

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»



**ВЕСТНИК
ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

ВЕСТНИК ВГУИТ

2023, Том. 85, № 3

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В 1938 ГОДУ
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД

**Воронеж
2023**

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education

«VORONEZH STATE UNIVERSITY
OF ENGINEERING TECHNOLOGIES»

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

Proceedings of VSUET

2023, Vol. 85, No. 3

SCIENTIFIC AND THEORETICAL JOURNAL

FOUNDED IN 1938
COMES 4 TIMES PER YEAR

**Voronezh
2023**

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

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

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

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

1.1 Процессы и аппараты пищевых производств

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

1.2 Пищевая биотехнология

4.3.3. Пищевые системы (технические науки)

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

2. Химическая технология

2.6.7. Технология неорганических веществ (технические науки)

2.6.7. Технология неорганических веществ (химические науки)

2.6.10. Технология органических веществ (химические науки)

2.6.10. Технология органических веществ (технические науки)

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

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

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

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (физикоматематические науки)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

Председатель (Главный редактор):

КОРНЕЕВА ОЛЬГА СЕРГЕЕВНА доктор биологических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, врио ректора, зав. кафедрой биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-2863-0771

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ РУБРИК

Процессы и аппараты пищевых производств

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

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

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

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

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

ВАСИЛЕНКО ВИТАЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ доктор технических наук, профессор, проректор по учебной работе, зав. кафедрой машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-1547-9814

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

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

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

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

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

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

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

Пищевая биотехнология

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Химическая технология

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

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

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

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

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

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

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

НИКУЛИН СЕРГЕЙ 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'Аквила (Аквила, Италия)

Экономика и управление

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Официальный сайт «Вестник ВГУИТ» www.vestnik-vsuet.ru

Подписной индекс издания в агентстве "Роспечать" 70927

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

Учредитель: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

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

Адрес университета, редакции, издательства и отдела полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»

394036, Воронеж, пр. Революции д.19 ауд.11

тел./факс: (473) 255-37-16

E-mail: post@vestnik-vsuet.ru

Сдано в набор 04.09.2023. Подписано в печать 20.09.2023

Выход в свет: 29.09.2023

Формат 70×100 1/8.

Усл. печ. л. 39 Тираж 1500 экз. Заказ.

Цена – свободная.

© ФГБОУ ВО

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

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

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

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

Journal materials are placed in

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

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

1.1 Food production processes and apparatus

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

1.2 Food biotechnology

4.3.3. Food systems (engineering sciences)

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

2. Chemical technology

2.6.7. Technology of inorganic substances (engineering sciences)

2.6.7. Technology of inorganic substances (chemical sciences)

2.6.10. Technology of organic substances (chemical sciences)

2.6.10. Technology of organic substances (engineering sciences)

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

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

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

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

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

EDITORIAL COUNCIL

Chairman (Editor-in-chief):

KORNEEVA, OLGA SERGEEVNA doctor of biological sciences, professor, honored worker of higher school of Russia, acting rector, head of the department of biochemistry and biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0002-2863-0771

EDITORIAL TEAM

Processes and devices for food production

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

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

ANTIPOV, SERGEY TIKHONOVICH Doctor of Technical Sciences, professor, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, honored inventor of the Russian Federation, Professor of the Department of Machines and Apparatuses of Food Production, Voronezh state university of engineering technologies (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0002-8932-5922

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

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

VASILENKO, VITALII NIKOLAEVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Academic Affairs. Head of the Department of Machines and Apparatuses of Food Production, the Dean of the Technology Faculty, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0002-1547-9814

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

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

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

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

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

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

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

Food biotechnology

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Chemical Technology

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Economics and Management

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Official site: www.vestnik-vsuet.ru

Subscription index of the publication in the Rospechat agency 70927

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

Founder: Voronezh State University of Engineering Technologies

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

Address of the university, editorial office, publishing house and printing department of FSBEI HE "VGUIT"

394036, Voronezh, pr. Revolution 19, room 11

tel / fax: (473) 255-37-16

E-mail: post@vestnik-vsuet.ru

Put in set 04.09.2023. Signed to print 20.09.2023

The publication: 29.09.2023

Format 70×100 1/8.

Conditional Print l. 39 Circulation 1500 copies.

Price - Free.

