 8. № 4. P. 6–31. doi: 10.32864/polymmattech-2022-8-4-6-31.

14 Mohammadi Zerankeshi M., Sayedain S.S., Tavangarifard M., Alizadeh R. Developing a novel technique for the fabrication of PLA-graphite composite filaments using FDM 3D printing process // Ceramics International. 2022. № 48. doi: 10.1016/j.ceramint.2022.07.117.

15 Zhang Y., Zhu Y., Zheng S., Zhang L., Shi X., He J., Chou X., Wu Z.-S. Ink formulation, scalable applications and challenging perspectives of screen printing for emerging printed microelectronics // Journal of Energy Chemistry. 2021. № 63. P. 498–513. doi: 10.1016/j.jechem.2021.08.011.

16 Unhelkar B., Joshi S., Sharma M., Prakash S., Krishna Mani A., Prasad M. Enhancing supply chain performance using RFID technology and decision support systems in the industry 4.0 // A systematic literature review. International Journal of Information Management Data Insights. 2022. № 2. doi: 10.1016/j.jjimei.2022.100084.

17 Mazumder R.H., Govindaraj P., Salim N., Antiohos D., Fuss F.K., Hameed N. Digitalization of composite manufacturing using nanomaterials based piezoresistive sensors // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2025. № 188. doi: 10.1016/j.compositesa.2024.108578.

18 Syduzzaman Md., Islam Saad Md.S., Fuad Piam M., Talukdar Toaki T.A., Shobdo T.T., Pritha M.N. Carbon nanotubes: Structure, properties and applications in the aerospace industry // Results in Materials. 2025. № 25. P. 100654. doi: 10.1016/j.rinma.2024.100654.

19 De Falco G., Basta L., Commodo M., Minutolo P., D'Anna A. Flame synthesis of soot/TiO2 nanoparticle composite films with improved electrical properties characterized by Scanning Probe Microscopy // Proceedings of the Combustion Institute. 2024. № 40. P. 105475. doi: 10.1016/j.proci.2024.105475.

20 Frąc M., Szudek W., Szołdra P., Pich W. The applicability of shungite as an electrically conductive additive in cement composites // Journal of Building Engineering. 2022. № 45. P. 103469. doi: 10.1016/j.jobe.2021.103469.

21 Thirugnanasamabandam A., Prabhu B., Mageswari V., Murugan V., Ramachandran K., Kadirgama K. Wood flour / ceramic reinforced polylactic acid based 3D printed functionally grade structural material for integrated engineering applications: A numerical and experimental characteristic investigation // International Journal of Lightweight Materials and Manufacture. 2025. № 8. P. 74–86. doi: 10.1016/j.ijlmm.2024.08.003.

References

1 Guivan M.Y., Ovchinnikov V.A., Mamin E.A., Khaidarov B.B., Popov A.A. The Influence of Metal Sludge on the Oxidative Destruction of Low-Density Polyethylene. Polymer Science - Series D. 2024. vol. 17. no. 2. pp. 502-506.

2 Stefanovich M.A., Gubachev V.A., Tolstov A.M. The modelling of extrusion melt processes for polymer composites. International Journal of Applied Science and Technology Integral. 2022. no. 2. doi: 10.55186/02357801_2022_7_2_1.

3 Dul S., Gutierrez B.J.A., Pegoretti A., Alvarez-Quintana J., Fambri L. 3D printing of ABS Nanocomposites. Comparison of processing and effects of multi-wall and single-wall carbon nanotubes on thermal, mechanical and electrical properties. Journal of Materials Science and Technology. 2022. no. 121. pp. 52-66. doi: 10.1016/j.jmst.2021.11.064.

4 Sheng R. 3D printing of airplane parts. 3D Printing. 2022. pp. 13-20. doi: 10.1016/b978-0-323-99463-7.00003-7.

5 Sharifov D.M., Niyazbekova R.K., Mukhambetov G.M., Mikhalchenko V.N., Begaidarov Zh.A., Serekpaev M.A. Production technology and development prospects of polymer-based nanocomposite materials. Solid State Physics: Proceedings of the XV International Scientific Conference. 2022. pp. 152-154.

6 Vidakis N., Mangelis P., Petousis M., Mountakis N., Papadakis V., Moutsopoulou A. et al. Mechanical reinforcement of ABS with optimized nano titanium nitride content for material extrusion 3D printing. Nanomaterials. 2023. vol. 13. no. 4. p. 669. doi: 10.3390/nano13040669.

7 Pulipaka A., Gide K., Beheshti A., Bagheri Z. Effect of 3D printing process parameters on surface and mechanical properties of FFF-printed PEEK. Journal of Manufacturing Processes. 2022. no. 85. pp. 368-386. doi: 10.1016/j.jmapro.2022.11.057.

8 Zhang X., Fan W., Liu T. Fused deposition modeling 3D printing of polyamide-based composites and its applications. Composites Communications. 2020. no. 21. p. 100413. doi: 10.1016/j.coco.2020.100413.

9 Valvez S., Silva A.P., Reis P.N.B. Compressive behaviour of 3D-printed PETG composites. Aerospace. 2022. vol. 9. no. 3. p. 124. doi: 10.3390/aerospace9030124.

10 Bhagia S., Bornani K., Agarwal R., Satlewal A., Durkovi J., Lagana R. et al. Critical review of FDM 3D printing of PLA biocomposites filled with biomass resources, characterization, biodegradability, upcycling and opportunities for biorefineries. Applied Materials Today. 2021. no. 24. doi: 10.1016/j.apmt.2021.101078.

11 Tirado-Garcia I., Garcia-Gonzalez D., Garzon-Hernandez S., Rusinek A., Robles G., Martinez-Tarifa J.M. et al. Conductive 3D printed PLA composites: on the interplay of mechanical, electrical and thermal behaviours. Composite Structures. 2021. no. 261. doi: 10.1016/j.compstruct.2021.113744.

12 Troyan A.S., Troyan A.A. Recycling of secondary polyethylene terephthalate. Chemistry and chemical technology in the XXI century: Materials of the XXIII International Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists named after outstanding chemists L.P. Kulev and N.M. Kizhner. 2022. no. 2. pp. 339-341.

13 Ukhartseva I.Yu., Tsvetkova E.A., Goldade V.A., Shapovalov V.M. Technological aspects of manufacturing containers and packaging for food products. Polymer materials and technologies. 2022. vol. 8. no. 4. pp. 6-31. doi: 10.32864/polymmattech-2022-8-4-6-31.

14 Mohammadi Zerankeshi M., Sayedain S.S., Tavangarifard M., Alizadeh R. Developing a novel technique for the fabrication of PLA-graphite composite filaments using FDM 3D printing process. Ceramics International. 2022. no. 48. doi: 10.1016/j.ceramint.2022.07.117.

15 Zhang Y., Zhu Y., Zheng S., Zhang L., Shi X., He J. et al. Ink formulation, scalable applications and challenging perspectives of screen printing for emerging printed microelectronics. Journal of Energy Chemistry. 2021. no. 63. pp. 498-513. doi: 10.1016/j.jechem.2021.08.011.

16 Unhelkar B., Joshi S., Sharma M., Prakash S., Mani A.K., Prasad M. Enhancing supply chain performance using RFID technology and decision support systems in the industry 4.0. A systematic literature review. International Journal of Information Management Data Insights. 2022. no. 2. doi: 10.1016/j.jjimei.2022.100084.

17 Mazumder R.H., Govindaraj P., Salim N., Antiohos D., Fuss F.K., Hameed N. Digitalization of composite manufacturing using nanomaterials based piezoresistive sensors. Composites Part A. 2025. no. 188. doi: 10.1016/j.compositesa.2024.108578.

18 Syduzzaman Md., Islam Saad Md.S., Fuad Piam M., Talukdar Toaki T.A., Shobdo T.T., Pritha M.N. Carbon nanotubes: Structure, properties and applications in the aerospace industry. Results in Materials. 2025. no. 25. p. 100654. doi: 10.1016/j.rinma.2024.100654.

19 De Falco G., Basta L., Commodo M., Minutolo P., D'Anna A. Flame synthesis of soot/TiO2 nanoparticle composite films with improved electrical properties characterized by Scanning Probe Microscopy. Proceedings of the Combustion Institute. 2024. no. 40. p. 105475. doi: 10.1016/j.proci.2024.105475.

20 Frąc M., Szudek W., Szołdra P., Pich W. The applicability of shungite as an electrically conductive additive in cement composites. Journal of Building Engineering. 2022. no. 45. p. 103469. doi: 10.1016/j.jobe.2021.103469.

21 Thirugnanasamabandam A., Prabhu B., Mageswari V., Murugan V., Ramachandran K., Kadirgama K. Wood flour/ceramic reinforced polylactic acid based 3D printed functionally grade structural material for integrated engineering applications: A numerical and experimental characteristic investigation. International Journal of Lightweight Materials and Manufacture. 2025. no. 8. pp. 74-86. doi: 10.1016/j.ijlmm.2024.08.003.

Сведения об авторах

Илья Ю. Васильев к.т.н., доцент, кафедра Инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, iljanaras@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-8488-5907

Information about authors

Ilya Yu. Vasilyev Cand. Sci. (Engin.), Department of Innovative Materials of the Print Industry, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, iljanaras@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-8488-5907

Вклад авторов

Илья Ю. Васильев написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Ilya Yu. Vasilyev wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/01/2025	**После редакции** 18/01/2025	**Принята в печать** 10/02/2025
Received 11/01/2025	**Accepted in revised** 18/01/2025	**Accepted** 10/02/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-255-261 Оригинальная статья/Research article
УДК 655.3 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Цветопеременные эффекты при печати триадными красками на многослойной упаковке из прозрачной пленки полипропилена

Юлия А. Васина [1] ytimchenko@inbox.ru 0009-0005-7874-0935
Виктор А. Род [1] vikdor.andreevich@mail.ru 0009-0008-8333-4749
Яна В. Авдеева [1] ioan-na20040913@ya.ru 0009-0003-8994-0006
Александр П. Кондратов [1] apkrezerv@mail.ru 0000-0001-6118-0808

1 Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, д. 38, г. Москва, 107023, Россия

Аннотация. Цветное воспроизведение на прозрачных многослойных пленках имеет широкий спектр применений в сфере производства упаковки. В случае использования многослойных пленок в качестве декоративных или защитных элементов в упаковочном производстве могут возникать отклонения при воспроизведении цвета из-за проявления плеохроизма в многослойных полимерных материалах. Цель работы - определение условий получения и измерение параметров цветопеременного эффекта в проходящем поляризованном свете при струйной печати триадными красками на пленочных материалах с эффектом плеохроизма. Объектом исследования явилась модельная стопа Столетова длиной 77 см, шириной 40 см, состоящая из 13 слоев полипропилена. На рассматриваемый образец наносили слои краски пурпурного и желтого цвета различной плотности в форме полос методом струйной печати с отверждением отпечатка УФ излучением и последующей фотофиксация исследуемых образцов. Цветовое различие ΔE вычислялось путем обработки фотографий программе Paint 3D, с последующим переводом цветовых координат из цветового пространства RGB в систему Lab. В последующем ΔE вычислялось между исходным образцом и образцом, помещенным под стопу Столетова между двумя поляризаторами, а именно между цветом слоя краски и цветом запечатанной части пленки над каждым фрагментом модельной стопы. Результатами работы стало установление качественных и количественных отличий цвета полупрозрачных слоев триадных красок на многослойной пленке полипропилена в натуральном и поляризованном потоках проходящего света, а также определение максимального расчетного отличия, достигнутого для желтого цвета при натуральном и поляризованном освещении под 12 слоями модельной стопы Столетова с плотностью заполнения растрового поля исходного оттиска 50%, максимального отличия голубого цвета от исходного оттиска с плотностью заполнения растрового поля исходного оттиска 50%, достигнутого под 6 слоями модельной стопы, и максимального отличия пурпурного оттиска с плотностью заполнения растрового поля исходного оттиска 50%, достигнутого под 8 слоями модельной стопы Столетова.

Ключевые слова: Плеохроизм, многослойная пленка, полипропилен, поляризованный свет, триадная краска, струйная печать, модельная стопа, защитный элемент.

Color-shifting effects when printing with triadic inks on multilayer packaging made of transparent polypropylene film

Yulia S. Vasina [1] ytimchenko@inbox.ru 0009-0005-7874-0935
Viktor A. Rod [1] vikdor.andreevich@mail.ru 0009-0008-8333-4749
Yana V. Avdeeva [1] ioan-na20040913@ya.ru 0009-0003-8994-0006
Aleksandr P. Kondratov [1] apkrezerv@mail.ru 0000-0001-6118-0808

1 Moscow Polytechnic University, Bolshaya Semenovskaya st., 38, Moscow, 107023, Russia.

Abstract. Color reproduction on transparent multilayer films has a wide range of applications in the packaging production. In case of using multi-layer films as decorative or protective elements in packaging production, deviations may occur in color reproduction process due to the pleochroism in multilayer polymeric materials. The purpose of the work is Determination of the conditions of the color effect and measuring the parameters of it in the passing polarized light on film materials with the effect of pleochroism. The object of the study was the model Stoletov pile 77 cm long, 40 cm wide, consisting of 13 layers of polypropylene. Magenta and yellow ink layers were applied to the considered sample in the form of stripes by jet printing UV-curing inks and subsequent photofixation of the examinations was studied. The color difference Δε was calculated by processing photos in the Paint 3D program, followed by the translation of color coordinates from the RGB color space into the Lab system. Subsequently, the δε was calculated between the original sample and the sample placed under the Stoletov pile between two polarized films. The results of the work were the establishment of qualitative and quantitative differences in the color of the translucent layers of CMYK on the multi -layer film of polypropylene in the natural and polarized light, as well as the determination of the maximum calculated difference achieved for yellow with natural and polarized lighting under 12 layers of the Model pile, the maximum difference between the Cian color with the density of filling the halftone area of the print 50%, reached under 6 layers of the model pile, and the maximum difference between the magenta sample with the density of filling the halftone area 50%reached under 8 layers of the model pile.

Keywords: Pleochroism, multilayer film, polypropylene, polarized light, CMYK printing, inkjet print, model pile, security printing.

Для цитирования
Васина Ю.А., Род В.А., Авдеева Я.В., Кондратов А.П. Цветопеременные эффекты при печати триадными красками на многослойной упаковке из прозрачной пленки полипропилена // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 255–261. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-255-261

For citation
Vasina Yu.A., Rod V.A., Avdeeva Y.V., Kondratov A.P. Color-shifting effects when printing with triadic inks on multilayer packaging made of transparent polypropylene film. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 255–261. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-255-261

© 2025, Васина Ю.А. и др. / Vasina Yu.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Очевидна необходимость повышения качества и привлекательности полимерной упаковки товаров в условиях конкуренции отечественных и зарубежных производителей. Новые возможности в этом открываются с появлением новых запечатываемых материалов, обладающих особыми механическими и оптическими свойствами. В связи с этим весьма актуальным являются изучение и реализация новых цветовых решений при печати полупрозрачными триадными красками на новых пленочных материалах с эффектом плеохроизма.

Многоцветная маркировка товаров обеспечивает безопасность потребителя и, что не менее важно, защиту материальных и репутационных интересов предприятий производителей продукции [1–3]. Многоцветные оптические метки на этикетках и ярлыках видны невооруженным глазом и способствуют быстрой и надежной идентификации упакованного продукта или изделия [4].

В странах с передовой технологией производства и переработки синтетических полимеров в США и КНР [5,6] разработаны запатентованные пленочные материалы и покрытия, характеризующиеся яркими, изменяющимися в зависимости от угла обзора цветами. Изменения или размытия цвета объектов в зависимости от угла зрения наиболее часто используются для создания светового сигнала человеку об опасности и оперативного извещения о чем-либо (например, наружная реклама и световой сигнал на дороге, меняющий цвет при обзоре из движущегося автомобиля), а также упаковочном производстве и дизайне объектов различного назначения. В случае косого угла образец пленки показывает желто-зеленый, пока есть бумага, а без бумаги желтый. Пример запатентованного цветного материала, показанный в таблице, иллюстрирует различие цветов отпечатка, изготовленного на прозрачной пленке в зависимости от того, есть ли под ним белая бумага или нет (таблица 1).

Таблица 1.

Цвета пленочных полимерных покрытий

Table 1.

Colors of polymer film coatings

Образец | Sample	Подложка (бумага) | Substrate (Paper)	Цвет при вертикальном падении (90°) | Color under vertical illumination (90°)	Цвет в обзоре под углом (30°) | Color at angled view (30°)
1	Нет | No	Насыщенно-красный | Deep red	Желтый | Yellow
2	Да | Yes	Насыщенно-красный | Deep red	Зелено-желтый | Green-yellow
3	Нет | No	Желтый | Yellow	Прозрачный | Transparent
4	Да | Yes	Желтый | Yellow	Фиолетово-белый | Violet-white

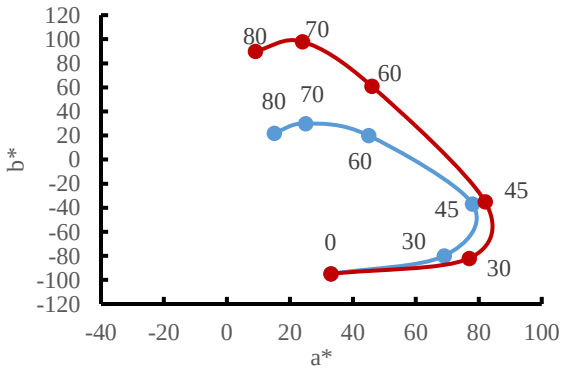


Рисунок 1. Координаты цвета пленок в зависимости от угла зрения [5]

Figure 1. Color coordinates of films depending on the viewing angle [5]

Для изготовления таких многослойных оптически активных пленок методом совместной экструзии используют различные полимерные материалы. Особый интерес представляют двулучепреломляющие полимеры, запатентованные под названием «Модифицированные сополиэфиры и улучшенные многослойные отражающие пленки» [7]. Существует несколько условий, которые должны быть выполнены для изготовления многослойных оптических пленок. Во-первых, эти пленки должны состоять из двух или более различных полимеров. Во-вторых, один из полимеров, образующих слоистый материал, называемый «первым полимером», должен иметь наибольшее абсолютное значение оптического коэффициента механического напряжения и способен развивать двулучепреломление при растяжении. В-третьих, первый полимер должен быть способен сохранять двупреломление после ориентационной вытяжки, так как его оптические свойства придаются многослойной пленке. В-четвертых, другой полимер, называемый «вторым полимером», должен быть выбран таким образом, чтобы в готовой многослойной пленке его показатель преломления значительно отличался от показателя преломления первого полимера [8,9].