© FSBEI HE

"Voronezh State University
of Engineering
Technologies", 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Смагина М.Н., Смагин Д.А. Скорость температурного прироста во внутренних слоях мясных изделий при термообработке в паровоздушных средах	17
Черепанова Н.Г., Просекова Е.А., Семак А.Э., Мизинов М.Г., Агаркова А.А. Влияние различных температурных воздействий на микроструктуру кукурузного крахмала в составе мясного продукта	28
Семынин М.В., Костенко М.Ю. Анализ актуальных методов повышения надежности рулевого управления сельскохозяйственного транспорта при передвижении по деформируемому грунту	36
Мацкевич И.В., Невзоров В.Н., Тепляшин В.Н., Мальцев А.А. Разработка технологии центробежного шелушения семян зерновых культур	42

ПИЩЕВАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

Рутаганира Дж., Гламаздин И. Надежность рутинного инструмента ветеринарных врачей для контроля мяса крупного рогатого скота по специфической идентификации цистицерков в мышечной ткани	48
Бородулин Д.М., Сухоруков Д.В., Суворова Ю.П. Обзор конструкций барабанных смесителей, подавляющих сегрегацию сыпучих смесей	52
Васюкова А.Т., Кусова И.У., Эдварс А.Р., Вадовский И.К., Шарова Т.Н., Джабоева А.С. Моделирование рыбных изделий с БАД	60
Мелешкина Е.П., Коломиец С.Н., Жильцова Н.С. Количество повреждённого крахмала в муке лабораторного и производственного помолов	67
Иванов В.В., Руднев С.Д., Бородулин Д.М., Крикун А.И. Механоактивация водных растворов как способ улучшения перемешивания и структурообразования в дисперсных системах	74
Туршатов М.В., Кононенко В.В., Леденев В.П., Кривченко В.А., Соловьев А.О., Никитенко В.Д. Анализ водопотребления в технологических процессах переработки зерна на спирт	84
Питкин В.А., Симонова А.Е. Особенности организации рационального питания студентов при занятиях массовой физической культурой и спортом	90
Еремин А.Е., Беляева М.А. Многокритериальная оптимизация процессов Cook&Chill для сетевых предприятий питания	98
Образцова С.В., Бондарева О.В., Свиридова Т.В., Шуваева Г.П., Мещерякова О.Л., Корнеева О.С. Подбор мультиэнзимного комплекса для снижения содержания антипитательных веществ в зеленой массе амаранта	106
Долматова О.И., Кривобоков Е.А. Сырки творожные глазированные функционального назначения	113
Берегарт С.Т., Хатко З.Н., Тазова З.Т., Блягоз А.И., Колотий Т.Б. Анализ потребительского рынка песочного печенья в Республике Адыгея	119
Долматова О.И., Глебовская Т.Ю. Исследование показателей качества сметанных продуктов, обогащенных экстрактами чайных напитков	125
Рутаганира Д.О., Гламаздин И.Г. Заболевания пищевого происхождения, вызванные тканевыми паразитическими простейшими	131
Беркетова Л.В. Исследование маскирования горького вкуса при разработке функциональных напитков на основе седативного сбора	136
Таратухин А.С., Магомедов Г.О., Хвостов А.А., Магомедов М.Г., Журавлев А.А., Плотникова И.В. Многокритериальная оптимизация технологических параметров СВЧ-выпечки сбивного бездрожжевого бескоркового хлеба	143
Грибова Н.А. Исследование технологических процессов извлечения экстрактивных веществ из осмобезвоженной ягодной продукции	153
Матвиенко Н.А., Фролова Л.Н., Яковлева С.Ф., Мотина Е.А., Ковалева Т.С., Яковлев А.Н. Получение пектина из столовой свёклы как сырья для продуктов функционального назначения	158

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Губанова М.И., Соловьева А.О., Кириш И.А., Банникова О.А. Современные аспекты исследования влияния физических воздействий на свойства полимеров	165
Гильмутдинов А.Ф., Акмырадов А.А., Антонов В.А., Ибрагимов М.А., Зиновьева Е.Г. Динамические свойства бутадиен-стирольных резин со слоистыми силикатами	173
Астахов В.А., Губанова М.И. Исследование влияния ультразвукового воздействия на растворы полимеров при получении биоразлагаемых упаковочных материалов	180
Абоносимов О.А., Лазарев С.И., Хребтова М.А., Полянский К.К., Котенев С.И., Лазарев Д.С. Исследование эффективности электромембранного разделения технологических растворов очистных сооружений ООО «РКС–Тамбов»	187
Мелесее И.И., Филинская Ю.А., Кириш И.А., Альхаир А.Ю., Банникова О.А. Биопластик: свойства, возобновляемые ресурсы биомассы, синтез и применение	199

CONTENTS

PROCESSES AND APPARATUSES OF FOOD ENGINEERING

Smagina M.N., Smagin D.A. The rate of temperature increase in the inner layers of meat products during heat treatment in steam-air environments	17
Cherepanova N.G., Prosekova E.A., Semak A.E., Mizinov M.G., Agarkova A.A. The influence of various temperature effects on the microstructure of corn starch in the composition of the meat product	28
Semynin M.V., Kostenko M.Yu. Analysis of current methods for improving the reliability of steering systems in agricultural transport when moving on deformable soils	36
Matskevich I.V., Nevzorov V.N., Teplyashin V.N., Maltsev A.A. Development of technology for centrifugal hulling of grain seeds	42

FOOD BIOTECHNOLOGY

Rutaganira J., Glamazdin I. Reliability of Veterinarians routine Cattle meat inspection tool on Specific identification of Cysticerci in bovine muscle tissue	48
Borodulin D.M., Sukhorukov D.V., Suvorova Yu.P. Overview of drum mixer designs suppressing segregation of bulk mixture	52
Vasyukova A.T., Kusova I.U., Edwards A.R., Vadovskiy I.K., Sharova T.N., Dzhaboeva A.S. Modeling of fish products with dietary supplements	60
Meleshkina E.P., Kolomiets S.N., Zhiltsova N.S. Amount of damaged starch in laboratory and production grinding flour	67
Ivanov V.V., Rudnev S.D., Borodulin D.M., Krikun A.I. Mechanical activation of aqueous solutions as a way to improve mixing and structure formation in dispersed systems	74
Turshatov M.V., Kononenko V.V., Ledenev V.P., Krivchenko V.A., Solovyev A.O., Nikitenko V.D. Analysis of water consumption in technological processes of grain processing for alcohol	84
Pitkin V.A., Simonova A.E. Features of the organization of rational nutrition of students during mass physical culture and sports	90
Eremin A.E., Belyaeva M.A. Multi-criteria optimization of Cook&Chill processes for network catering establishments	98
Obraztsova S.V., Bondareva O.V., Sviridova T.V., Shuvaeva G.P., Meshcheryakova O.L., Korneeva O.C. Selection of a multienzyme complex to reduce the content of anti-nutrients in the green mass of amaranth	106
Dolmatova O.I., Krivobokov E.A. Glazed curd curds of functional purpose	113
Beretar S.T., Khatko Z.N., Tazova Z.T., Blagoz A.I., Kolotiy T.B. Shortbread Consumer Market Analysis in the Republic of Adygea	119
Dolmatova O.I., Glebovskaya T.Yu. Study of quality indicators of sour cream products enriched with ex-tracts of tea drinks	125
Rutaganira J.O., Glamazdin I.G. Foodborne illnesses caused by tissue parasitic protozoa	131
Berketova L.V. Investigation of bitter taste masking in the development of functional beverages based on sedative collection	136
Taratukhin A.S., Magomedov G.O., Khvostov A.A., Magomedov M.G., Zhuravlev A.A., Plotnikova I.V. Multi-criteria optimization of technological parameters of microwave baking of whipped yeast-free bread without crust	143
Gribova N.A. Study of technological processes of extractive substances extraction from osmo-dehydrated berry products	153
Matvienko N.A., Frolova L.N., Yakovleva S.F., Motina E.A., Kovaleva T.S., Yakovlev A.N. Obtaining pectin from table beets as a raw material for functional products	158

CHEMICAL TECHNOLOGY

- Gubanova M.I., Solovyova A.O., Kirsh I.A., Bannikova O.A.** Modern aspects of the study of the influence of physical effects on the properties of polymers 165
- Gilmutdinov A.F, Akmyradow A.A., Antonov V.A., Ibragimov M.A., Zinovjeva E.G.** 173
Dynamic properties of butadiene styrene rubbers with layered silicates
- Astakhov V.A., Gubanova M.I.** Investigation of the effect of ultrasonic exposure on polymer solutions in the production of biodegradable packaging materials 180
- Abonosimov O.N., Lazarev S.I., Hrebtova M.A., Polyansky K.K., Kotenev S.I., Lazarev D.S.** 187
Study of the efficiency of electromembrane separation of technological solutions of treatment facilities of RKS-Tambov
- Melesse E.Y., Filinskaya Yu.A., Kirsh I.A., Alkhair A.Y., Bannikova O.A.** Food packaging bio-based plastics: properties, renewable biomass resources, synthesis, and applications 199

Процессы и аппараты пищевых производств**Processes and devices for food production**DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2023-3-17-27>

Оригинальная статья/Research article

УДК 536.2:637.5

Open Access

Available online at vestnik-vsuet.ru**Скорость температурного прироста во внутренних слоях мясных изделий при термообработке в паровоздушных средах**Марина Н. Смагина¹ m.n.smagina@mail.ru  0009-0006-8762-4730Денис А. Смагин¹ denis_smagin@mail.ru  0009-0004-2974-5580¹ Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, пр-т Шмидта, 3, г. Могилев, 212027, Республика Беларусь