Цель – определение условий получения и измерение параметров цветопеременного эффекта в проходящем поляризованном свете при струйной печати триадными красками на пленочных материалах с эффектом плеохроизма.

Материалы и методы

Многослойные пленки полипропилена имеют в поляризованном свете различную окраску, определяющуюся числом и толщиной слоев. Координаты цвета в цветовом пространстве

(окраска в проходящем и отраженном поляризованном свете) значительно изменяются при размещении окрашенных материалов внутри прозрачных слоев [10,11]. Для проведения исследования изготовлена модельная стопа Столетова длиной 77 см, шириной 40 см из 13 слоев полипропилена. На исследуемый образец стопы Столетова со стороны самого длинного отрезка ленты (№ 1) наносили слои краски пурпурного и желтого цвета различной плотности в форме полосы (рисунок 2 и 3).

Рисунок 2. Схема нанесения краски на многослойную пленку

Figure 2. Order of ink application on a multilayer film

Полосу полупрозрачной краски наносили на пленку методом струйной печати в принтере Epson i3200 с отверждением отпечатка УФ излучением.

Получали полосы краски на пленке с площадью заполнения растрового поля от 10 % до 100 %.

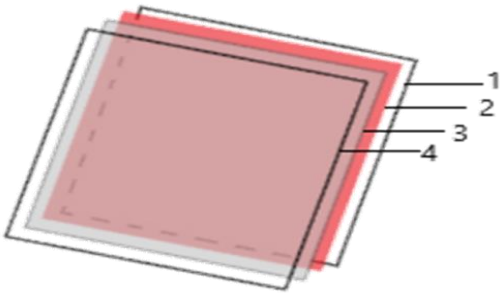


Рисунок 3. Схема укладки пленок в стопе Столетова. 1, 4 – поляризатор; 2 – образец ДОПП пленки со слоем краски; 3 – «n» слой стопы Столетова

Figure 3. Arrangement of films in the Stoletov pile. 1, 4 – polarizer; 2 – BOPP film sample with ink layer; 3 – «n» layer of the Stoletov pile

Фотофиксация производилась следующим образом: оптическая ось объектива проходила через центр объекта, а фокальная плоскость фотокамеры при съемке располагалась параллельно поверхности снимаемого объекта. Р3 – цветовой профиль фотокамеры, ее цветовой охват составлял 45,5 % от видимого человеком.

Обработка фотографий произведена в программе Paint 3D, с последующим переводом цветовых координат из цветового пространства RGB в систему Lab, с помощью конвертера. По полученным данным вычислено цветовое различие ΔE [12].

Цветовое различие вычислялось между цветом исходного образца и цветом образца, помещенного под стопу Столетова между двумя поляризаторами. Цветовое различие вычислялось между цветом слоя краски и цветом запечатанной (окрашенной) части пленки (полосы) над каждым фрагментом стопы Столетова, располагаемой между двумя поляризаторами [10].

Результаты и обсуждение

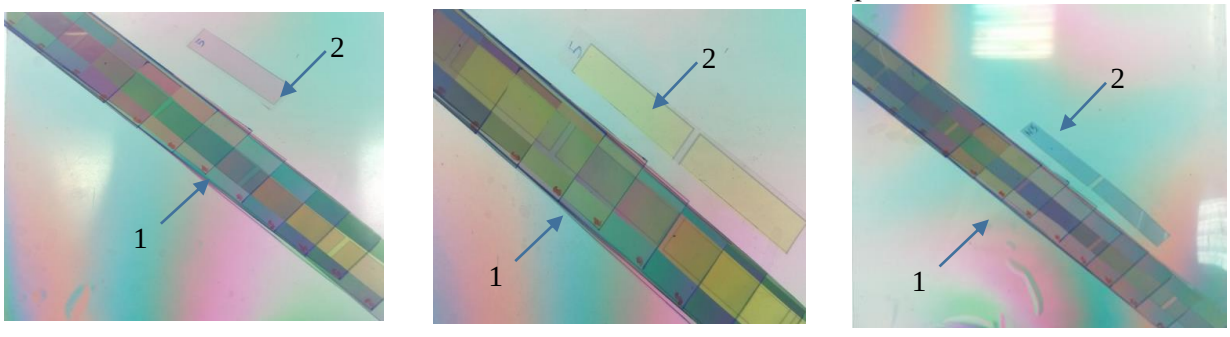
По фотографиям (рисунок 4) в программе Paint 3D определены цветовые характеристики по формуле

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_2)^2}$$

где L* – светлота, a* – координаты красно-зеленого оттенка, b* – координаты желто-синего оттенка, согласно цветовому пространству CIE1976 L • a • b* [12]. Индексы представляют цветовые значения CIELab двух цветов

Вычислено цветовое различие пленок с оттисками голубого, пурпурного и желтого цветов в обычном потоке света (столбец «0») и пакетов из 1–12 пленок ДОПП (столбцы «1–11») в проходящем потоке поляризованного света.

Проходящий поток поляризованного света получен путем расположения пленочного поляризатора и анализатора под углом 45°, часть данных представлена в таблице 2.



a b c

Рисунок 4. Фото (на просвет) отпечатков плашек краской голубого (a) пурпурного (b) и желтого (c) цветов на многослойной пленке ДОПП (полоса по центру) с плотностью заполнения 50 %. Вид отпечатков в поляризованном свете (1) и при нормальном освещении (2)

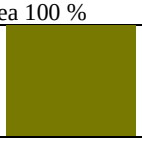
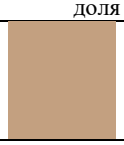
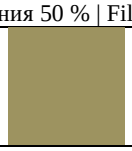
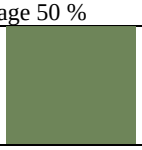
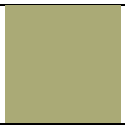
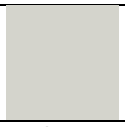
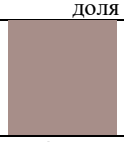
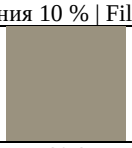
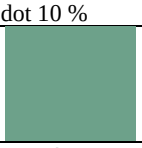
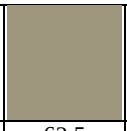
Figure 4. Backlit photo of cyan (a), magenta (b), and yellow (c) ink patches on a multilayer BOPP film (central strip) with 50 % fill density. Views under polarized light (1) and normal lighting (2)

Таблица 2.

Вид (фотографии) и координаты цвета оттисков желтой краски на пленке ДОПП с разной долей площади заполнения растрового поля (%)

Table 2.

Appearance (photographs) and color coordinates of yellow ink impressions on BOPP film with filling the halftone area of the print (%)

Количество слоев | Number of layers								
	0	1	3	4	6	8	9	11
доля площади заполнения 100 % | Filling halftone area 100 %								
								
L	65,8	66,3	52,0	53,2	54,9	49,4	51,1	54,2
a	-16,4	-15,7	-12,8	1,0	-17,5	-7,6	-15,5	-15,5
b	48,3	48,3	37,9	42,4	44,9	42,8	43,1	45,4
ΔE		0,9	17,6	22,2	11,5	19,4	15,6	11,9
доля площади заполнения 50 % | Fill density percentage 50 %								
								
L	84,3	68,5	54,4	60,9	65,5	52,8	62,8	68,7
a	-6,0	8,0	-26,7	-1,5	-4,2	-11,9	-10,8	-4,9
b	16,9	17,5	17,6	22,7	21,5	16,8	25,6	21,5
ΔE		21,2	36,4	24,6	19,5	32,0	23,8	16,4
доля площади заполнения 10 % | Filling the halftone dot 10 %								
								
L	84,7	61,2	59,6	60,9	65,5	62,1	62,5	59,2
a	-0,9	7,3	–22,3	0,5	-4,9	-17,5	-0,5	-5,8
b	3,2	5,1	7,4	9,0	8,8	5,0	11,8	9,6
ΔE		25,0	33,3	24,6	20,5	28,2	23,8	26,8

В таблице представлены модельные изображения и цветовые характеристики оттисков желтой триадной краски на полипропиленовой пленке с долей площади заполнения растрового поля 10, 50 и 100 % соответственно, полученные путем фотографирования образцов пленки ДОПП, последовательно размещенных между слоев модельной стопы Столетова в проходящем потоке линейно-поляризованного света, и последующем программном анализе изображений. Аналогичным образом были проанализированы оптические свойства многослойных пленок, полученных нанесением пурпурной и голубой красок.

По результатам вычислений построен график зависимости цвета отпечатков с максимальной площадью заполнения растрового поля (100 %) при естественном освещении от цвета этих же отпечатков, но в поляризованном свете в многослойной упаковке (пакете) от количества слоев прозрачных пленок ДОПП.

Максимальное различие цвета оттисков с относительной площадью заполнения растрового поля 50 % желтой краской установлено на 12 слоях стопы Столетова ΔE = 86,73 (рисунок 5 и 6).

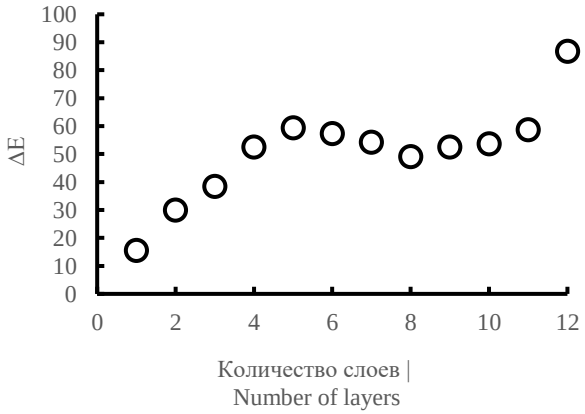


Рисунок 5. Отличие желтого цвета отпечатков со средней долей площади заполнения растрового поля (50 %) при естественном освещении от цвета отпечатков на многослойной пленке в поляризованном свете

Figure 5. Difference in yellow color images with filling the halftone area 50 under natural lighting versus color on multilayer film under polarized light

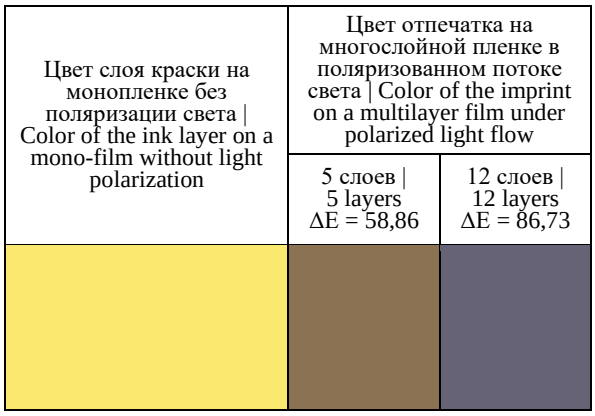


Рисунок 6. Цвета отпечатка желтой краской на многослойной пленке при нормальном освещении и в поляризованном потоке света соответственно

Figure 6. Colors of yellow ink printings on multilayer film under normal lighting and polarized light, respectively

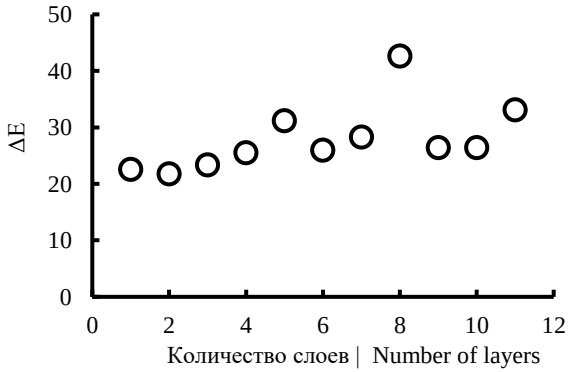


Рисунок 7. График зависимости ΔE пурпурного цвета от количества слоев пленки стопы Столетова (50 % плотность)

Figure 7. Graph of ΔE dependence for magenta color on the number of layers in the Stoletov pile (50 % density)

Максимальное различие цвета оттисков с относительной площадью заполнения растрового поля 50 % пурпурной краской установлено на 8 слоях стопы Столетова ΔE = 42,65 (рисунок 7 и 8).

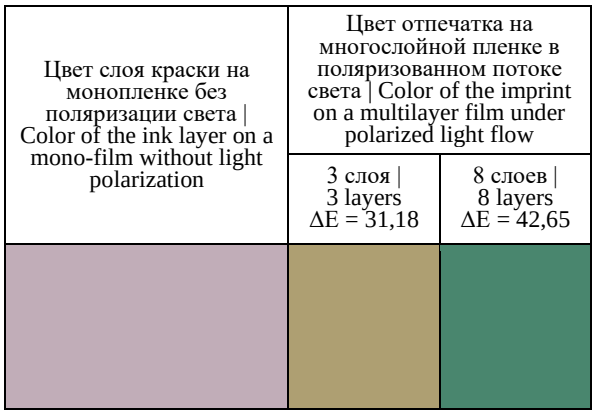


Рисунок 8. Цвета отпечатка пурпурной краской на многослойной пленке при нормальном освещении и в поляризованном потоке света соответственно

Figure 8. Colors of magenta ink printings on multilayer film under normal lighting and polarized light, respectively

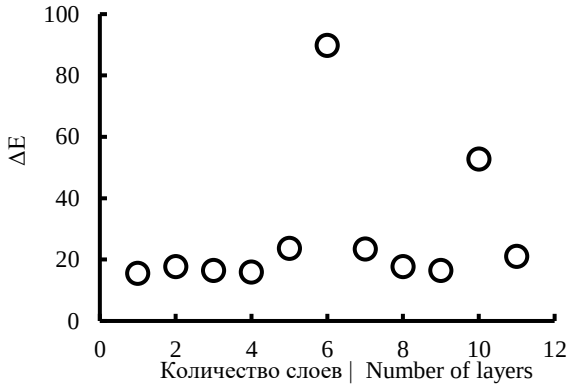


Рисунок 9. График зависимости ΔE голубого цвета от количества слоев пленки стопы Столетова (50 % плотность)

Figure 9. Graph of ΔE dependence for cyan color on the number of layers in the Stoletov pile(50 % density)

Максимальное различие цвета оттисков относительной площадью заполнения растрового поля 50 % голубой краской установлено на 6 слоях стопы Столетова ΔE = 89,80 (рисунок 9 и 10).

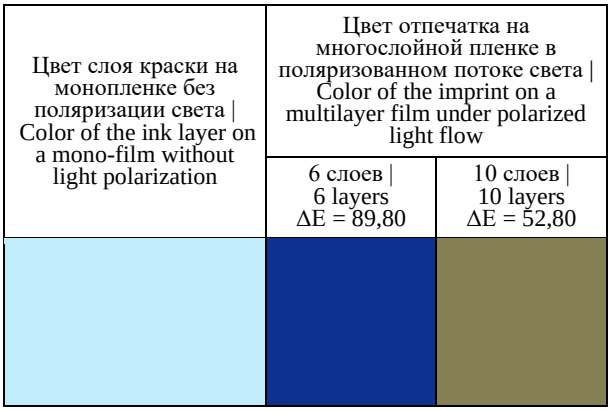


Рисунок 10. Цвета отпечатка голубой краской на многослойной пленке при нормальном освещении и в поляризованном потоке света соответственно

Figure 10. Colors of cyan ink impressions on multilayer film under normal lighting and polarized light, respectively

Заключение

Установлены качественные и количественные отличия цвета полупрозрачных слоев триадных красок на многослойной пленке полипропилена в натуральном и поляризованном потоках проходящего света. Цвет пурпурной краски на 8-слойной пленке в поляризованном свете выглядит зеленым. Цвет желтой краски в поляризованном свете за 12-слойной пленкой выглядит лиловым. Цвет голубой краски на 6-слойной пленке в поляризованном свете выглядит синим.

Светлота и цветовое различие отпечатков определенные по системе CIELab инструментально и по фотографиям, совпадают и находятся в периодической зависимости от количества слоев запечатываемой пленки.

Максимальное расчетное отличие желтого цвета при натуральном и поляризованном освещении достигнуто под 12 слоями модельной стопы Столетова с плотностью заполнения растрового поля исходного оттиска 50 %, максимальное отличие голубого цвета от исходного оттиска с плотностью заполнения растрового поля исходного оттиска 50 % достигнуто под 6 слоями модельной стопы Столетова, максимальное отличие пурпурного оттиска с плотностью заполнения растрового поля исходного оттиска 50 % от исходного достигнуто под 8 слоями модельной стопы Столетова.

Литература

1 Качественная упаковка - важный элемент системы продвижения вашего товара // ЛКМ. 2005. № 11. С. 45.

2 Вилкова С.А. Фальсификация бытовых химических товаров: проблемы, виды и способы // ЛКМ. 2003. № 2-3. С. 71.