Аннотация. Проведены исследования по изучению скорости температурного прироста в подкорковом и центральном слоях изделий из мясного сырья с различным соотношением влажность/жирность при нагревании в паровоздушных средах. В качестве объектов исследований выбраны куриное филе без кожи (влажный обезжиренный образец (далее ВОО), влажность – 74,5 %, жирность – 1,4 %) и мясо лопаточной части свиной туши (маловлажный жирный образец (далее МЖО), влажность – 55,1 %, жирность – 29,4 %). Изделия формовались в виде одномерных цилиндра и пластины. Нагревание осуществлялось в среде сухого воздуха и паровоздушной смеси влажностью 80–85 % при температурах теплоносителя 160–240 °С. Замеры осуществлялись в подкорковом слое (верхний влажный) и в центре (внутренний влажный). Определены общие скорости температурного прироста в исследуемых слоях, описаны наблюдаемые закономерности. Для более полного описания процесс разделили на периоды разогрева и доведения до готовности; выбран вариант разделения по темпу нагревания, которое осуществлено по результатам анализа изменений избыточной температуры во времени. Для анализа представленных данных рассчитывали соотношения скоростей температурного прироста в зависимости от вида теплоносителя и образца. Показано, что скорость температурного прироста увеличивается при повышении температуры теплоносителя на обоих периодах обработки для всех исследуемых вариантов. На начальном этапе более высокая скорость температурного прироста наблюдается при нагревании в паровоздушной смеси (связано с преобладающей теплоотдачей за счет конденсации), в основном этапе – в воздушной (связано с преобладающей теплоотдачей за счет конвекции). Для подкоркового слоя на начальном этапе более высокий температурный прирост наблюдается для МЖО, в основном этапе – для ВОО (связано с испарительной способностью материала). Для центра более высокий прирост наблюдается для ВОО в обоих периодах (связано с тормозящим эффектом жирового расплава МЖО).

Ключевые слова: скорость нагревания, температурный прирост, мясные изделия, термообработка, запекание.

The rate of temperature increase in the inner layers of meat products during heat treatment in steam-air environmentsMarina N. Smagina¹ m.n.smagina@mail.ru  0009-0006-8762-4730Denis A. Smagin¹ denis_smagin@mail.ru  0009-0004-2974-5580¹ Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Schmidt Ave., 3, Mogilev, 212027, Republic of Belarus

Abstract. Studies have been conducted to study the rate of temperature increase in the subcortical and central layers of meat products with a different ratio of moisture/fat content when heated in steam-air environments. Skinless chicken fillet (wet fat-free sample) was selected as the objects of research SBI, humidity – 74.5%, fat content – 1.4%) and the meat of the shoulder part of the pork carcass (low-moisture, greasy sample), humidity – 55.1%, fat content – 29.4%). The products were molded in the form of a one-dimensional cylinder and plate. Heating was carried out in an environment of dry air and a vapor–air mixture with a moisture content of 80–85% at coolant temperatures of 160 ... 240 °C. Measurements were carried out in the subcortical layer (upper moist) and in the center (inner moist). The general rates of temperature increase in the studied layers are determined, the observed patterns are described. For a more complete description, the process was divided into periods of heating and bringing to readiness; a variant of separation by heating rate was selected, which was carried out based on the results of an analysis of changes in excess temperature over time. To analyze the presented data, the ratios of the rates of temperature increase were calculated depending on the type of coolant and the sample. It is shown that the rate of temperature increase increases with an increase in the temperature of the coolant at both treatment periods for all the studied variants. At the initial stage, a higher rate of temperature increase is observed when heated in a vapor–air mixture (due to the predominant heat transfer due to condensation), at the main stage – in the air (due to the predominant heat transfer due to convection). For the subcortical layer, at the initial stage, a higher temperature increase is observed for the low-moisture, greasy sample, at the main stage – for the wet fat-free sample (due to the evaporative capacity of the material). For the center, a higher increase is observed for the wet fat-free sample in both periods (due to the inhibitory effect of the fat melt of the low-moisture, greasy sample).

Keywords: heating rate, temperature increase, meat products, heat treatment, baking.

Для цитирования

Смагина М.Н., Смагин Д.А. Скорость температурного прироста во внутренних слоях мясных изделий при термообработке в паровоздушных средах // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 17–27. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-17-27

For citation

Smagina M.N., Smagin D.A. The rate of temperature increase in the inner layers of meat products during heat treatment in steam-air environments. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 17–30. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-17-27

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

Введение

Жарка (запекание) – способ тепловой обработки пищевых продуктов при непосредственном соприкосновении их с греющей средой при температуре, обеспечивающей образование на поверхности корочки. Принципиальным отличием жарочных операций является сравнительно «жесткое» термическое воздействие на поверхностный слой, характеризующееся «перегревом» внешней оболочки, осуществляемое при температурах греющей среды, значительно превышающей температуру кипения воды при атмосферном давлении.

Мясной продукт в ходе технологических операций жарки и запекания не однороден; в массе выделяют поверхность, корковый, подкорковый, периферийные и центральный слой. Поверхность непосредственно участвует во внешнем теплообмене с греющей средой; температура поверхности определяется количеством теплоты, подводимой от греющей среды и отводимой в корку. Корковый слой получает теплоту от поверхности, рассеивает и передает на нижележащие слои; характеризуется отличной от внутренних слоев структурой, крайне низкой влажностью и теплофизическими характеристиками, близкими к сухому материалу. Подкорковый слой представляет собой промежуточный слой между коркой и основным продуктом с конечной температурой близкой к температуре кипения свободной влаги. Далее располагаются периферийные слои с постепенно понижающейся температурой. Центральный слой характеризуется наименьшей температурой, величина которой определяет степень кулинарной готовности.