3 Вилкова С.А. Порядок идентификации при выявлении подлинности товаров бытовой химии // ЛКМ. 2003. № 4. С. 36-38.

4 Веснина С.Н., Неустроева А.В., Степанюгин К.В. Новые технологии защитных элементов австралийского доллара как средство профилактики фальшивомонетничества // Общество: политика, экономика, право. 2020.

5 Пат. CN1293613A (КНР). Цветоизменяющая пленка / Вебер М.Ф., Невитт Т.Дж., Меррилл У.У. № 2001-05-02. URL: https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/021721628/publication/CN1293613A

6 Пат. US2003035972A1 (США). Многослойные полимерные пленки и другие оптические тела, которые полезны для изготовления цветных зеркал и поляризаторов. URL: https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/021721628/publication/US2003035972A1

7 Oleari C. Optical Thin Films and Coatings // Electronic and Optical Materials. Parma, Italy: Woodhead Publishing Series, 2013. С. 391-424.

8 Кричевский Г.Е. Структурная окраска // Химия и жизнь. 2010. № 11. С. 13-16.

9 Козенков В.М., Спахов А.А., Беляев В.В., Чаусов Д.Н. Оптически анизотропные и интерференционные средства защиты: свойства, технология, применение // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2016. Т. 16. № 4. С. 9-21.

10 Николаев А.А., Ермакова И.Н., Кондратов А.П. Диапазон варьирования цвета многослойных защитных элементов упаковки из полимеров, идентифицируемой в поляризованном свете // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 12. С. 77-83.

11 Каманина Н.В., Студенов В.И., Ткачев А.Г. Тонкопленочные поляризаторы света: структурирование объема среды и модификация поверхности // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2020. Т. 20. № 4. С. 78-83.

12 Андруцкая О.М. Феерия цвета // ЛКМ. 2015. № 1-2. С. 56-59.

13 Kondratov A.P., Nikolaev A.A., Nazarov V.G., Vereshchagin V.Yu., Volinsky A.A. Design and multilevel structuring of shape memory polymers for pleochroism control // Journal of Applied Polymer Science. 2023. Т. 140. № 41. doi: 10.1002/app.54532.

14 Li G., Leng M., Wang S., Ke Y., Luo W., Ma H., Guan J., Long Y. Printable structural colors and their emerging applications // Materials Today. 2023. Vol. 69. P. 133-159. doi: 10.1016/j.mattod.2023.08.022.

15 Николаев А.А., Кондратов А.П. Скрытая маркировка прозрачной пленки полипропилена // Тонкие химические технологии. 2022. Т. 17. № 4. С. 346-356. doi: 10.32362/2410-6593-2022-17-4-346-356.

16 Das B., Mohanty S. A comprehensive review on piezoelectric inks: From concept to application // Sensors and Actuators A: Physical. 2024. Vol. 366. P. 114939. doi: 10.1016/j.sna.2023.114939.

17 Rafiei A., Karimi A., Bodaghi M. Polymer Banknotes: A Review of Materials, Design, and Printing // Sustainability. 2023. Vol. 15. No. 4. P. 3736. doi: 10.3390/su15043736.

18 The influence of printing substrate on colorimetric properties of thermochromic offset prints // Acta Graphica. 2019. Vol. 29. No. 3. P. 7-13. doi: 10.25027/agj2017.28.v29i3.161.

19 Yoon B., Ham D.-Y., Yarimaga O., An H., Lee C.W., Kim J.-M. Inkjet Printing of Conjugated Polymer Precursors on Paper Substrates for Colorimetric Sensing and Flexible Electrothermochromic Display // Advanced Materials. 2011. Vol. 23. No. 46. P. 5492-5497. doi: 10.1002/adma.201103471.

20 Solomonov A., Kozell A., Tesler A., Pinkas I., Walensky S., Shimanovich U. Flexible Soft-Printed Polymer Films with Tunable Plasmonic Properties // ACS Materials Au. 2023. Vol. 3. doi: 10.1021/acsmaterialsau.3c00023.

References

1 Quality Packaging as an Important Element of Product Promotion Strategy. LKM. 2005. no. 11. p. 45. (in Russian)

2 Vilkova S.A. Counterfeiting of Household Chemical Goods: Problems, Types and Methods. LKM. 2003. no. 2-3. p. 71. (in Russian)

3 Vilkova S.A. Identification Procedure for Authenticity of Household Chemical Products. LKM. 2003. no. 4. p. 36 38. (in Russian)

4 Vesnina S.N., Neustroeva A.V., Stepanyugin K.V. New Security Features Technologies of Australian Dollar as Counterfeit Prevention Measure. Society: Politics, Economics, Law. 2020. (in Russian)

5 Weber M.F., Nevitt T.J., Merrill W.W. Color-Changing Film. Patent CN1293613A, 2001-05-02. Available at: https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/021721628/publication/CN1293613A

6 Color Shifting Film Articles (Multilayer Polymer Films and Other Optical Bodies Useful for Making Colored Mirrors and Polarizers). Patent US2003035972A1. Available at: https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/021721628/publication/US2003035972A1

7 Oleari C. Optical Thin Films and Coatings. In: Electronic and Optical Materials. Parma, Italy: Woodhead Publishing Series, 2013. p. 391-424.

8 Krichevsky G.E. Structural Coloring. Chemistry and Life. 2010. no. 11. p. 13-16. (in Russian)

9 Kozenkov V.M., Spakhov A.A., Belyaev V.V., Chausov D.N. Optically Anisotropic and Interference Security Features: Properties, Technology, Applications. Liquid Crystals and Their Practical Applications. 2016. vol. 16, no. 4. p. 9-21. (in Russian)

10 Nikolaev A.A., Ermakova I.N., Kondratov A.P. Color Variation Range of Multilayer Polymer Packaging Security Elements Identifiable in Polarized Light. Proceedings of Tula State University. Technical Sciences. 2017. no. 12. p. 77-83. (in Russian)

11 Kamanina N.V., Studentov V.I., Tkachev A.G. Thin-Film Light Polarizers: Medium Structuring and Surface Modification. Liquid Crystals and Their Practical Applications. 2020. vol. 20, no. 4. p. 78-83. (in Russian)

12 Andrutskaya O.M. Color Spectacle. LKM. 2015. no. 1-2. p. 56-59. (in Russian)

13 Kondratov A.P., Nikolaev A.A., Nazarov V.G., Vereshchagin V.Yu., Volinsky A.A. Design and Multilevel Structuring of Shape Memory Polymers for Pleochroism Control. Journal of Applied Polymer Science. 2023. vol. 140, no. 41. doi: 10.1002/app.54532.

14 Li G., Leng M., Wang S., Ke Y., Luo W., Ma H., Guan J., Long Y. Printable Structural Colors and Their Emerging Applications. Materials Today. 2023. vol. 69. p. 133-159. doi: 10.1016/j.mattod.2023.08.022.

15 Nikolaev A.A., Kondratov A.P. Hidden Marking of Transparent Polypropylene Film. Fine Chemical Technologies. 2022. vol. 17, no. 4. p. 346-356. doi: 10.32362/2410-6593-2022-17-4-346-356. (in Russian)

16 Das B., Mohanty S. A Comprehensive Review on Piezoelectric Inks: From Concept to Application. Sensors and Actuators A: Physical. 2024. vol. 366. p. 114939. doi: 10.1016/j.sna.2023.114939.

17 Rafiei A., Karimi A., Bodaghi M. Polymer Banknotes: A Review of Materials, Design, and Printing. Sustainability. 2023. vol. 15, no. 4. p. 3736. doi: 10.3390/su15043736.

18 The Influence of Printing Substrate on Colorimetric Properties of Thermochromic Offset Prints. Acta Graphica. 2019. vol. 29, no. 3. p. 7-13. doi: 10.25027/agj2017.28.v29i3.161.

19 Yoon B., Ham D.-Y., Yarimaga O., An H., Lee C.W., Kim J.-M. Inkjet Printing of Conjugated Polymer Precursors on Paper Substrates for Colorimetric Sensing and Flexible Electrothermochromic Display. Advanced Materials. 2011. vol. 23, no. 46. p. 5492-5497. doi: 10.1002/adma.201103471.

20 Solomonov A., Kozell A., Tesler A., Pinkas I., Walensky S., Shimanovich U. Flexible Soft-Printed Polymer Films with Tunable Plasmonic Properties. ACS Materials Au. 2023. vol. 3. doi: 10.1021/acsmaterialsau.3c00023.

Сведения об авторах

Юлия А. Васина к.т.н., доцент, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, д. 38, г. Москва, 107023, Россия, ytimchenko@inbox.ru
https://orcid.org/0009-0005-7874-0935

Виктор А. Род студент, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, д. 38, г. Москва, 107023, Россия, vikdor.andreevich@mail.ru
https://orcid.org/0009-0008-8333-4749

Яна В. Авдеева студент, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, д. 38, г. Москва, 107023, Россия, ioan-na20040913@ya.ru
https://orcid.org/0009-0003-8994-0006

Александр П. Кондратов д.т.н., профессор, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, д. 38, г. Москва, 107023, Россия, apkrezerv@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6118-0808

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

Yulia S. Vasina Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, innovative materials printmedia industry department, Moscow Polytechnic University, Bolshaya Semenovskaya st., 38, Moscow, 107023, Russia, ytimchenko@inbox.ru
https://orcid.org/0009-0005-7874-0935

Viktor A. Rod student, innovative materials printmedia industry department, Moscow Polytechnic University, Bolshaya Semenovskaya st., 38, Moscow, 107023, Russia, vikdor.andreevich@mail.ru
https://orcid.org/0009-0008-8333-4749

Yana V. Avdeeva student, innovative materials printmedia industry department, Moscow Polytechnic University, Bolshaya Semenovskaya st., 38, Moscow, 107023, Russia, ioan-na20040913@ya.ru
https://orcid.org/0009-0003-8994-0006

Aleksandr P. Kondratov Dr. Sci. (Engin.), professor, innovative materials printmedia industry department, Moscow Polytechnic University, Bolshaya Semenovskaya st., 38, Moscow, 107023, Russia, apkrezerv@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6118-0808

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 11/03/2025	**После редакции** 18/04/2025	**Принята в печать** 20/04/2025

Received 11/03/2025	**Accepted in revised** 18/04/2025	**Accepted** 20/04/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-262-267 Оригинальная статья/Research article
УДК 678.742.2 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Исследование влияния поверхности оксида цинка на вулканизацию полидиенов

Александр А. Голякевич [1] sasha4292@ya.ru 0000-0003-4206-8874
1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Проведены испытания комплексных активаторов вулканизации с содержанием оксида цинка 30 масс. % на основе бентонита марки П1Т$_2$ и цинковых белил с различной площадью удельной поверхности. Исследованы вулканизационные и упруго-прочностные свойства опытных и эталонных резиновых смесей на основе каучука СКИ-3 и их вулканизатов. Опытные резиновые смеси получены путём замены традиционной активаторной системы (оксид цинка (5 масс. ч.) и стеариновая кислота (2 масс.ч.)) на комплексный активатор вулканизации (5 масс. ч.). Установлено, что минимальный крутящий момент у опытных смесей был ниже, что свидетельствует о хороших технологических свойствах опытных резиновых смесей. Время оптимума и скорость вулканизации были выше у эталонных образцов. Образцы комплексных активаторов вулканизации, содержащие частицы оксида цинка с удельной поверхностью от 5,2 до 18,1 м^2/г характеризовались большей устойчивостью к преждевременной вулканизации. Установлено, что применение комплексных активаторов вулканизации позволяет сократить общее время изготовления резиновых смесей и вулканизатов. Упруго-прочностные показатели опытных резин в присутствии комплексных активаторов вулканизации находились на уровне эталонных. Стоит отметить лучшие показатели относительного удлинения при разрыве для опытных образцов. Установлено, что комплексный активатор вулканизации со сниженным содержанием оксида цинка и удельной поверхностью частиц оксида цинка от 4 до 7,5 м^2/г мм обеспечивают лучший комплекс физико-механических свойств и могут быть рекомендованы к практическому использованию в составе резиновых смесей, что позволит снизить содержание токсичного для окружающей среды оксида цинка и улучшить технико-эксплуатационные показатели резиновых изделий.

Ключевые слова: комплексный активатор вулканизации, резиновая смесь, вулканизаты, цинковые белила

Investigation of zinc oxide surface effect on polydienes vulcanization

Alexander A. Golyakevich [1] sasha4292@ya.ru 0000-0003-4206-8874
1 Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Tests were carried out of complex vulcanization activators containing 30 wt. % zinc oxide based on P1T$_2$ bentonite and zinc oxide with different specific surface areas. Vulcanization and elastic-strength properties of experimental and reference rubber compounds based on SKI-3 rubber and their vulcanizates were investigated. The experimental rubber compounds were obtained by replacing the traditional activator system (zinc oxide (5 parts by weight) and stearic acid (2 parts by weight)) with a complex vulcanization activator (5 parts by weight). It was found that the minimum torque in the experimental compounds was lower, which indicates good technological properties of the experimental rubber compounds. The optimum time and vulcanization rate were higher in the reference samples. Samples of complex vulcanization activators containing zinc oxide particles with a specific surface area from 5.2 to 18.1 m^2/g were characterized by greater resistance to premature vulcanization. It has been established that the use of complex vulcanization activators allows to reduce the total time of manufacturing rubber compounds and vulcanizates. The elastic-strength indicators of the experimental rubbers in the presence of complex vulcanization activators were at the level of the reference ones. It is worth noting the best indicators of relative elongation at break for the experimental samples. It has been established that a complex vulcanization activator with a reduced content of zinc oxide and a specific surface area of zinc oxide particles from 4 to 7.5 m^2/g mm provides the best set of physical and mechanical properties and can be recommended for practical use in rubber compounds, which will reduce the content of toxic zinc oxide for the environment and improve the technical and operational indicators of rubber products.

Keywords: complex vulcanization activator, rubber compound, vulcanizates, zinc white

Введение

В технологии производства шин и резинотехнических изделий в качестве полимерной основы наиболее широко используются ненасыщенные каучуки, для сшивания которых применяется серно-ускорительная вулканизующую группу [1]. Получение высококачественных изделий, отвечающих эксплуатационным требованиям, невозможно без использования широкой номенклатуры химических веществ в рецептурах резин. На сегодняшний день современные технологии производства резиновых изделий требуют не только разработки новых соединений, но и повышения эффективности использования в рецептурах уже применяемых ингредиентов, улучшения технологичности, снижения энергозатрат и минимизацию экологической нагрузки на всех стадия жизненного цикла эластомера.

Для цитирования

Голякевич А.А. Исследование влияния поверхности оксида цинка на вулканизацию полидиенов // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 262–267. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-262-267

For citation

Golyakevich A.A. Investigation of zinc oxide surface effect on polydienes vulcanization. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 262–267. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-262-267

© 2025, Голякевич А.А. и др. / Golyakevich A.A. et al.

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

В большинстве рецептур на основе диеновых каучуков оксид цинка (ZnO) применяется в качестве активатора серной вулканизации и участвует в образовании сшитой структуры эластомера, за счёт формирования промежуточного активного комплекса из компонентов вулканизующей группы (серы, ускорителя и активаторов вулканизации) – действительного агента вулканизации (ДАВ) [1, 2].

Авторами [3, 4] определена структура промежуточного комплекса (рисунок 1), образованного между ZnO и стеариновой кислотой состоящая из двухмостиковых бидентатных лигандов стеариновой кислоты, координированных с двумя ионами цинка с молярным соотношением «Zn : стеариновая кислота», равным 1:1. Структура комплекса представляет собой $(Zn_2(\mu\text{-}O_2\,CC_{17}\,H_{35})_2)^2{+}(OH\text{-})_2{\cdot}XV$, где X и Y – либо два каучуковых сегмента, или молекула воды и один каучуковый сегмент, или две молекулы воды в качестве лигандов.

Способность цинковых белил образовывать ДАВ зависит от кристаллической структуры, площади удельной поверхности. Предполагается, что увеличение площади удельной поверхности оксида цинка может обеспечить высокие физико-механические и вулканизационные показатели при сниженном его содержании [5].

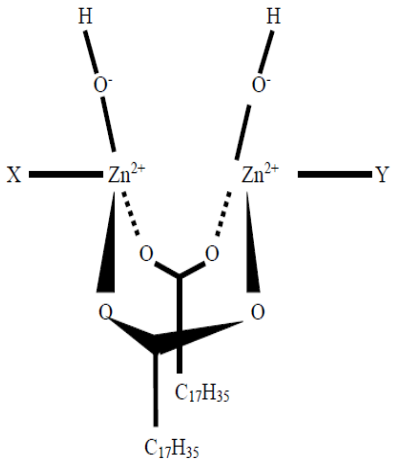


Рисунок 1. Структура двухъядерного типа, соединяющая бидентатный комплекс цинк / стеарат

Figure 1. The binuclear type structure connecting the bidentate zinc/stearate complex

Известно [6], что образование ДАВ происходит только на поверхности кристалла оксида цинка (ZnO), поэтому применение цинковых белил с высокой удельной поверхностью способствует увеличению количества центров формирования вулканизационных узлов пространственной сетки вулканизата и позволяет получать резины с более высокой концентрацией поперечных связей. Однако цинковые белила плохо диспергируются при смешении в каучуке и имеют склонность к агломерации, а образующиеся поперечные связи могут быть неоднородными, локализованными, вулканизаты могут иметь области с сильно сшитыми и несшитыми участками, что приводит к снижению физико-механических показателей резин.

При производстве резинотехнических изделий особую актуальность приобретает задача снижения содержания соединений цинка в рецептурах резиновых смесей, в том числе за счёт создания компонентов для вулканизации с пониженным содержанием цинка [7]. Последние исследования показали, что для обеспечения экологически безопасных показателей эластомеров содержание ZnO не должно превышать 1 масс. %, однако, в этом случае снижаются физико-механические показатели резин.

Одним из путей решения этой проблемы является получение премиксов на основе оксида цинка. В работах [8–10] представлены результаты исследований по созданию комплексного активатора вулканизации (КАВ) на основе оксида цинка, жирных кислот и наполнителей, применение которых позволяет не только улучшить технологичность резиновых смесей, но и снизить содержание оксида цинка при замене стандартной активационной группы, улучшить диспергируемость продукта.

Целью работы являлось изучение возможности применения в комплексном активаторе вулканизации оксида цинка, отличающегося от стандартизованных цинковых белил марки БЦОМ (ГОСТ 202–84) площадью удельной геометрической поверхности, при сохранении требуемых вулканизационных характеристик и физико-механических показателей готовых резиновых изделий.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования применяли КАВ на основе бентонита марки $П1Т_2$, стеариновой кислоты и цинковых белил производства НПО «Белхим» с разной удельной геометрической поверхностью следующих марок – БЦ0М (марка А) – 4,4 $м^2/г$, БЦ0М – 5,2 $м^2/г$ (ГОСТ 202–74), БЦ0М Актив-1 – 7,5 $м^2/г$, «ЭО-1» – 18,1 $м^2/г$.

Опытные активаторы вулканизации, которые характеризовались пониженным содержанием оксида цинка (30 % масс), были получены на лабораторной установке, оборудованной обогреваемым реактором и высокоскоростной

мешалкой. В процессе получения КАВ осуществлялась дробная подача компонентов, температуру синтеза поддерживали в диапазоне ±10 °С, скорость вращения мешалки 600 мин$^{-1}$, продолжительность синтеза 1 ч. Полученную пастообразную массу КАВ охлаждали в эксикаторе до комнатной температуры и измельчали в лабораторной мельнице [10].

Для изучения влияния полученных КАВ на вулканизационные свойства резиновых смесей и физико-механические показатели резин разработаны модельные рецептуры на основе стереорегулярного каучука СКИ-3 (ГОСТ 14925–79). Резиновые смеси готовили в лабораторном микросмесителе с объёмом камеры 0,01 м^3. В качестве эталонна использовали резиновую смесь, содержащую (масс. ч. на 100 масс. ч. каучука): сера – 2 масс. ч.; стеариновая кислота – 1,5 масс. ч.; цинковые белила – 5 масс. ч. тех же марок, что и при синтезе КАВ; ускоритель вулканизации сульфенамид Ц – 3 масс. ч; технический углерод П 514 – 60 масс. ч. Эталонным смесям присвоили следующие шифры: Э – 4,4; Э – 5,2; Э – 7,5; Э – 18,1. Опытные резиновые смеси изготавливали заменой активаторов (цинковых белил и стеариновой кислоты) на опытные КАВ (5 масс. ч.) и присваивали шифры: Оп – 4,4; Оп – 5,2; Оп – 7,5; Оп – 18,1.

Вулканизацию проводили в вулканизационном прессе с электрическим обогревом при температуре 143 °С в течение 30 минут.

Кинетику вулканизации изучали на реометре MDR-2000 при температуре 155 °С. С помощью программного обеспечения «GetData Graph Digitizer», полученные реометрические кривые оцифровывали, а в программе «Vulcanization 1.0» определяли константы скорости вулканизации.

Согласно ГОСТ 269–66 были подготовлены образцы и проведен комплекс физико-механических испытаний по определению упруго прочностных свойств вулканизатов (ГОСТ 270–75), твёрдость по Шору А (ГОСТ 263–75), эластичность по отскоку (ГОСТ 27110–86).

Концентрацию поперечных связей резин определяли методом равновесного набухания в толуоле [11].

Результаты и обсуждение

На первом этапе изучали вулканизационные свойства изготовленных резиновых смесей. Установлено (таблица 1), что M_{min} (рисунок 2) эталонных резиновых смесей с цинковыми белилами, удельная площадь которых составляла 4,4 и 5,2 м^2/г на 11,5 % выше, чем опытных резиновых смесей, а у образцов Э–7,5 и 18,1 значения показателя снижались более, чем на 37 %.

Это может свидетельствовать о худшем диспергировании частиц цинковых белил в эталонных смесях и их агломерации.

Значения показателя M_{max} (рисунок 2) у опытных образцов было ниже на 5–8 %, что может свидетельствовать о пластицирующем действии бентонита на каучук в составе КАВ.

Индукционный период (рисунок 3) t_s, характеризующий стойкость резин к преждевременной вулканизации для эталонных образцов Э–4,4 и Э–5,2 был выше на 1,29 и на 0,44 мин., соответственно, но с увеличением удельной площади частиц цинковых белил значения резко снижались, и были ниже чем у опытных образцов.

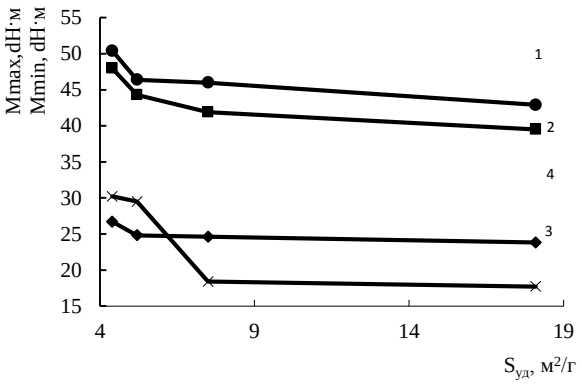


Рисунок 2. Зависимости максимального и минимального крутящего моменты M_{max} (1 и 2) и M_{min} (3 и 4) от удельной поверхности ZnO в активаторе вулканизации:); 1, 3 – эталон 2, 4 – опытные

Figure 2. Dependences of the maximum and minimum torque Mmax (1 and 2) and Mmin (3 and 4) on the specific surface of ZnO in the vulcanization activator: 1, 3 – standard 2, 4 – experimental

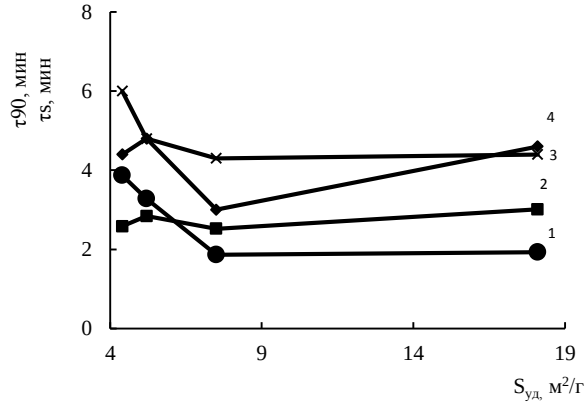


Рисунок 3. Зависимости времени начала и оптимума вулканизации τ_s (1’ и 2’) и τ_{90} (1 и 2) от удельной поверхности ZnO в активаторе вулканизации; 1,3 – эталон 2, 4 – опытные

Figure 3. Dependences of the start time and optimum of vulcanization τs (1’ and 2’) and τ90 (1 and 2) on the specific surface area of ZnO in the vulcanization activator; 1,3 – standard, 2, 4 – experimental

Таким образом, образцы с опытным КАВ с удельной поверхностью частиц ZnO от 5,2 до 18,1 м^2/г. характеризуются большей устойчивостью к преждевременной вулканизации

Оптимум вулканизации (рисунок 3) τ_{90} для опытных образцов ОП – 4,4, ОП – 7,5 был ниже, чем у эталонных с этой же удельной поверхностью. Для эталонных и опытных образцов ($S_{уд}$ = 5,2, 18,1 м^2/г) оптимум вулканизации находился на одном уровне, при этом общая скорость вулканизации опытных образцов (v_c) на 30–40 %, выше чем у эталонных.

С применением программного продукта «Vulcanization 1.0» оценены константы вулканизации. Так, скорость образования ДАВ, характеризующаяся (k_0) для опытных резиновых смесей возрастала с увеличением удельной поверхности применяемых цинковых белил, а для эталонных – наоборот, снижалась. Можно предположить, что в присутствии АВ-к взаимодействию компонентов вулканизующей группы с образованием ДАВ протекает эффективнее. Константа (k_3) соответствующая образованию узлов вулканизации между двумя цепями каучука для опытных смесей была выше, чем у эталона, что подтверждается увеличением скорости вулканизации в главном периоде. Таким образом, применение КАВ позволяет улучшить технологичность смесей и сократить время вулканизации.

Испытания упруго-прочностных свойств показало, что модуль при растяжении на 300 % для эталонных смесей был выше, чем у опытных, значения условной прочности при растяжении – сопоставимы. Значение f_p ОП – 18,1 было ниже чем у эталонного с теми же белилами. Эти результаты согласуются с данными определения структурных параметров $N_{эф}$ (рис 4), по которым отмечено незначительное снижение плотности сшивки по сравнению с эталонами. Следует отметить, что применение цинковых белил с $S_{уд}$ 5,2 м^2/ г – обусловило максимальные значения модулей при растяжении.

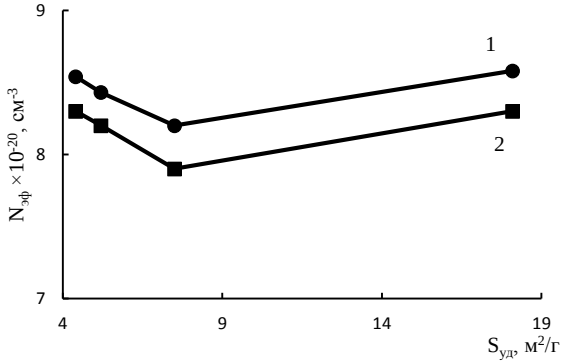


Рисунок 4. Зависимости концентрации поперечных связей $N_{эф}$ (1 и 2) от удельной поверхности ZnO в активаторе вулканизации; 1 – эталон 2 – опытные

Figure 4. Dependences of the concentration of cross-links Neff (1 and 2) on the specific surface area of ZnO in the vulcanization activator; 1 – standard, 2 – experimental

Относительное удлинение при разрыве для всех опытных образцов было выше. Наибольшее значение ε было у образцов резин, содержащих КАВ и с $S_{уд}$ 7.5 м^2/г и характеризовались более низкой плотностью сшивок.

По нашему мнению, это обусловлено тем, что цинковые белила с удельной поверхностью 4,4–7,5 м^2/г образуют оптимальное количество центров, необходимых для протекания реакций сшивания макромолекул каучука, описанных [1] в соответствии с реакциями сшивания полидиенов по гетерогенному механизму. Снижение показателя при увеличении удельной поверхности до 18,1 м^2/г может быть связано с тем, что, несмотря на увеличение активных центров, взаимодействие ДАВ с участками макромолекул менее вероятно вследствие влияния термодинамических факторов.

Таблица 1.

Вулканизационные характеристики резиновых смесей на основе каучука СКИ-3

Table 1.

Vulcanization characteristics of rubber compounds based on rubber SKI-3

Показатель Indicator	Шифры образцов (удельная геометрическая поверхность м^2/г) Sample codes (specific geometric surface area m2/g)							
	Эталон Reference				Опытные смеси Experimental mixtures			
	4,4	5,2	7,5	18,1	4,4	5,2	7,5	18,1
Mmin, дН×м | Mmin, dH×m	30,2	29,5	18,4	17,7	26,7	24,8	24,6	23,8
Mmax, дН×м | Mmax, dH×m	50,4	46,4	46,0	42,9	48,0	44,3	41,9	39,5
M90, дН·м | M90, dH·м	48,4	44,7	43,2	40,4	45,9	42,3	40,1	37,9
τ90, мин | τ90, min	6,0	4,8	4,3	4,4	4,4	4,4	3,8	4,6
τs, мин | τs, min	3,87	3,28	1,86	1,93	2,58	2,94	2,52	3,01
υc, мин$^{-1}$ | υc, min^{-1}	46,9	65,8	40,9	40,5	54,9	68,5	78,1	62,9
k_0	0,024	0,034	0,034	0,026	0,014	0,021	0,038	0,037
k_1	0,959	0,960	0,978	0,983	0,976	0,994	0,989	0,999
k_2	4,16	4,47	4,81	4,34	3,31	4,51	4,93	4,87
k_3	277	247	250	271	342	261	236	273

Таблица 2.

Физико-механические свойства резин на основе каучука СКИ-3

Table 2.

Physico-mechanical properties of rubber-based SKI-3

Показатель Indicator	Шифры образцов							
	эталонные смеси				опытные смеси			
	4,4	5,2	7,5	18,1	4,4	5,2	7,5	18,1
М300, Мпа | M300, MPa	14,4	15,3	15,2	14,7	14,7	15,2	14,9	14,4
fp, Мпа | fp, MPa	16,7	17,8	18,1	17,5	16,9	17,9	18,0	17,2
НА, усл. ед.	69	68	68	69	65	67	66	66
ε, %	343	367	407	370	395	400	417	410
Θ, %	5,3	10,0	7,3	8,0	9,3	5,3	10,0	8,0
Nэф×10^{-20}, $см^{-3}$ | Nef×10^{-20}, cm^{-3}	8,54	8,43	8,2	8,58	8,30	8,20	7,90	8,30

Заключение

Установлено, что применение цинковых белил с удельной поверхностью 5,2 до 7,5 $м^2/г$ в составе комплексного активатора вулканизации обеспечивает высокий комплекс упруго-прочностных свойств. Полученные значения показателей не уступают значениям эталонных резин.

Показатели вулканизационных характеристик резин в присутствии КАВ возрастали, тем самым подтверждено, что опытный продукт способствует сокращению времени вулканизации и общего времени изготовления резиновых изделий. Значения подтверждаются расчётными данными кинетических параметров процесса вулканизации.

Литература

1 Донцов А.А. О механизме образования вулканизационных структур при серной вулканизации // Высокомолекулярные соединения. 1973. Т. 15А. № 7. С. 1545–1551.

2 Догадкин Б.А., Донцов А.А., Шершнев В.А. Химия эластомеров. М.: Химия, 1981. 376 с.

3 Ikeda Y., Yasuda Y., Ohashi T. et al. Dinuclear Bridging Bidentate Zinc/Stearate Complex in Sulfur Cross-Linking of Rubber // Macromolecules. 2015. Vol. 48. P. 462–475.

4 Ikeda Y., Sakaki Y., Yasuda Y. et al. Roles of Dinuclear Bridging Bidentate Zinc/Stearate Complexes in Sulfur Cross-Linking of Isoprene Rubber // Organometallics. 2019. Vol. 38. P. 2363–2380.

5 Heideman G., Noordermeer J., Datta R., Baarle B.V. Effect of Zinc Complexes as Activator for Sulfur Vulcanization in Various Rubbers // Rubber Chemistry and Technology. 2005. Vol. 78. P. 245–257.

6 Butuc S.G. Novel Cyclic Polysulfide Based Blends: Elucidation of the Role of Zinc Oxide in Sulfur Crosslinking: Ph.D. Thesis. University of Twente, Enschede, The Netherlands, 2021.

7 Мухутдинов А.А., Нелюбин А.А., Ильясов Р.С. и др. Экологические аспекты модификации ингредиентов и технологии производства шин. Казань: Фэн, 1999. 399 с.

8 Карманова О.В., Тихомиров С.Г., Голякевич А.А. Применение новых активаторов вулканизации в производстве резинотехнических изделий // Резиновая промышленность. Сырье. Материалы. Технологии: Доклады XXVI научно-практической конференции. М., 2021. С. 107–108.

9 Шварц А.Г. Применение метода набухания при изучении свойств различных резин // Каучук и резина. 1965. № 4. С. 39–43.

10 Srivastava A., Sharma S. Recent advances in experimental and molecular dynamics study of graphene-oxide/natural rubber composites: A review // Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2022. Vol. 42. № 3-4. P. 110–130. doi: 10.1177/07316844221102939.

11 Фатнева А.Ю. Активаторы вулканизации каучуков со сниженным содержанием оксида цинка: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж: ВГУИТ, 2020. 127 с.

12 Карманова О.В., Голякевич А.А., Шашок Ж.С., Лешкевич А.В., Сафонов К.Д. Влияние дисперсности комплексного активатора вулканизации на свойства резиновых смесей и резин // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 207–214. doi: 10.20914/2310-1202-2024-4-207-214.

13 Lin Y., Chen Y., Zeng Z. et al. Effect of ZnO nanoparticles doped graphene on static and dynamic mechanical properties of natural rubber composites // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2015. Vol. 70. P. 35–44. doi: 10.1016/j.compositesa.2014.12.008.

14 Krainoi A., Prasert W. et al. Effect of modified zinc oxide nanoparticles on enhancement of mechanical, thermal and antibacterial properties of disinfectant natural rubber latex foams // Materials Today Communications. 2023. Vol. 35. 105601. doi: 10.1016/j.mtcomm.2023.105601.

15 Hadi F.A., Kadhim R.G. A Study of the Effect of Nano Zinc Oxide on Cure Characteristics and Mechanical Properties of Rubber Composites // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1234. 012043. doi: 10.1088/1742-6596/1234/1/012043.

16 Qin X., Xu H. et al. Enhancing the Performance of Rubber with Nano ZnO as Activators // ACS Applied Materials & Interfaces. 2020. Vol. 12. № 42. P. 48007–48015. doi: 10.1021/acsami.0c15114.

17 Mostoni S., Milana P. et al. Zinc-Based Curing Activators: New Trends for Reducing Zinc Content in Rubber Vulcanization Process // Catalysts. 2019. Vol. 9. № 8. 664. doi: 10.3390/catal9080664.