Скорость прироста температуры подкоркового слоя (верхний влажный) и центра (внутренний влажный) значительно различается как в целом по процессу, так и на отдельных его этапах. Данные различия определяют различную интенсивность и глубину протекания физико-химических преобразований нутриентов и массообменных превращений, степень изменения теплофизических и реологических характеристик биологического материала и т. д.

В научной литературе приведены различные варианты описания процесса нагревания мясoproductов [1–19]. Однако, обобщающих исследований по влиянию нутриентного состава, стереометрической формы изделия, вида теплоносителя, температурного режима на скорость прироста температуры в основных влажных слоях не проводилось.

Цель исследования – изучить особенности скорости прироста температуры в подкорковом и центральном слоях изделий канонических

форм из мясного сырья с различным соотношением влажность/жирность на различных этапах нагревания при термообработке в паровоздушных средах различной влажности.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования были выбраны два образца измельченного мясного сырья различных по соотношению влаго- и жирносодержанию: 1 – влажный обезжиренный образец (куриное филе без кожи, влажность – 74,5%, жирность – 1,4%), 2 – маловлажный жирный образец (лопаточная часть свинины, влажность – 55,1%, жирность – 29,4%).

Образцы формовались в виде канонических тел: одномерная пластина с размерами $a \times b \times h = 160 \times 160 \times 32$ мм и одномерный цилиндр с размерами $d \times H = 60 \times 320$ мм. Для этого применяли специальные кассеты, которые обеспечивают прямой контакт поверхности изделия с греющей средой.

Для определения температуры во внутренних слоях изделия (подкорковый и центральный) использовали набор термоэлектрических преобразователей ТХА(К) – 1199/52/2/1500/0,5 с диаметром термоэлектродов 0,5 мм в кремнеземной оплетке.

Подготовленные образцы подвергали тепловой обработке в пароконвекционном аппарате в среде нагретого воздуха и паровоздушной смеси влажности 80–85% в диапазоне температур 160–240 °С до достижения температуры в центре заготовки 85 °С.

Результаты и обсуждение

В ходе запекания в мясoproductах выделяются верхний и внутренний слои. Верхний слой представлен коркой, которая выполняет роль теплопередающей стенки между греющей средой и тепловоспринимающими внутренними слоями; при этом корка является практически сухим веществом, а внутренние слои – влажным материалом. Приrost температур внутренних слоев определяется спецификой нагревания подкоркового и центрального слоев, периферийные слои занимают промежуточное положение. Поэтому температурные замеры осуществляли для подкоркового и центрального слоев. Скорость температурного прироста определялась в виде отношения прироста температуры Δt к соответствующему временному промежутку Δt . Расчет общей скорости температурного прироста подкоркового и центрального слоев исследуемых изделий приведен в таблице 1.

Таблица 1.

Общая скорость температурного прироста исследуемых слоев

Table 1.

The total rate of temperature increase of the studied layers

Вид материала Type of material	Температура греющей среды, °C Temperature of the heating medium, °C	Скорость температурного прироста $\partial t / \partial \tau$, °C/мин Rate of temperature increase, C / min $\partial t / \partial \tau$ °			
		подкорковый слой subcortical layer		центральный слой central layer	
		Греющая среда Heating environment			
		нагретый воздух heated air	паровоздушная смесь steam-air mixture	нагретый воздух heated air	паровоздушная смесь steam-air mixture
Форма – цилиндр / пластина Shape – cylinder / plate					
Влажный обезжиренный фарш Wet fat-free minced meat	160	2,43 / 2,25	2,57 / 2,43	2,02 / 1,87	2,14 / 2,02
	200	2,81 / 2,64	2,95 / 2,81	2,34 / 2,2	2,46 / 2,34
	240	3,1 / 2,81	3,27 / 3,0	2,58 / 2,34	2,72 / 2,5
Маловлажный жирный фарш Low-moisture greasy mince	160	1,87 / 1,83	1,89 / 1,87	1,56 / 1,53	1,58 / 1,56
	200	2,36 / 2,3	2,4 / 2,37	1,97 / 1,92	2,0 / 1,97
	240	2,72 / 2,57	2,72 / 2,61	2,27 / 2,14	2,27 / 2,17

Скорость температурного прироста увеличивается при повышении температуры греющей среды для всех исследованных вариантов. Для паровоздушной смеси характерна несколько более высокая интенсивность протекания процесса, снижающаяся по мере роста температуры. Маловлажный жирный материал характеризуется меньшей скоростью прироста, чем влажный обезжиренный. Изделия в форме пластины нагреваются медленнее, чем в форме цилиндра.

Для более полного описания наблюдаемой картины определяли скорость температурного прироста отдельно для периода разогрева (начальный) и периода доведения до готовности (основной).

Процесс нагревания мясопродуктов может быть разделен по принципу окончания протекания физико-химических реакций эндотермического характера по объему полуфабриката. Начальный период в данном варианте заканчивается при достижении объемной температуры 60 °C, при которой завершаются процессы денатурации белков и плавления жира.