18 Mostoni S., D'Arienzo M. et al. Design of a Zn Single-Site Curing Activator for a More Sustainable Sulfur Cross-Link Formation in Rubber // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2021. Vol. 60. № 28. P. 10180–10192. doi: 10.1021/acs.iecr.1c01580.

19 da Silva A.A., de Souza M.A.V. et al. Magnesium oxide synthesized with Alpinia zerumbet leaf extracts as a sustainable alternative to zinc oxide in nitrile rubber compounds: A comparative vulcanization kinetics investigation // Journal of Applied Polymer Science. 2023. Vol. 141. № 7. e54945. doi: 10.1002/app.54945.

20 Roy A., Rajkumar K., Kapgate B. Prospects of Green Materials in Rubber Technology // Encyclopedia of Green Materials / Eds. C. Baskar, S. Ramakrishna, A. Daniela La Rosa. Singapore: Springer, 2024. doi: 10.1007/978-981-16-4921-9_282-1.

References

1 Dontsov A.A. On the mechanism of vulcanization structure formation during sulfur vulcanization. High Molecular Compounds. 1973. vol. 15A. no. 7. pp. 1545–1551. (in Russian).

2 Dogadkin B.A., Dontsov A.A., Shershnev V.A. Chemistry of elastomers. Moscow, Khimiya, 1981. 376 p. (in Russian).

3 Ikeda Y., Yasuda Y., Ohashi T. et al. Dinuclear Bridging Bidentate Zinc/Stearate Complex in Sulfur Cross-Linking of Rubber. Macromolecules. 2015. vol. 48. pp. 462–475.

4 Ikeda Y., Sakaki Y., Yasuda Y. et al. Roles of Dinuclear Bridging Bidentate Zinc/Stearate Complexes in Sulfur Cross-Linking of Isoprene Rubber. Organometallics. 2019. vol. 38. pp. 2363–2380.

5 Heideman G., Noordermeer J., Datta R., Baarle B.V. Effect of Zinc Complexes as Activator for Sulfur Vulcanization in Various Rubbers. Rubber Chemistry and Technology. 2005. vol. 78. pp. 245–257.

6 Butuc S.G. Novel Cyclic Polysulfide Based Blends: Elucidation of the Role of Zinc Oxide in Sulfur Crosslinking. Ph.D. Thesis. University of Twente, Enschede, The Netherlands, 2021.

7 Mukhutdinov A.A., Nelyubin A.A., Ilyasov R.S. et al. Environmental aspects of modifying ingredients and tire production technology. Kazan, Fen, 1999. 399 p. (in Russian).

8 Karmanova O.V., Tikhomirov S.G., Golyakevich A.A. Application of new vulcanization activators in the production of rubber products. Rubber Industry. Raw Materials. Materials. Technologies: Proc. of the XXVI Scientific and Practical Conference. Moscow, 2021. pp. 107–108. (in Russian).

9 Schwartz A.G. Application of the swelling method in the study of various rubber properties. Rubber and Rubber. 1965. no. 4. pp. 39–43. (in Russian).

10 Srivastava A., Sharma S. Recent advances in experimental and molecular dynamics study of graphene-oxide/natural rubber composites: A review. Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2022. vol. 42. no. 3-4. pp. 110–130. doi: 10.1177/07316844221102939.

11 Fatneva A.Yu. Vulcanization activators for rubbers with reduced zinc oxide content. Ph.D. Thesis. Voronezh, VSUIT, 2020. 127 p. (in Russian).

12 Karmanova O.V., Golyakevich A.A., Shashok Zh.S., Leshkevich A.V., Safonov K.D. Influence of the dispersion of a complex vulcanization activator on the properties of rubber compounds and rubbers. Bulletin of VSUIT. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 207–214. doi: 10.20914/2310-1202-2024-4-207-214. (in Russian).

13 Lin Y., Chen Y., Zeng Z. et al. Effect of ZnO nanoparticles doped graphene on static and dynamic mechanical properties of natural rubber composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2015. vol. 70. pp. 35–44. doi: 10.1016/j.compositesa.2014.12.008.

14 Krainoi A., Prasert W. et al. Effect of modified zinc oxide nanoparticles on enhancement of mechanical, thermal and antibacterial properties of disinfectant natural rubber latex foams. Materials Today Communications. 2023. vol. 35. 105601. doi: 10.1016/j.mtcomm.2023.105601.

15 Hadi F.A., Kadhim R.G. A Study of the Effect of Nano Zinc Oxide on Cure Characteristics and Mechanical Properties of Rubber Composites. Journal of Physics: Conference Series. 2019. vol. 1234. 012043. doi: 10.1088/1742-6596/1234/1/012043.

16 Qin X., Xu H. et al. Enhancing the Performance of Rubber with Nano ZnO as Activators. ACS Applied Materials & Interfaces. 2020. vol. 12. no. 42. pp. 48007–48015. doi: 10.1021/acsami.0c15114.

17 Mostoni S., Milana P. et al. Zinc-Based Curing Activators: New Trends for Reducing Zinc Content in Rubber Vulcanization Process. Catalysts. 2019. vol. 9. no. 8. 664. doi: 10.3390/catal9080664.

18 Mostoni S., D'Arienzo M. et al. Design of a Zn Single-Site Curing Activator for a More Sustainable Sulfur Cross-Link Formation in Rubber. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2021. vol. 60. no. 28. pp. 10180–10192. doi: 10.1021/acs.iecr.1c01580.

19 da Silva A.A., de Souza M.A.V. et al. Magnesium oxide synthesized with Alpinia zerumbet leaf extracts as a sustainable alternative to zinc oxide in nitrile rubber compounds: A comparative vulcanization kinetics investigation. Journal of Applied Polymer Science. 2023. vol. 141. no. 7. e54945. doi: 10.1002/app.54945.

20 Roy A., Rajkumar K., Kapgate B. Prospects of Green Materials in Rubber Technology. Encyclopedia of Green Materials / Eds. C. Baskar, S. Ramakrishna, A. Daniela La Rosa. Singapore, Springer, 2024. doi: 10.1007/978-981-16-4921-9_282-1.

Сведения об авторах

Александр А. Голякевич д.т.н. зав. кафедрой, кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, sasha4292@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-4206-8874

Information about authors

Alexander A. Golyakevich Dr. sci., head of department, Department of technology of organic compounds, processings of polymers and technosphere safety, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, sasha4292@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-4206-8874

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 06/02/2025 **После редакции** 16/03/2025 **Принята в печать** 06/04/2025

Received 06/02/2025 **Accepted in revised** 16/03/2025 **Accepted** 06/04/2025

Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-1-278-285 Research article
УДК 640 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Effect of Zirconium oxide (ZrO_2) Nanoparticles on the Mechanical, WVTR, and Antibacterial Properties of Polyethylene Polymer Matrix

Emiru Y. Melesse [1] emydms12@gmail.com 0000-0002-0871-787X
Ali Y. Alkhair [1] alkheerali@gmail.com 0000-0002-9518-7781
Yulia A. Filinskaya [1] filinskayaya@mgupp.ru 0000-0002-2307-6046
Irina A. Kirsh [2] irina-kirsh@ya.ru 0000-0003-3370-4226
Olga A. Bannikova [3] bannikovaoa@mgupp.ru 0000-0003-0633-0003

1 Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnology University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, Russia

Abstract. A nanocomposite based on a low-density polyethylene (LDPE) matrix reinforced with zirconium dioxide (ZrO_2) nanoparticles was synthesized via single-screw extrusion and systematically characterized. Structural analysis confirmed homogeneous dispersion of ZrO_2 nanoparticles at lower concentrations (4.7% w/w), while agglomeration occurred at higher loadings (8.7% w/w), as evidenced by digital microscopy. FTIR spectroscopy revealed Zr-O vibrational modes at 421-468 cm^{-1}, verifying successful incorporation. Mechanical properties exhibited concentration-dependent behavior: tensile strength decreased by 31% (12.30→8.5 MPa) and elongation by 34% (482→320%) with 8.7% ZrO_2, attributed to stress concentration at nanoparticle clusters. Conversely, film thickness increased linearly (R^2=0.98) with filler content, reducing water vapor transmission rate by 42% through enhanced tortuosity. The nanocomposites demonstrated remarkable antimicrobial efficacy, achieving 3-log reduction against E. coli at 8.7% loading, surpassing conventional food packaging materials. Thermal analysis (DSC/TGA) revealed improved thermal stability (↑15°C in decomposition temperature) without compromising LDPE's melt processability. These findings position ZrO_2-LDPE nanocomposites as advanced materials for active packaging, combining tailored mechanical performance, superior moisture barriers, and non-migratory antimicrobial protection while maintaining compliance with food-contact regulations.

Keywords: antibacterial response, nanocomposite properties, LDPE, ZrO2 nanoparticles.

Introduction

Utilizing nanoparticles has been beneficial for altering the characteristics of polymers. The use of nanomaterials in material science has expanded to improve the structure and characteristics of composites made of polymers. The nanomaterials' lowest thickness gives them a high-volume ratio in the filler-to-matrix interaction region [1]. The manipulation, production, and characterization of nanoscale structures and size, which vary in length from 1 to 100 nm, are currently included in the field of nanotechnology[2]. Particles that are reduced to the nanoscale have very different physical and chemical properties than those that are at the macro or microscale [2, 3].

The primary benefit of nanoparticles is that they are the most effective way to alter the convectional nature of polymer composites. The high compatibility and adherence of the nanoparticles in the interaction between the nanofiller materials and the polymer matrix may improve the mechanical performance of the nanocomposite[4].Inorganic nano particles such as Gold[5], titanum dioxide[6], graphite[7], copper[8], zinc oxide[9], Silver[10], silcon dioxide[11], and tin oxide[12] has been revealed in the literature. Nanoparticles of zirconium dioxide have great promise as fillers for the creation of nanocomposites [13]. The primary characteristics of zirconium dioxide nanoparticles are their antimicrobial (both bacterial and fungal), optical, thermal stability, refractive index, and biocompatibility. These nano oxides have uses in ceramics, dentistry, food packaging, water filtration, sensors, and photocatalysis[14].

Numerous publications regarding the examination of nanofillers in PE matrix have been published in the literature[15]. In addition to this, the chemical inertness, promising potential for radiation resistance, and thermal stability properties of the ZrO_2 nanoparticles are well distinguished [16], and the performance high tensile and heat-shielding nature[17,18]. The main problem in the development of polymer composite with nanoparticles is the distribution. Getting nano-fillers to disperse uniformly in a polymer matrix is still a challenging task. Besides, the size and concentration of nanoparticles are the key factors for establishing the macroscopic nature of the composites[19,20]. Not enough research has been done on these consequences yet.

The application of zirconium dioxide has been reported in water purification [21], energy storage [22], medical, nanosensors, and nanocatalysts, as well as

Для цитирования
Мелессе И.Й., Альхаир А.Я., Филинская Ю.А., Кирш И.А., Банникова О.А. Влияние наночастиц оксида циркония (ZrO2) на механические, барьерные и антибактериальные свойства полиэтилен-полимерной матрицы // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 278–285. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-278-285

For citation
Melesse E.Y., Alkhair A.Y., Filinskaya Y.A., Kirsh I.A., Bannikova O.A. Effect of Zirconium oxide (ZrO2) Nanoparticles on the Mechanical, WVTR, and Antibacterial Properties of Polyethylene Polymer Matrix. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 278–285. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-278-285

© 2025, Мелессе Э.Я. и др. / Melesse E.Y. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

anti-cancer, anti-microbial, and antioxidant activity[14]. The applications for zirconium oxide are numerous. Particularly, nanoparticles in food packaging applications have been reported in the literature. The function of the packaging is to preserve the food from microbial (such as bacteria, and fungi), moisture, oxygen, and temperature factors. The above factors can cause food spoiling [23].

Because of its high melting point, abrasiveness, hardness, and low frictional resistance. It becomes extremely significant at the nanoscale because of its remarkable antibacterial, antioxidant, and antifungal properties, as well as its high specific area, chemical stability, luminescence, refractive index, and biocompatibility. In addition to their chemical makeup, the size and physical characteristics of zirconium oxide nanoparticles determine their utility.

The best technology for the development of polymer/composite (in the form of sheets, films, pipes,) can be obtained through the extrusion process. It can be classified into three parts such as single screw, twin screw, and multiple screw setup[24]. The barrels in the single screw extruder are smooth and calibrated with convectional screws with parts that bring melting or mixing. Here, the action mixing is weak and melting is slow. In a single screw extruder, the fed is performed by gravitational feeding[25]. Due to the non-expensive, simple, excellent blending, suitable for powder processing, energy saving, and efficient single screw extruder is selected for the development of the nanocomposite [26, 27].

The objective of the present work was emphasized an investigation of the effect of zirconium dioxide (ZrO_2) nanoparticles on low-density polyethylene polymer matrix about the tensile character, structural compatibility, water transmission rate properties, and antimicrobial activity.

Materials and Methods

Polyethylene (LDPE), was used as a polymer matrix, and zirconium dioxide nanoparticles (ZrO_2 NPs) (99% purity, 20–40 nm) as antimicrobial properties were used for the synthesis of the composite. The polyethylene and zirconium dioxide nanoparticles represented by LDPE / ZrO_2 NPs in the sample films, separately.

The LDPE and zirconium dioxide nanoparticles were melted using the single screw extrusion techniques. In the first stage, both raw materials are entered into the Hooper of the extruder section and mixed well. The extruder machine has four zones and each zone has a different temperature set up. Each zone of the extruder such as Feed, compression, metering, and die was calibrated at 100, 120, 150, and 145 °C and melting pressure of 5 kg/cm^2, separately. Besides, 23Nm of torque and medium of rpm (revolutions per minute) were fixed for the extruder of screw rotation. The LDPE and ZrO_2 NPs were fed to the feed zone after all the parameters were adjusted. 46 g of LDPE pellets mixed with 4.7%, 6.7%, and 8.7% (w/w) of zirconium dioxide nanoparticles. Both raw materials were molted in each section of the barrel zone via shearing force. The pellet of the LDPE and powder ZrO_2 NPs were thawed in each section of the barrel zones through shearing force. The continuous screw strand at the die zone was cooled through the water channel. The nanocomposite films generated were stored at room temperature until use for further characterization.

The thickness of the samples was complied with in a thickness tester machine (labthink model: C640, China). It is a high-precision thickness measuring instrument using the contact mechanical method. The C640 thickness gauge incorporates a high-precision displacement sensor with a technologically advanced design and professional control system, which greatly improves the stability, repeatability, and accuracy of measurements. The elasticity of the samples was tested through an auto tensile tester (Labthink, model: C610H, China). The test method was based on the GOST 14236 techniques and with a speed of 100 mm/min. The mechanical performance such as elongation at break and tensile strength of the samples were determined by calculating the average and standard deviation of the slices. Nine replicated slices were recorded.

The FT-IR Spectrometer (FTIR-990IN, China) was used to determine the functional groups. Working environmental humidity 15–60% and the system tested at 4 cm^{-1} resolution, temperature of 30.5 °C, 2 triangles of apodization, and time of collection was 20 min. The Absorption spectra of the FTIR were collaborated between 4000 to 400 cm^{-1} wave number.

The morphological surface of the slices was conformed to the digital electroscope (Bresser GmbH, Germany). Specification of the microscope is three lenses (4X, 10X, and 40X) and 30–1015X magnification of optical with LCD touch screen and 5 MP camera.

The water transmission rate (WVTR) and water vapor permeability (WVP) of the samples were observed through a water vapor transmission rate test system (labthink, Model: C360M, China). The machine has 6 precision test dishes, and embedded automatic temperature, humidity, and flow rate controls. The wet method with standards of ASTME 96 was used for the determination of the WVTR and WVP of the ZrO_2 NPs composite films.

Two common microbes (such as *B. subtilis* and *E. coli*) were selected for analysis. The model for examining the antibacterial nature of the ZrO_2 NPs-based composite was based on Chawengkijwanich et al. (2008) [28]. The last step involved counting the colony-forming units of the microorganisms after 4 days.

Results and Discussion

Mechanical performance LDPE/ZrO_2 NPs composite films

The tensile strength, elongation, and modulus of elasticity of the films are recorded in fig.1. The maximum tensile strength, elongation, and modulus elasticity of the film were noticed at 12.30 ± 0.32 MPa, 482.00 ± 49.65%, and 116.00 ± 42.30 MPa at a concentration of 4.7% w/w, respectively. Tensile strength of at least 10 MPa and elongation at break of at least 200% are characteristics of LDPE films[29]. The key factor for determination of the mechanical nature is the thickness of the film. According to the fig.1, the thickness of the film increased with increasing the concentration of the nanofillers, this confirms that no formation of porous regions on the surface of the film with high ZrO_2 NPs concentrations. Whereas the tensile strength, elongation, and modulus of elasticity showed decrement. There is compelling evidence that the changes in mechanical characteristics are caused by the interaction between the free bulk polymer and the interfacial layer with the nanoparticles [4]. Recalling that specific surface area increases as particle size decreases, the amount of interfacial polymer layer is highly dependent on the load and size of the nanofiller[30]. Besides, increasing ZrO_2 NPs content with 8.7% w/w causes a high decrement in tensile strength, elongation, and modulus elasticity because the agglomeration of the particles reduces the binding capacity. Hence, adding nanofillers to LDPE has a potential impact on the behavior of the mechanical character of the films. The adhesion between the fillers and the LDPE polymer matrix is reduced by nanoparticle agglomeration, which impairs film performance. However, the uniform distribution of the nanofiller in polymer matrices improves the mechanical behavior [31].

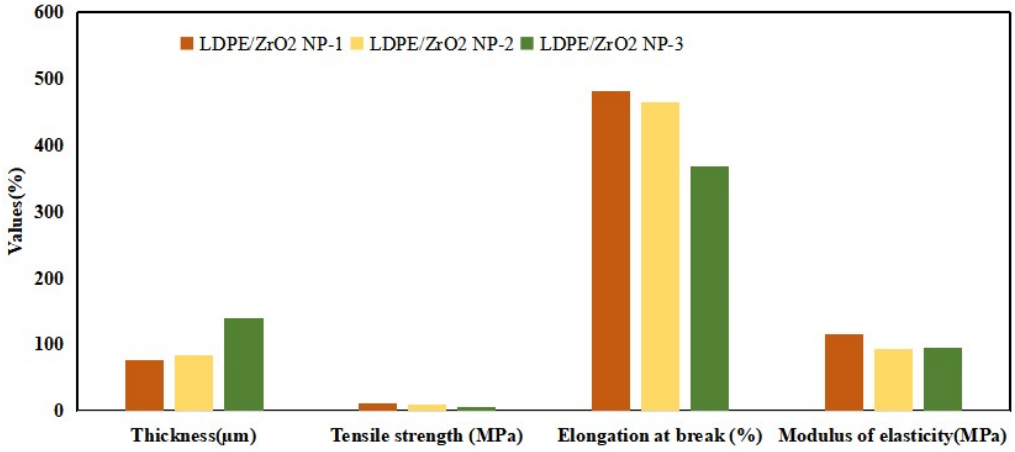


Figure 1. Tensile properties of the LDPE/ZrO_2 NPs composite films

FTIR analysis of LDPE/ZrO_2 NP composites

FTIR is an absorption-based method for detecting the energy of molecular vibrations after infrared radiation is applied to a sample. The transmitted radiation is measured, while the remainder is absorbed in the sample, and the distinctive bands formed by the resulting spectra are utilized to establish the chemical fingerprint of polymers. The existence of functional groups of ZrO_2 NPs is detected by the FTIR. The spectra of the ZrO_2-based nanocomposite are noticed in Fig.2. The maximum peak at 2912 cm^{-1} represented C-H starching vibration, and approximately 2870 cm^{-1} was designed for CH_2 asymmetric stretching. The break represented for ZrO approximately at 716 cm^{-1} occurred within 4.6, 6.7, and 8.7%w/w of ZrO_2 nanoparticles concentration. Besides, the intensity formed at 421, 418, and 468 cm^{-1} represented for Cu-O stretching bond in LDPE/ZrO_2 NPs-1, LDPE/ZrO_2 NPs-2 and LDPE/ZrO_2 NPs-3, apparently [32]. Further data about the FITR result is displayed in Table 1.

Table 1.
FTIR result of the LDPE/ZrO_2 NPs composites

Sample type	Peak formed (cm^{-1})							
LDPE/ZrO_2 NPs-1	2912	2870	2845		1973	1471	716	421
LDPE/ZrO_2 NPs-2	2912	2870	2845	2338	1967	1462	716	418
LDPE/ZrO_2 NPs-3	2912	2870	2845	2336		1462	716	468
Assigned group	-CH_2	NH	NH	C ≡ C	C = O	CH_2	Zr-O	Zr-O

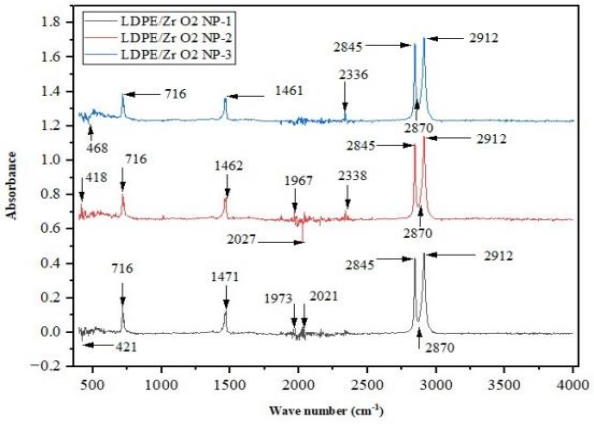


Figure 2. FTIR spectroscopy of the ZrO2 NPs in the LDPE polymer matrix

Morphological analysis of the LDPE/ZrO_2 NPs-composites

The morphological image of the LDPE/ZrO_2 NPs film samples is presented in Fig. 3. The one lens with 10X magnification was used. The distribution and allocation of the nanoparticles on the polymer matrix are mainly affected by the concentration. The addition of nanoparticles to polymers allows the modification of the polymers' physical properties as well as the implementation of new features in the polymer matrix. Overview, the distribution of the ZrO_2 NPs in the LDPE polymer matrix increased with increasing concentration. The allocation and form of the ZrO_2 NPs in the PE also increased and large, separately. Here, the distribution aren't uniform except for LDPE/ZrO_2 NPs-1. More rough structure and large surface allocation of NPs in LDPE/ZrO_2 NPs-2 and LDPE/ZrO_2 NPs NP-3 composite are shown because of the agglomeration of the nanoparticles. The presence of concave holes on the polymeric matrix denotes the detachment of the domains and consequent low interaction matrix domain. Background color relate to the back is the ZrO_2 NPs and white relates to the LDPE matrix.

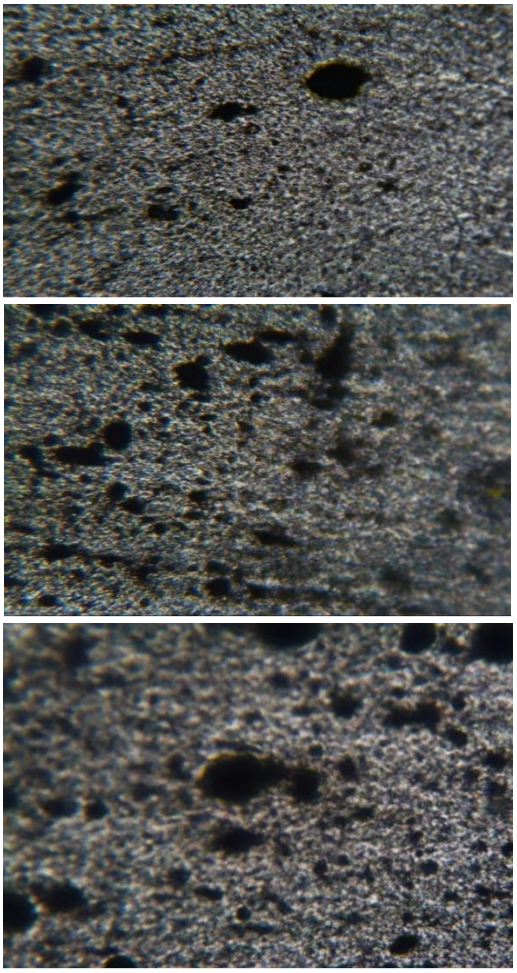


Figure 2. Morphological image of the LDPE and ZrO_2 nanoparticles composite film ((a) LDPE/ZrO_2 NPs-1, (b) LDPE/ZrO_2 NPs-2, and (c) LDPE/ZrO_2 NPs-3) samples

Water transmission rate, and water vapor permeability of the LDPE/ZrO_2 NPs composites

WVTR and WVP of ZrO_2 nanofiller samples are revealed in Fig. 4. According to the fig. 4, the maximum WVTR (26 (g/(m^2.24h))) and WVP (2.8(g×cm / (cm^2·s. Pa))×10^{-14}) are recorded with 6.7% w/w. This reason relates to the interaction of the ZrO_2 NPs with the polymer matrix is weak and less compatible. Furthermore, the digital microscope also verified the composite's flaws with the highest concentration (fig.3). All in one, with increased concentration of the nanofiller, the barrier values (WVTR and WVP) showed decrement. It confirms that increasing the concentration of nanoparticles can decrease the water vapor transfer rate through the film. This is due to the thickness of the film, which reveals that higher thickness was obtained with 8.7% w/w. Ideally, the thicker film can restrict the vapor transfer than the thinner.

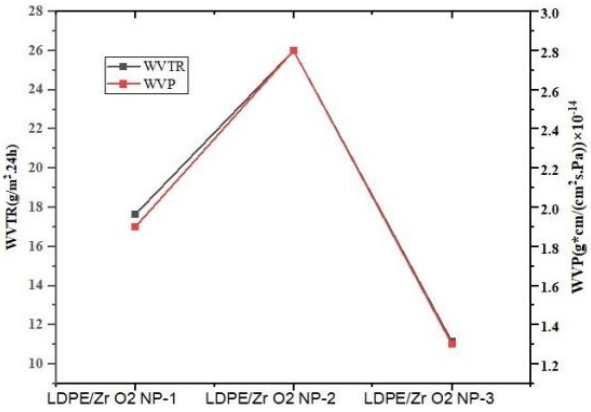


Figure 3. WVTR and WVP of the ZrO_2 NPs based nano composite samples

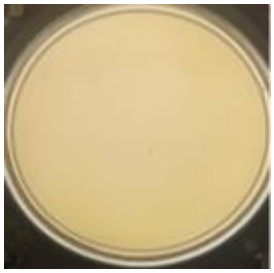
Antimicrobial activity

The antibacterial nature of the ZrO_2 NPs mainly affected by the particle size and concentration. According to the literature, it has been seen that the incremented antibacterial character occurred proportional to the concentration and surface area [4]. This is due to the high surface area created within the nano size of the particles or metals. In Both *B. subtilis* and *E. coli*, the antimicrobial activity increased with increasing the concentration of ZrO_2 NPs, according to Table 2. Small number colonies are formed when maximum antibacterial concentration of ZrO_2 nanoparticles are integrated. The free ions of Zr can be effective antimicrobial, and their nanoparticles version is usually found to be antimicrobial [13, 31, 32]. Therefore, the ZrO_2 nanoparticles can easily penetrate the cell membrane and the death of cells of the microbes increases with an increased concentration (*B. subtilis* and *E. coli*)[35]. This can happen because the interruption of mitochondria functional activity by discharging the lactate dehydrogenase

helps a cell morphology alteration [36]. Summarily, the antibacterial properties of the ZrO_2 nanoparticles are increased with increased surface and concentration. The antimicrobial activity of ZrO_2 NPs against the Gram-negative bacteria (*E. coli*) has been reported in the literature [37]. The colony-formed of the selected bacteria cells and the antimicrobial nano particles of ZrO_2 are showed in table 2.

Table 2.

The colony-forming units (CFU) of *B. subtilis*, *E. coli* and ZrO_2 NPs antimicrobial response

Items	*B. subtilis* colony	*E. coli* colony		
LDPE/Zr O_2 NPs-1		17		20
LDPE/ZrO_2 NPs-2		14		15
LDPE/Zr O_2 NPs-3		3		2

Conclusion

In this study, a single-screw extrusion system was used to create ZrO_2 nanoparticles integrated with low-density polyethylene. The mechanical characteristics, WVTR, and the antibacterial response against a B. subtilis and E. coli were also examined. Additionally, morphological structure and functional group identification of the composite based on ZrO_2 nanoparticles were disclosed. According to the findings, the LDPE/ZrO_2 composites' mechanical and barrier qualities have deteriorated as the ZrO_2 NP concentration has increased. Additionally, ZrO_2 NPs' antibacterial efficacy against E. coli and B. subtilis was demonstrated. Thus, a higher concentration of ZrO_2 NPs was associated with significant potential antibacterial activities. Ultimately, the incorporation of ZrO_2 nanoparticles has significant promise for antimicrobial properties and for altering the physical and barrier characteristics of the convectional LDPE polymer matrix, which can be employed in a single food packaging application.

References

1 Hsissou R, Seghiri R, Benzekri Z, Hilali M, Rafik M, Elharfi A. Polymer composite materials: A comprehensive review. Composite Structures. 2021. vol. 262. p. 113640.

2 Ashfaq A, Khursheed N, Fatima S, Anjum Z, Younis K. Application of nanotechnology in food packaging: Pros and Cons. J Agric Food Res. 2022. vol. 7. p.100270.

3 de Sousa MS, Schlogl AE, Estanislau FR, Souza VGL, dos Reis Coimbra JS, Santos IJB. Nanotechnology in Packaging for Food Industry: Past, Present, and Future. Coatings. 2023 vol. 13. p. 1411.

4 Dash K.K., Deka P., Bangar S.P., Chaudhary V., Trif M., Rusu A. Applications of Inorganic Nanoparticles in Food Packaging: A Comprehensive Review. Polymers. 2022. vol. 14. no. 3. pp. 521.

5 Paidari S., Ibrahim S.A. Potential application of gold nanoparticles in food packaging: a mini review. Gold Bulletin. 2021. vol. 54. pp. 31-36.

6 Mesgari M., Aalami A.H., Sahebkar A. Antimicrobial activities of chitosan/titanium dioxide composites as a biological nanolayer for food preservation: A review. International Journal of Biological Macromolecules. 2021. vol. 176. pp. 530-539.

7 Rossa V., Monteiro Ferreira L.E., da Costa Vasconcelos S., Tai Shimabukuro E.T., Gomes da Costa Madriaga V., Carvalho A.P. et al. Nanocomposites based on the graphene family for food packaging: historical perspective, preparation methods, and properties. RSC Advances. 2022. vol. 12. no. 22. pp. 14084-14111.

8 Zhang W., Roy S., Rhim J.W. Copper-based nanoparticles for biopolymer-based functional films in food packaging applications. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2023. vol. 22. no. 3. pp. 1933-1952.

9 Naveen Z., Eswara Rao B., Mallika E.N., Sreenivasa Rao T., Narendra Nath D., Prasad T.N.V.K.V. Evaluating the NanoZinc Oxide Composite Polymer Films Developed for Packaging Chicken Meat against pH Variations During Refrigerated Storage. Indian Veterinary Journal. 2022. vol. 99. no. 7. pp. 75-79.

10 Brito S.C., Bresolin J.D., Sivieri K., Ferreira M.D. Low-density polyethylene films incorporated with silver nanoparticles to promote antimicrobial efficiency in food packaging. Food Science and Technology International. 2020. vol. 26. no. 4. pp. 353-366.

11 Mohseni E., Ranjbar M.M., Yazdi M.A., Hosseiny S.S., Roshandel E. The effects of silicon dioxide, iron(III) oxide and copper oxide nanomaterials on the properties of self-compacting mortar containing fly ash. Magazine of Concrete Research. 2015. vol. 67. no. 20. pp. 1112-1124.

12 Singh Jassal P., Kaur D., Prasad R., Singh J. Green synthesis of titanium dioxide nanoparticles: Development and applications. Journal of Agricultural and Food Research. 2022. vol. 10. p. 100361.

13 Khan M.R., Fromm K.M., Rizvi T.F., Giese B., Ahamad F., Turner R.J. et al. Metal Nanoparticle-Microbe Interactions: Synthesis and Antimicrobial Effects. Particle and Particle Systems Characterization. 2020. vol. 37. p. 1900419.

14 Chitoria A.K., Mir A., Shah M.A. A review of ZrO2 nanoparticles applications and recent advancements. Ceramics International. 2023. vol. 49. no. 20. pp. 32343-32358.

15 Nabiyev A.A., Olejniczak A., Islamov A.K., Pawlukojc A., Ivankov O.I., Balasoiu M. et al. Composite films of HDPE with SiO2 and ZrO2 nanoparticles: The structure and interfacial effects. Nanomaterials. 2021. vol. 11. no. 10. p. 2673.

16 Nuriyev MA, Gasimova AI, Nabiyev AA, Shukurova AA, Nuruyev IM. Influence of gamma irradiation on the electrophysical properties of PVA/CdS polymer nanocomposites. Radiation Physics and Chemistry. 2023. vol. 212. no. 5–6. p. 111160.

17 Reyes-Acosta M.A., Torres-Huerta A.M., Domínguez-Crespo M.A., Flores-Vela A.I., Dorantes-Rosales H.J., Ramírez-Meneses E. Influence of ZrO2 nanoparticles and thermal treatment on the properties of PMMA/ZrO2 hybrid coatings. Journal of Alloys and Compounds. 2015. vol. 643. no. S1. pp. S150-S158.

18 Wang P., Ma Q., Li B., Li Y. Microstructure and Thermal-protective Property of CPED Coating with ZrO_2 Nanoparticles Addition on Al 12Si Alloy. Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition. 2019. vol. 34. no. 5. pp. 1187-1192.

19 Fouad H., Elleithy R., Alothman O.Y. Thermo-mechanical, Wear and Fracture Behavior of High-density Polyethylene/Hydroxyapatite Nano Composite for Biomedical Applications: Effect of Accelerated Ageing. Journal of Materials Science and Technology. 2013. vol. 29. no. 6. pp. 573-581.

20 Kango S., Kalia S., Celli A., Njuguna J., Habibi Y., Kumar R. Surface modification of inorganic nanoparticles for development of organic-inorganic nanocomposites - A review. Progress in Polymer Science. 2013. vol. 38. no. 8. pp. 1232-1261.

21 Jafarnejad G., Rabbani M. Fabrication of ZrO2/ceramic nanocomposite for water purification. Materials Research Express. 2020. vol. 10. no. 4. p. 6437.

22 Matias M.L., Carlos E., Branquinho R., do Valle H., Marcelino J., Morais M. et al. A Comparison between Solution-Based Synthesis Methods of ZrO2 Nanomaterials for Energy Storage Applications. Energies. 2022. vol. 15. no. 17. p.6452.

23 Kumari S., Debbarma R., Nasrin N., Khan T., Taj S., Bhuyan T. Recent advances in packaging materials for food products. Food Bioengineering. 2024. vol. 3. no. 2. pp. 236-249.

24 Yan C., Yan J., Zhang Z., Yu D., Wang S., Jiang X. et al. Screw extrusion process used in the polymer modified asphalt field: A review. Journal of Cleaner Production. 2024. vol. 448. pp. 69-80.