Также процесс нагревания мясопродуктов можно разделить по принципу достижения в заданном слое фронта температурных возмущений. Начальный период в данном варианте заканчивается с началом температурного роста в центре изделия.

Однако, данные подходы имеют ряд недостатков для решения поставленной задачи. В первом случае основной этап будет очень мал по отношению к начальному и неэффективен для оценки температурного прироста. При этом кривая нагревания центра на начальном этапе будет иметь сложную конфигурацию, а подкорковый слой прогреется до постоянной температуры. Во втором случае начальный этап будет крайне мал по отношению к основному, а кривая нагревания центра в основном этапе будет иметь сложную конфигурацию.

Запеченные мясные изделия в ходе тепловой обработки классифицируются как массивные тела [20]. Нагревание массивных тел в среде с постоянной температурой характеризуется темпом нагревания. Темп нагревания представляет собой величину, обратную времени, за которое продукт нагрелся бы до заданной температуры, если бы нагревание происходило с постоянной скоростью, равной скорости прогрева в начальный момент. Таким образом, процесс нагревания мясопродуктов целесообразно разделять на периоды, исходя из величины темпа нагревания. Для определения темпа нагревания строили графические зависимости изменения избыточной температуры ($t_{ж}-t$) во времени в полулогарифмических координатах (рисунки 1–8).

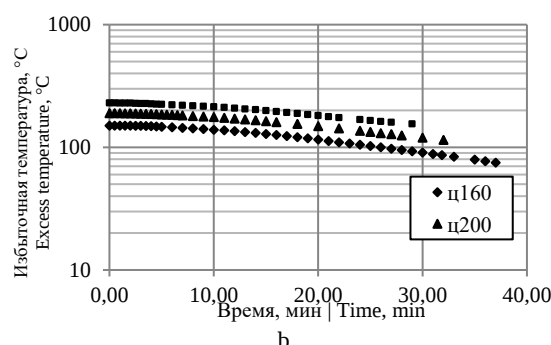
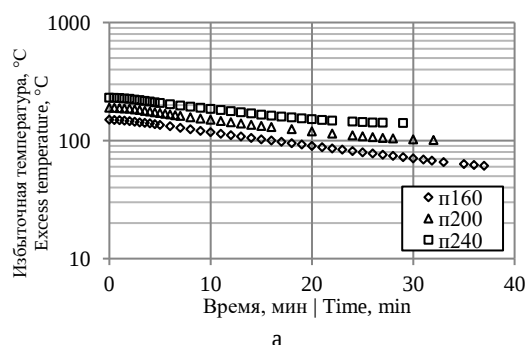


Рисунок 1. Изменение избыточной температуры слоев изделий во времени для влажного обезжиренного фарша в форме одномерного цилиндра в среде горячего воздуха а – подкорковый слой; б – центральный слой; п160, п200, п240 (ц160, ц200, ц240) – изменение температуры в подкорковом (центральном) слое образца при температуре греющей среды соответственно 160, 200 и 240 °C

Figure 1. Change in excess temperature of product layers over time for moist low-fat minced meat in the form of a one-dimensional cylinder in a hot air environment: а – subcortical layer; б – central layer; п160, п200, п240 (ц160, ц200, ц240) – temperature change in the subcortical (central) layer of the sample at the temperature of the heating medium, respectively, 160, 200 and 240 °C

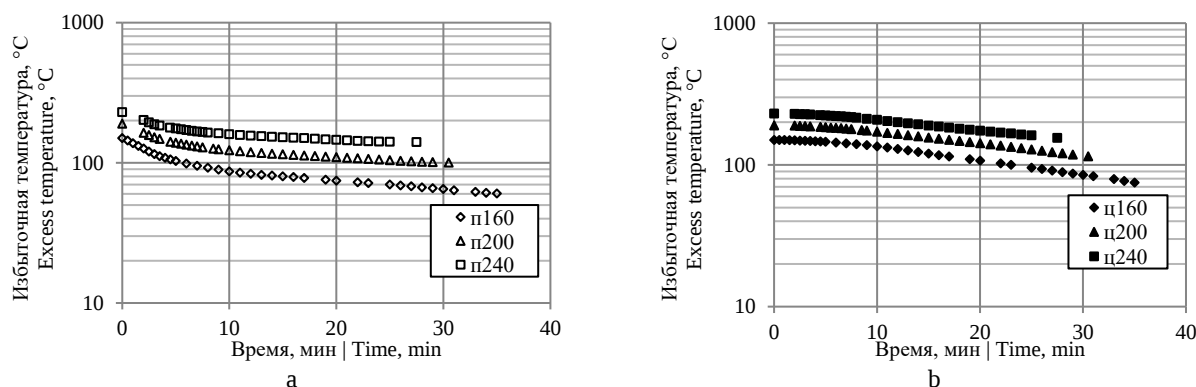


Рисунок 2. Изменение избыточной температуры слоев изделий во времени для влажного обезжиренного фарша в форме одномерного цилиндра в паровоздушной среде: а – подкорковый слой; б – центральный слой; п160, п200, п240 (ц160, ц200, ц240) – изменение температуры в подкорковом (центральной) слое образца при температуре греющей среды соответственно 160, 200 и 240 °С