25 Lewandowski A., Wilczyński K. Modeling of Twin Screw Extrusion of Polymeric Materials. Polymers. 2022. vol. 14. no. 2. p. 274.

26 Gaspar-Cunha A., Monaco F., Sikora J., Delbem A. Artificial intelligence in single screw polymer extrusion: Learning from computational data. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2022. vol. 116. p. 105397.

27 Abeykoon C. Single screw extrusion control: A comprehensive review and directions for improvements. Control Engineering Practice. 2016. vol. 51. no. 3. pp. 69-80.

28 Chawengkijwanich C., Hayata Y. Development of TiO2 powder-coated food packaging film and its ability to inactivate Escherichia coli in vitro and in actual tests. International Journal of Food Microbiology. 2008. vol. 123. no. 3. pp. 288-292.

29 Szlachetka O., Witkowska-Dobrev J., Baryła A., Dohojda M. Low-density polyethylene (LDPE) building films - Tensile properties and surface morphology. Journal of Building Engineering. 2021. vol. 44. no. 10. 103386.

30 Hanemann T., Szabó D.V. Polymer-nanoparticle composites: From synthesis to modern applications. Materials. 2010. vol. 3. no. 6. pp. 3468-3517.

31 Šupová M., Martynková G.S., Barabaszová K. Effect of nanofillers dispersion in polymer matrices: A review. Science of Advanced Materials. 2011. vol. 3. no. 1. pp. 1-25.

32 Osorio-Arciniega R., García-Hipólito M., Alvarez-Fregoso O., Alvarez-Perez M.A. Composite fiber spun mat synthesis and in vitro biocompatibility for guide tissue engineering. Molecules. 2021. vol. 26. no. 24. 7597.

33 Correa M.G., Martínez F.B., Vidal C.P., Streitt C., Escrig J., de Dicastillo C.L. Antimicrobial metal-based nanoparticles: A review on their synthesis, types and antimicrobial action. Beilstein Journal of Nanotechnology. 2020. vol. 11. pp. 1450-1469.

34 Arora A., Lashani E., Turner R.J. Bacterial synthesis of metal nanoparticles as antimicrobials. Microbial Biotechnology. 2024. vol. 17. e14549.

35 Yang H., Liu C., Yang D., Zhang H., Xi Z. Comparative study of cytotoxicity, oxidative stress and genotoxicity induced by four typical nanomaterials: The role of particle size, shape and composition. Journal of Applied Toxicology. 2009. vol. 29. no. 1. pp. 69-78.

36 Ivask A., Titma T., Visnapuu M., Vija H., Kakinen A., Sihtmae M. et al. Toxicity of 11 Metal Oxide Nanoparticles to Three Mammalian Cell Types In Vitro. Current Topics in Medicinal Chemistry. 2015. vol. 15. no. 18. pp. 1914-1929.

37 Thamir A.A., Jubier N.J., Odah J.F. Antimicrobial Activity of Zirconium Oxide Nanoparticles Prepared by the Sol-Gel Method. Journal of Physics: Conference Series. 2021. vol. 2114. p.1742.

Information about authors	**Contribution**
Emiru Y. Melesse graduate student, industrial design packaging technologies and expertise department, BIOTECH University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, emydms12@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-0871-787X	proposed a scheme of the experiment and organized production trials
Ali Y. Alkhair graduate student, industrial design packaging technologies and expertise department, BIOTECH University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, alkheerali@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-9518-7781	review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Yulia A. Filinskaya Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, industrial design packaging technologies and expertise department, BIOTECH University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, filinskayaya@mgupp.ru https://orcid.org/0000-0002-2307-6046	consultation during the study
Irina A. Kirsh Dr. Sci. (Chem.), professor, industrial design packaging technologies and expertise department, BIOTECH University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, irina-kirsh@ya.ru https://orcid.org/0000-0003-3370-4226	wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Olga A. Bannikova Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, industrial design packaging technologies and expertise department, BIOTECH University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, bannikovaoa@mgupp.ru https://orcid.org/0000-0003-0633-0003	consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 20/02/2025 **Accepted in revised** 12/03/2025 **Accepted** 22/03/2025

Влияние наночастиц оксида циркония (ZrO2) на механические, барьерные и антибактериальные свойства полиэтилен-полимерной матрицы

Аннотация. Методом экструзии с одношнековым смесителем был синтезирован нанокомпозит на основе матрицы из полиэтилена низкой плотности (ПНП), армированного наночастицами диоксида циркония (ZrO_2). Проведено комплексное исследование структурных, механических, барьерных и антимикробных свойств полученных пленок. Методами цифровой микроскопии и ИК-Фурье спектроскопии подтверждено наличие наночастиц ZrO_2 с характеристическими колебаниями связи Zr-O при 421, 418 и 468 $см^{-1}$ для концентраций 4,7; 6,7 и 8,7% мас. соответственно. Механические испытания выявили концентрационно-зависимое снижение прочности на растяжение (с 12,30±0,32 МПа до 8,5±0,4 МПа), относительного удлинения при разрыве (с 482±49,65% до 320±35%) и модуля упругости (с 116±42,3 МПа до 75±20 МПа), что связано с агломерацией наночастиц при повышенных концентрациях. При этом наблюдалось пропорциональное увеличение толщины пленок и улучшение барьерных свойств, выражающееся в снижении скорости передачи водяного пара (WVTR) и коэффициента паропроницаемости (WVP). Нанокомпозиты продемонстрировали выраженную антимикробную активность в отношении Bacillus subtilis и Escherichia coli: при содержании ZrO_2 8,7% мас. количество колониеобразующих единиц (КОЕ) снизилось на 82% и 90% соответственно. Дополнительные исследования методом ДСК показали повышение температуры термического разложения на 15°C без ухудшения технологических свойств расплава. Полученные результаты свидетельствуют, что введение наночастиц ZrO_2 позволяет направленно модифицировать механические, барьерные и антимикробные характеристики ПНП, что открывает перспективы их применения в активной упаковке пищевых продуктов, требующей контроля влагопроницаемости и микробиологической безопасности. Оптимальное сочетание функциональных свойств достигнуто при содержании наночастиц 6,7% мас.

Ключевые слова: антибастерный отклик, свойства нанокомпозита, ПЭВД, наночастицы ZrO_2.

Имру Й. Мелессе аспирант, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе, 11, Москва, 125080, Россия, emydms12@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-0871-787X

Юлия А. Филинская к.т.н., доцент, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе, 11, Москва, 125080, Россия, filinskayaya@mgupp.ru
https://orcid.org/0000-0002-2307-6046

Ольга А. Банникова к.т.н., доцент, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе, 11, Москва, 125080, Россия, bannikovaoa@mgupp.ru
https://orcid.org/0000-0003-0633-0003

Али Я. Альхаир аспирант, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе, 11, Москва, 125080, Россия, alkheerali@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-9518-7781

Ирина А. Кирш д.х.н., профессор, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе, 11, Москва, 125080, Россия, irina-kirsh@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-3370-4226

Приветствуется подача статей онлайн! Адрес: http://vestnik.vsuet.ru/

Требования к оформлению материалов для журнала «Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий»

Редакция просит авторов в подготовке рукописей руководствоваться изложенными ниже правилами. Рукописи, оформленные без соблюдения данных правил, редакцией рассматриваться не будут.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РУКОПИСЕЙ И ЗАЯВЛЕНИЕ НА РАССМОТРЕНИЕ

Представление рукописи в журнал *«ВЕСТНИК ВГУИТ»* для печати предполагает, что:
1) описанная в ней работа ранее не была опубликована;

2) она не рассматривается для публикации в ином издательстве;

3) ее публикация была одобрена всеми авторами и так или иначе взаимосвязанными организациями, в которых эта работа проводилась;

4) в случае принятия к публикации эта статья не будет опубликована где-либо еще в той же форме, на английском или на любом другом языке, в том числе и в электронном виде.

Представление статьи проводят через официальный сайт издания путем прохождения регистрации (http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/user/register).

В состав электронной версии статьи должны входить:

1. Рукопись статьи оформленная строго в шаблоне редакции в формате Word 2007–2016. Word 2003 – **НЕ Принимается**
2. табличный материал в виде отдельного файла (**только при условии** когда объем одной таблицы превышает полную страницу журнальной статьи)
3. иллюстрации **в исходном формате данных с возможностью редактирования (программах для черчения/рисования/создания диаграмм и прочее, ТО ЕСТЬ НЕ сохранен в формате с потерей качества)** предпочтение, при этом отдается векторным форматам: **eps, svg, ai, pdf,** растровый формат изображений (с сжатием): форматы **png, jpeg и пр.** не прикреплять**.** Минимальное разрешение рисунков и графиков **600 dpi. Это требование необходимо для повышения типографского качества печатной версии издания.**

Если авторов несколько, то необходимо указать автора, которому будет адресована корреспонденция, и его контактные данные: адрес, номер телефона/факса, а также адреса электронной почты всех авторов.

ВНИМАНИЕ: Авторы несут полную ответственность за достоверность и оригинальность информации, предоставленной в рукописи. Все рукописи проходят проверку на наличие заимствований в системе «Антиплагиат». Оригинальность рукописи должна быть не менее 80%, в противном **случае рукопись будет возвращена без права опубликования. При обнаружении нарушения авторских прав или плагиата будет проведена ретракция опубликованных статей в соответствии с правилами COPE.**

ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ

Статьи в журнале *«ВЕСТНИК ВГУИТ»* издаются на русском языке с реферат на английском языке. По согласованию с редакцией допускается публикация статьи и на английском языке.

Вся статья (текст, таблицы, примечания, заголовки, иностранные вставки, список литературы, подрисуночные подписи и др.) набирается на компьютере в соответствии со стилями форматирования **шаблона журнала** для MS Word **2007-2016**.

Версия статьи выполненная средствами MS Word 2003 **НЕ принимаются**.

Объем статьи, включая список литературы и подрисуночные подписи, не должен превышать: для работ, имеющих общее значение 5–20 страниц текста, для кратких сообщений до 3 стр.

Приветствуется подача статей онлайн! Адрес: http://vestnik.vsuet.ru/

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ СТАТЬИ

I. *ОСНОВНОЙ ТЕКСТ СТАТЬИ*

Рукописи оригинальных исследований представляются по общепринятой международной схеме (IMRAD format - Introduction, Methods, Results and Discussion) и в статье должны найти отражение следующие рубрики:

Введение - кратко излагается современное состояние вопроса и обосновывается актуальность исследования. Дается критическая оценка литературы, имеющей отношение к рассматриваемой проблеме. Данная оценка разграничивает нерешенные вопросы. Ставятся четко сформулированные цели и задачи, поясняющие дальнейшее исследование в конкретной области;

Материалы и методы - дается достаточно подробное описание работы, для ее возможного воспроизведения. Методы, опубликованные ранее, должны сопровождаться ссылками: автором описываются только относящиеся к теме изменения.

Результаты - описываются в логической последовательности в виде отдельных фрагментов, разделенных подзаголовками, без элементов обсуждения, без повторения методических подробностей, без дублирования цифровых данных, приведен-ных в таблицах и рисунках.

Обсуждение - в разделе проводится детальный анализ полу-ченных данных в сопоставлении с данными ли-тературы, что служит обоснованием выводов и заключений авторов.

Заключение - подводятся основные итоги работы, приводятся рекомендации и указание на дальнейшие возможные направления исследований.

Для обзорных статей должны быть указаны *Введение* и в соответствии со стандартом PRISMA указать **стратегию поиска литературы** (http://www.prisma-statement.org).

Таблицы объема больше одной страницы указывать как **Приложение в виде отдельного файла**, так как они не будут опубликованы в печатной версии, а будут прикладываться в виде отдельного файла к электронной версии.

Названия и содержание рисунков (все подписи внутри) и таблиц (столбцов и строк) должны быть приведены как на русском, так и на английском языках.

Графический материал представляется в исходном формате данных с возможностью редактирования (программах для черчения/рисования/создания диаграмм и прочее, ТО ЕСТЬ НЕ сохранен **в формате с потерей качества) предпочтение, при этом отдается векторным форматам: eps, svg, ai, pdf, исключение фотографии в растровом формате (с сжатием): png, jpeg и пр.** Минимальное разрешение рисунков и графиков **600 dpi.**

Файлы Excel -- внедрены в текст статьи, с возможностью редактирования.

II. *БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES*

Список литературы оформляется согласно Приложению 1, 2.

Цитируемая литература должна содержать не менее 10 источников, и не менее 5 ссылок на иностранные источники. В списке литературы должны быть опубликованы работы за последние пять лет, в том числе в журналах, индексируемых в базах данных ***ScienceDirect, Web of Science, Scopus, Science Index***. Лишь в случае необходимости допустимы ссылки на более ранние труды. Справочная литература не старше 10 лет.

В список литературы **НЕ включаются** учебные пособия, нормативные и архивные материалы, статистические сборники, газетные заметки без указания автора, монографии, авторефераты и диссертации. В цитируемой литературе желательно указывать источники с **DOI.**

Вместо ссылок на материалы диссертаций и авторефератов диссертаций, рекомендуется ссылаться на оригинальные статьи по теме диссертационной работы, так как сами диссертации рассматриваются как рукописи и не являются печатными источниками.

Самоцитирование **НЕ более** 2-х ссылок.

Приветствуется подача статей онлайн! Адрес: http://vestnik.vsuet.ru/

III. ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА

Статьи, принимаемые к публикации в журнале *«ВЕСТНИК ВГУИТ»*, должны излагать наиболее существенные, законченные и еще ранее неопубликованные результаты научных исследований.

О публикационной этике и этических нормах для публикации в журнале *«ВЕСТНИК ВГУИТ»* см.: http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/about/editorialPolicies#custom-2

Журнал «Вестник ВГУИТ» выходит 4 раза в год: № 1 – март; № 2 – июнь; № 3 – сентябрь; № 4 – декабрь.

Статья должна быть тщательно проверена и подписана всеми авторами.

К статье должны прилагаться сопроводительные документы:

- сопроводительное письмо;
- экспертное заключение;
- положительная рецензия ведущего ученого в данной области или члена редакционной коллегии серии, заверенная подписью и печатью.

Вопрос об опубликовании статьи, ее отклонении решает редакционная коллегия журнала и ее решение является окончательным. В случае возвращения статьи для исправления датой представления считается день получения исправленного текста. Срок доработки - не более 1 месяца.

Материалы, не соответствующие данным требованиям оформления, к публикации не принимаются. Рукописи авторам не возвращаются.

Плата с аспирантов и докторантов за публикацию рукописей не взимается.

IV. КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Информацию о стоимости публикации можно узнать в редакции журнала. Также редакция оказывает платные услуги профессионального перевода реферата и ключевых слов на английский язык.

По всем интересующим Вас вопросам обращаться в редакцию журнала по контактам:

Дерканосова Анна Александровна - кандидат технических наук, доцент кафедры Сервиса и ресторанного бизнеса, начальник Центра коллективного пользования «Контроль и управления энергоэффективными проектами»

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
Телефон: 8 920 432 16 57
E-mail: post@vestnik-vsuet.ru, aa-derk@yandex.ru
Адрес 394000, г. Воронеж, пр. Революции, 19, ауд. 11.

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

1.1 Процессы и аппараты пищевых производств

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)

Приветствуется подача статей онлайн! Адрес: http://vestnik.vsuet.ru/

Приложение 1

ПОРЯДОК ОПИСАНИЯ ССЫЛОК НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

СТАТЬЯ В ЖУРНАЛЕ:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Буянова И.В., Имангалиева Ж.К. Агрегат для тонкого измельчения творога // Вестник Международной академии холода. 2016. № 3. С. 23–26.

(кол-во авторов более 4):

Семенов Е.В., Бабакин Б.С., Воронин М.И., Белозёров А.Г. и др. Математическое моделирование процесса охлаждения хладоносителя системой замороженных шаров // Вестник Международной академии холода. 2016. № 4. С. 74–79.

СТАТЬЯ В ЖУРНАЛЕ С DOI:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Илюхина Н.В., Колоколова А.Ю. Закономерности ингибирования культуры *Salmonella* // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 209–212. doi: 10.20914/2310-1202-2018-4-209-212

(кол-во авторов более 4):

Шарова Н.Ю., Принцева А.А., Манжиева Б.С., Выборнова Т.В. и др. Ферменты гидролитического действия в технологиях переработки некондиционного крахмалсодержащего сырья // Пищевая промышленность. 2019. № 4. С. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ:

Содержание и технологии образования взрослых: проблема опережающего образования: сб. науч. тр. / Институт образования взрослых Рос. акад. образования; под ред. А.Е. Марона. М.: ИОВ, 2007. 118 с.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, ФОРУМОВ, СОВЕЩАНИЙ, СЕМИНАРОВ:

Цветкова И.И., Сводцева И.А. Индикаторный подход к оценке кадровой безопасности в системе экономической безопасности предприятия // Устойчивое развитие социально-экономической системы Российской Федерации: мат. XVII науч.-практ. конф., Гурзуф, Ялта, 04 декабря 2015 г. Симферополь: Ариал, 2016. С. 110–112.

КНИГА, МОНОГРАФИЯ:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Румянцева З.П. Менеджмент организаций. М.: Инфра-М, 2015. 432 с.

(кол-во авторов более 4):

Антипова Л.В., Сторублевцев С.А., Успенская М.Е., Попова Я.А. и др. Комплексная переработка кроликов: традиции и инновации: монография. Воронеж, 2017. 377 с.

ДИССЕРТАЦИЯ

Пономаренко Ю.А. Нетрадиционные корма и биологически активные вещества в рационах цыплят-бройлеров и кур-несушек: дис… д-ра с.-х. наук. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2017. 437 с.

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ:

Ушакова А.С. Разработка комплексной технологии переработки сушеного плодово-ягодного сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кемерово: Кемер. технол. ин-т пищевой пром., 2017. 22 с.

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ:

порядок описания:

Заглавие официального документа: сведения, относящиеся к заглавию (указ, постановление), Дата принятия документа / Название издания. Год издания. Количество страниц.

пример:

ГОСТ 5900–2014. Изделия кондитерские. Определение массовой доли влаги и сухих веществ. М.: Стандартинформ, 2015. 8 с.

ПАТЕНТ:

порядок описания:

Обозначение вида документа, номер, название страны, индекс международной классификации изобретений. Название изобретения / И.О.Фамилия изобретателя, заявителя, патентовладельца; Наименование учреждения-заявителя. Регистрационный номер заявки; Дата подачи; Дата публикации, сведения о публикуемом документе.

пример:

Пат. № 2689672, RU, A23L 5/00. Способ комплексной переработки семян сои с выделением белоксодержащих фракций / Четверикова И.В., Шевцов А.А., Ткач В.В., Сердюкова Н.А. № 2018107149; Заявл. 26.02.2018; Опубл. 01.07.2019. Бюл. № 19.

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕСУРС:

порядок описания:

Фамилия И.О. автора (если указаны). Название ресурса. Место издания: Издательство, год издания (если указаны). Адрес локального сетевого ресурса.

пример:

Лапидус Л.В. Центр компетенций цифровой экономики. Ассоциация граждан и организаций по содействию развитию корпоративного образования. URL: http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/

Приветствуется подача статей онлайн! Адрес: http://vestnik.vsuet.ru/

Приложение 2

ПОРЯДОК ОПИСАНИЯ ССЫЛОК НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ:

СТАТЬЯ ИЗ ЖУРНАЛА:

порядок описания:

Фамилия И.О. автора (транслитерация). Перевод названия статьи на английский. Перевод названия источника на английский язык. Год, том, номер, страницы (от-до). Указание на язык статьи (in Russian) после описания статьи.

пример:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 3. pp. 23–26. (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozerov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 4. pp. 74–79. (in Russian).

СТАТЬЯ С DOI:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Ilyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of Salmonella Culture. Bulletin of the Voronezh State University. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212 (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials. Food Industry. 2019. no. 4. pp. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058 (in Russian).

СТАТЬЯ ИЗ ЭЛЕКТРОННОГО ЖУРНАЛА:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. Journal of Computer Mediated Communication. 1999. vol. 5. no. 2. Available at: http://www. ascusc.org/ jcmc/vol5/ issue2/

СТАТЬЯ ИЗ ПРОДОЛЖАЮЩЕГОСЯ ИЗДАНИЯ (СБОРНИКА ТРУДОВ):

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. Experimental study of the strength of joints “steel-composite”. Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”. 2006. no. 593. pp. 125–130. (in Russian).

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise. Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation. Simferopol, Arial, 2016. pp. 110–112. (in Russian).

КНИГИ (МОНОГРАФИИ, СБОРНИКИ):

(кол-во авторов от 1 до 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations: a monograph. Moscow, Infra-M, 2015. 432 p. (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Antipova L.V., Storublevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Ya.A. et al. Complex processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p. (in Russian).

ДИССЕРТАЦИЯ ИЛИ АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ:

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials. Kemerovo, Kemer. Technol. Institute of Food Industry, 2017. 22 p. (in Russian).

ГОСТ:

State Standard 5900–2014. Confectionery products. Determination of the mass fraction of moisture and dry matter. Moscow, Standartinform, 2015. 8 p. (in Russian).

ПАТЕНТ:

Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions. Patent RF, no. 2689672, 2019.

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕСУРС:

Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. Available at: http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki / (in Russian).

List of requirements of drowing up materials in «Proceedings of the Voronezh state university of engineering technologies»

Editorial Board asks the authors to stick to the following rules in writing the papers, otherwise they may be rejected. Submitting the manuscripts for the review.

Submitting the article for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" includes: the paper has not been previously published; it is not being considered for publication in another publishing house; its publication has been approved by all authors and interlinked organizations in which this work was carried out; in case of the approval for publication the paper will not be published elsewhere in the same form, in English or any other language, including electronic form.

Submission form (application) for the publication of an article in a journal, filled up in accordance with the rules, should be sent to the following address: **19, Revolution av., 11 Voronezh 394000 Russia** and the electronic version of the paper with an attached manuscript file to an e-mail address vestnikvgta@mail.ru**.** Should specify the name of the first author of the article in the subject.

The electronic version of the paper should include: a file containing the text of the article, illustrations, tabular material in a separate file (if the amount of one table exceeds full page) and illustration (files in original format), preference is given to vector formats: eps, svg, ai, pdf.

If there are several authors, you must specify contact details of the authors to whom correspondence shall be addressed: address, phone / fax numbers and e-mail addresses.

The manuscript must be accompanied by a review from a specialist in this field, certified by signature and stamp.

Online application form is also available. The author can use the official website of the journal by completing registration at http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/user/register).

All articles received by the editorial board of the journal "Proceedings of the VSUET", are subject to mandatory unilateral anonymous ("blind") review (the authors do not know the names of reviewers of the manuscript, and will receive a letter with comments, signed by the chief editor).

After passing the review procedure and the approval of an article for publication, the authors' names and their listed order cannot be changed (addition, deletion, rearrangement). When submitting the final version of the article, please make sure that the list of authors is a complete and listed in a proper order.

ATTENTION: The author is solely responsible for the accuracy and originality of the information provided in the article. All manuscripts are checked for the presence of borrowings using "Antiplagiat" system. All manuscripts are tested with ANTIPLAGIAT for testing electronic documents for originality and reveal plagiarisms. The manuscript must comprise at least 80% of originality; otherwise the manuscript will be returned without the right to be published. Upon detection of copyright infringement or plagiarism in already published articles, they will be invalidated in accordance with the rules of COPE.

Requirements for structure of the paper

Articles in the journal "Proceedings of the VSUET" are published in Russian with English summary. In agreement with the editors, the publication may be done entirely in English.

By agreement, the editors accept publication of the article in English.

Full article (tables, text, footnotes, headers, inserts in a foreign language, references, captions, etc..) must be typed on a computer: in accordance with journal template formatting styles for MS Word 2007-2016..

The volume of the article, including references and captions must not exceed: for work of a common significance: from 5 to 20 pages, for news reports to 3 pages.

The manuscript should be structured to the following plan:

- *Type of article (original article, review article, short message or letter);*
- *UDC (Universal Decimal classification);*
- *DOI - numeric identifier (provided by the editors available for an extra fee);*
- *Full title of the article;*

- *First name (full), patronymic name (initials) and surname (full) of the author (s) e-mail;*
- *Name of the department (for a university) / laboratory (for Scientific Research Institute), the full name of the workplace, city, country;*
- *Abstract;*
- *Keywords;*
- *For reference (filled automatically);*
- *Structured text of the article;*
- *Thanks / acknowledgements;*
- *List of resources used (bibliography);*
- *Information about the authors;*
- *Contribution;*
- *Conflict of interest.*

The English version of the article title, first name, patronymic initial and last name of the authors, the full names of all workplaces, structured summaries and keywords must be given below a resume and keywords in Russian.

The editors reserve the right to correct the translation. It is recommended to take the help of a professional translator to avoid mistakes in compiling the English version of resume.

REQUIREMENTS TO THE CONTENT

I THE TITLE PAGE INCLUDES:

Article type

UDK

DOI:

TITLE OF THE ARTICLE. Title of work should be as short as possible (no more than 120 characters), and should accurately reflect its content. It is important to avoid titles in the form of interrogative sentences, as well as titles with an ambiguous meaning. Must use only standard abbreviations (acronyms).Must not use acronyms in the title. Full term should precede the first use of the acronym in the text.

FIRST NAME (FULL), PATRONYMIC (INITIAL) AND SURNAME (FULL) OF AUTHOR (S).

For example: **Aleksey D. Ivanov[1],**

Ivan A. Petrov[2]

FULL NAME OF ALL ORGANIZATIONS to which the authors are related. If the authors work in different institutions, the relationship of each author with his organization should be shown by using uppercase numbers, for example:

Example: Department (Laboratory), University (scientific research institute), city, country.

II. THE MAIN TEXT OF THE ARTICLE

The manuscripts of original research are submitted under the standard international scheme (IMRAD format - Introduction, Methods, Results and Discussion) and article should reflect the following headings:

Introduction - outlines the current state of the problem and the urgency of the study. It is necessary to give a critical assessment of the literature related to the issue. This assessment differentiates outstanding issues. Clear defined goals and objectives must be determined, explaining further research in a particular area;

Materials and methods - a fairly detailed description of the work is given. Previously published methods should be accompanied by a reference note: the author describes the changes related to the subject.

The results and discussion - the results should be clear and concise. Give a convincing explanation of the results and their significance so as the reader can not only independently assess the methodological advantages and disadvantages of the study, but also replicate if necessary.

Conclusion summarizes the main results of the research. The author gives recommendations and guidance on possible areas of further research.

The name and contents of figures and tables (rows and columns) should be given as in both Russian and English languages.

III ACKNOWLEDGEMENTS:

(when available - in Russian and English). The author should list persons, organizations, foundations, etc., who contributed help for a research, work and so on. (E.g. financial aid, language (linguistic) aid assistance in writing articles or editing proofreading , etc.)

IV. *REFERENCES*

Cited bibliography must contain at least 10 sources. Self-citations are allowed no more than 20 percent. At least 50 percent of the sources from the bibliography should be published in the last five years, including in the journals indexed in databases ***ScienceDirect, Web of Science, Scopus, Science Index***. Only in case of need the references to earlier works are allowed. The bibliography does not include textbooks, regulatory and archival materials, statistical collections, newspaper notes without the author's name, monographs, abstracts and theses. In the cited literature, it is desirable to specify the sources with **DOI**.

Bibliography (list of resources) is presented in two ways:

1. Russian along with foreign sources in accordance with GOST 7.0.5-2008 (All Union State standard).

2. Transliterated in the Latin alphabet with the translation of source publications into English for the international identification system.

Style of links (references):

In the article, the number of a link is enclosed in square brackets and placed in line with the text. You can give the names of the authors, but the number(s) of the references must always be present. The reference numbers (numbers in brackets) shall be in the reference list in the order in which they appear in text.

Example:

«... as shown [3; 6] or Barnaby and Jones [8] obtained a different result ... "

The author is solely responsible for the accuracy of bibliographic sources, including the English translation.

1. Russian version - in accordance with *Appendix 1, 2*

References in the Russian version of the article are given in the original language. All references should be made uniformly: only a dot (full stop) without dashes between the parts of description. Symbols № and & are not used; for a number you should use Latin letter N with no point after it; double slash separates the description of a larger document, which refers to the fragment. You should not put dot (full stop) before the double slash // but spaces before and after the double slash // are required.

2. The English (REFERENCES) - in accordance with Harvard standard:

References in English are primarily necessary to track cited authors and journals. The correct description of the sources used in reference lists is the guarantee that the quoted publication will be taken into account when assessing the scientific work of its authors, and thus the organization, region and country. Quoting a journal determines its scientific level, the credibility, the effectiveness of its Editorial Board, etc.

The names of sources and works are specified in full, without abbreviations. The titles of monographs, collections of articles and conferences are transliterated into Latin alphabet, followed by an English translation in brackets. The website *http://www.translit.ru/* can be used for free transliteration of Russian text in Latin letters (version of BSI).

In the bibliography **(English version), it is not allowed** to use separating characters ***«//», «–»*** and ***«№»***

Instead of references to materials of theses and abstracts, it is recommended to include references to the original articles on the subject of the thesis, as the theses themselves are viewed as the manuscripts and are not printed sources.

VI. BASIC ETHICAL PRINCIPLES

Articles accepted for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" must reveal the most significant, complete and previously unpublished research results.

To learn more on publication ethics and ethical standards for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" please visit the website.: *http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/about/editorialPolicies#custom-2*

The magazine «the Messenger ВГУИТ» leaves 4 times a year: № 1 – March; № 2 – June; № 3 – September; № 4 – December.

The article must be thoroughly checked and signed by all the authors. Name, middle name, last name, address, science degree, position, place of work, telephone number (office and home) E-mail, the person communicate to are pointed out on a separate sheet of paper.

Accompanying deeds should be applied on paper:

- The transmittal letter;
- An extract from the report of faculty meeting with paper recommendation for printing;
- The positive review of the leading scientist in the given area or a member of an editorial board of the series, authenticated by the signature and printing.

The question on paper publication, its deviation is solved by an editorial board of the log and ee the solution is definitive. In case of refund of paper for correction by representation date it is considered day of reception of the corrected text. Finishing term - no more than 1 month.

The materials mismatching given demands of registration, to the publication are not accepted. Manuscripts are not refunded to authors.

The pay for the publication of manuscripts is not raised from post-graduate students

VII. CONTACT INFORMATION

scientific and public journal "Proceedings of the VSUET"

If you have any questions, please contact the editorial office:

Anna A. Derkanosova - Ph.D., associate professor of department of Service and restaurant business, Head of the Centre for collective use "Control and management of energy efficient projects"

FSBEE HE "Voronezh state university of engineering technologies"

Tel.: 8 920 432 16 57

E-mail: vestnikvgta@mail.ru, aa-derk@yandex.ru

Address: 19, Revolution av., 11 Voronezh 394000 Russia

Appendix 1

ORDER OF DESCRIPTION OF LINKS IN RUSSIAN

JOURNAL ARTICLE:

(number of authors from 1 to 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese // Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. № 3. P. 23–26.

(number of authors more than 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozerov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls // Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. № 4. P. 74–79.

ARTICLE WITH DOI:

(number of authors from 1 to 4):

Ilyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of *Salmonella* Culture // Bulletin of the Voronezh State University. 2018.V. 80. № 4. P. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212

(number of authors more than 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials // Food Industry. 2019. № 4. P. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS:

The content and technology of adult education: the problem of advanced education: collection of scientific papers / Institute for Adult Education Ros. Acad. education; under the editorship of A.E. Marona. M.: JOB, 2007.118 p.

MATERIALS OF CONFERENCES, FORUMS, MEETINGS, SEMINARS:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise // Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation: mat. XVII scientific and practical. conf., Gurzuf, Yalta, December 4, 2015. Simferopol: Arial, 2016. P. 110–112.

BOOK, MONOGRAPH:

(number of authors from 1 to 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations. M.: Infra-M, 2015.432 p.

(number of authors more than 4):

Antipova L.V., Storulevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Y.A. et al. Integrated processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p.

DISSERTATION:

Ponomarenko Yu.A. Unconventional feeds and biologically active substances in the diets of broilers and laying hens: dis ... Dr. S.-kh. sciences. Sergiev Posad: VNITIP, 2017.443 p.

SUMMARY OF THE DISSERTATION

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials: abstract of the diss....cand. tech. sciences. Kemerovo: Kemer. technol. Institute of Food Industry, 2017.22 p.

REGULATORY DOCUMENTS:

description order:

Title of an official document: information related to the title (decree, resolution), Date of adoption of the document / Title of publication. The year of publishing. Number of pages.

example:

GOST 5900–2014. Confectionery. Determination of the mass fraction of moisture and solids. M.: Standartinform, 2015. 8 p.

PATENT:

description order:

Designation of the type of document, number, name of the country, index of international classification of inventions. Title of invention / name of inventor, applicant, patent holder; Name of applicant institution. Registration number of the application; Date of application; Date of publication, information about the published document.

example:

7 Pat. no. 2689672, RU, A23L 5/00. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions / Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. no. 2018107149; Appl. 26.02.2018; Publ. 01.07.2019. Bull. Number 19.

ELECTRONIC RESOURCE:

Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. URL: http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/

Appendix 2

ENGLISH LANGUAGE DESCRIPTION PROCEDURE:

JOURNAL ARTICLE:

description order:

Surname I.O. author (transliteration). Translation of the title of the article into English. Translation of the source name into English. Year, volume, number, pages (from-to). An indication of the language of the article (in Russian) after the description of the article.

example**:**

(number of authors from 1 to 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 3. pp. 23–26. (in Russian).

(number of authors more than 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozerov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 4. pp. 74–79. (in Russian).

ARTICLE WITH DOI:

(number of authors from 1 to 4):

Ilyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of Salmonella Culture. Bulletin of the Voronezh State University. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212 (in Russian).

(number of authors more than 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials. Food Industry. 2019. no. 4. pp. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058 (in Russian).

ARTICLE FROM ELECTRONIC JOURNAL:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. Journal of Computer Mediated Communication. 1999. vol. 5. no. 2. Available at: http://www. ascusc.org/ jcmc/vol5/ issue2/

ARTICLE FROM CONTINUING PUBLICATIONS (PROCEEDINGS):

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. Experimental study of the strength of joints “steel-composite”. Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”. 2006. no. 593. pp. 125–130. (in Russian).

CONFERENCE MATERIALS:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise. Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation. Simferopol, Arial, 2016. pp. 110–112. (in Russian).

BOOK, MONOGRAPH:

(number of authors from 1 to 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations: a monograph. Moscow, Infra-M, 2015. 432 p. (in Russian).

(number of authors more than 4):

Antipova L.V., Storublevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Ya.A. et al. Complex processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p. (in Russian).

DISSERTATION OR SUMMARY OF THE DISSERTATION:

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials. Kemerovo, Kemer. Technol. Institute of Food Industry, 2017. 22 p. (in Russian).

GOST:

State Standard 5900–2014. Confectionery products. Determination of the mass fraction of moisture and dry matter. Moscow, Standartinform, 2015. 8 p. (in Russian).

PATENT:

Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions. Patent RF, no. 2689672, 2019.

ELECTRONIC RESOURCE:

Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. Available at: http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki / (in Russian).