Figure 2. Change in excess temperature of product layers over time for moist low-fat minced meat in the form of a one-dimensional cylinder in a vapor-air environment: а – subcortical layer; б – central layer; п160, п200, п240 (ц160, ц200, ц240) – temperature change in the subcortical (central) layer of the sample at the temperature of the heating medium, respectively, 160, 200 and 240 °С

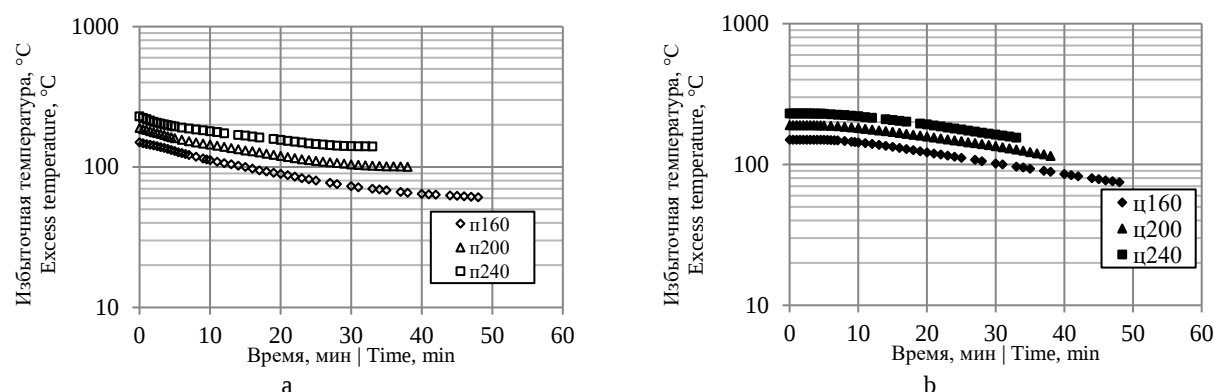


Рисунок 3. Изменение избыточной температуры слоев изделий во времени для маловлажного жирного фарша в форме одномерного цилиндра в среде горячего воздуха: а – подкорковый слой; б – центральный слой; п160, п200, п240 (ц160, ц200, ц240) – изменение температуры в подкорковом (центральной) слое образца при температуре греющей среды соответственно 160, 200 и 240 °С

Figure 3. Change in excess temperature of product layers over time for low-moisture fatty minced meat in the form of a one-dimensional cylinder in a hot air environment: а – subcortical layer; б – central layer; п160, п200, п240 (ц160, ц200, ц240) – temperature change in the subcortical (central) layer of the sample at the temperature of the heating medium, respectively, 160, 200 and 240 °С

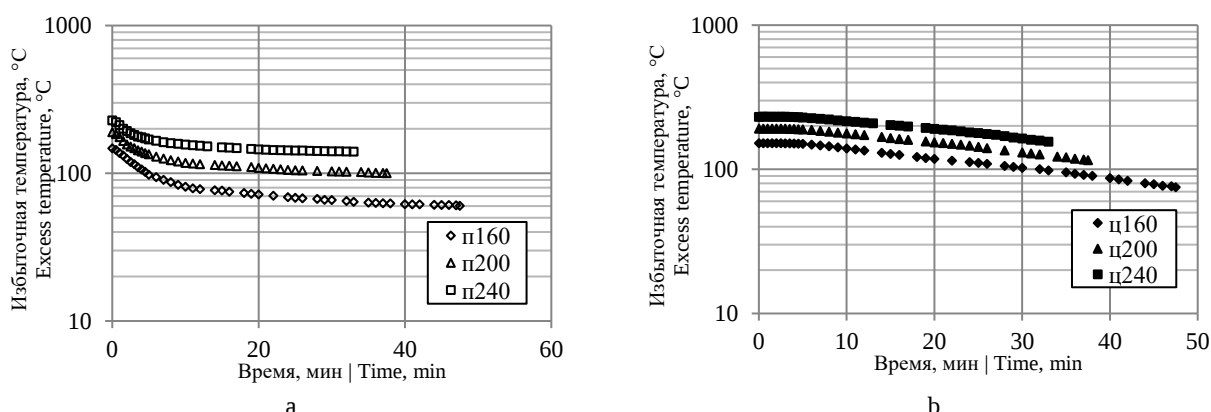


Рисунок 4. Изменение избыточной температуры слоев изделий во времени для маловлажного жирного фарша в форме одномерного цилиндра в паровоздушной среде: а – подкорковый слой; б – центральный слой; п160, п200, п240 (ц160, ц200, ц240) – изменение температуры в подкорковом (центральной) слое образца при температуре греющей среды соответственно 160, 200 и 240 °С

Figure 4. Change in excess temperature of product layers over time for low-moisture fatty minced meat in the form of a one-dimensional cylinder in a vapor-air environment: а – subcortical layer; б – central layer; п160, п200, п240 (ц160, ц200, ц240) – temperature change in the subcortical (central) layer of the sample at the temperature of the heating medium, respectively, 160, 200 and 240 °С

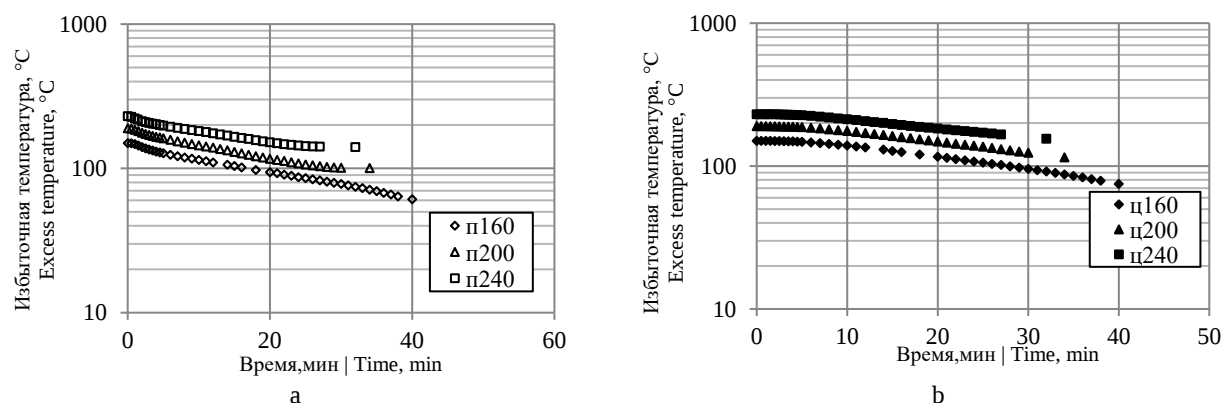


Рисунок 5. Изменение избыточной температуры слоев изделий во времени для влажного обезжиренного фарша в форме одномерной пластины в среде горячего воздуха: а – подкорковый слой; б – центральный слой; п160, п200, п240 (ц160, ц200, ц240) – изменение температуры в подкорковом (центральной) слое образца при температуре греющей среды соответственно 160, 200 и 240 °С

Figure 5. Change in excess temperature of product layers over time for wet fat-free minced meat in the form of a one-dimensional plate in a hot air environment: а – subcortical layer; б – central layer; п160, п200, п240 (ц160, ц200, ц240) – temperature change in the subcortical (central) layer of the sample at the temperature of the heating medium, respectively, 160, 200 and 240 °С

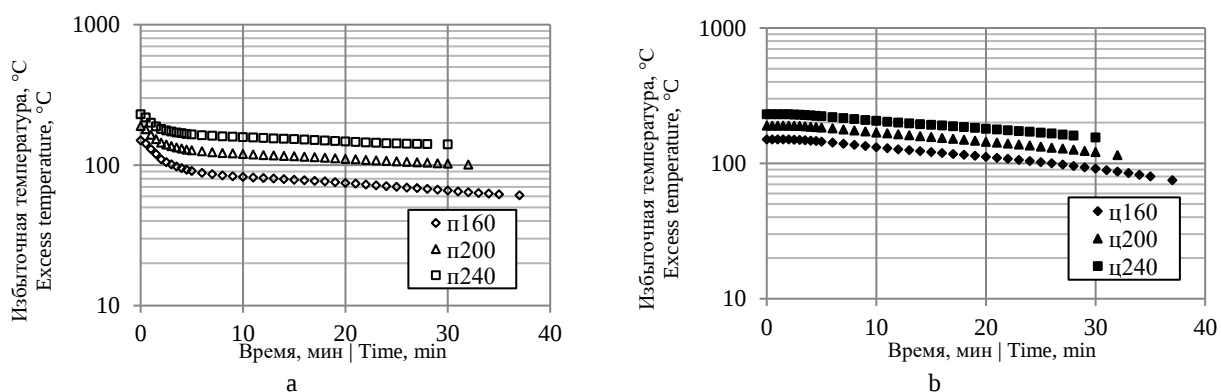


Рисунок 6. Изменение избыточной температуры слоев изделий во времени для влажного обезжиренного фарша в форме одномерной пластины в паровоздушной среде: а – подкорковый слой; б – центральный слой; п160, п200, п240 (ц160, ц200, ц240) – изменение температуры в подкорковом (центральной) слое образца при температуре греющей среды соответственно 160, 200 и 240 °С

Figure 6. Change in excess temperature of product layers over time for moist low-fat minced meat in the form of a one-dimensional plate in a vapor-air environment: а – subcortical layer; б – central layer; п160, п200, п240 (ц160, ц200, ц240) – temperature change in the subcortical (central) layer of the sample at the temperature of the heating medium, respectively, 160, 200 and 240 °С

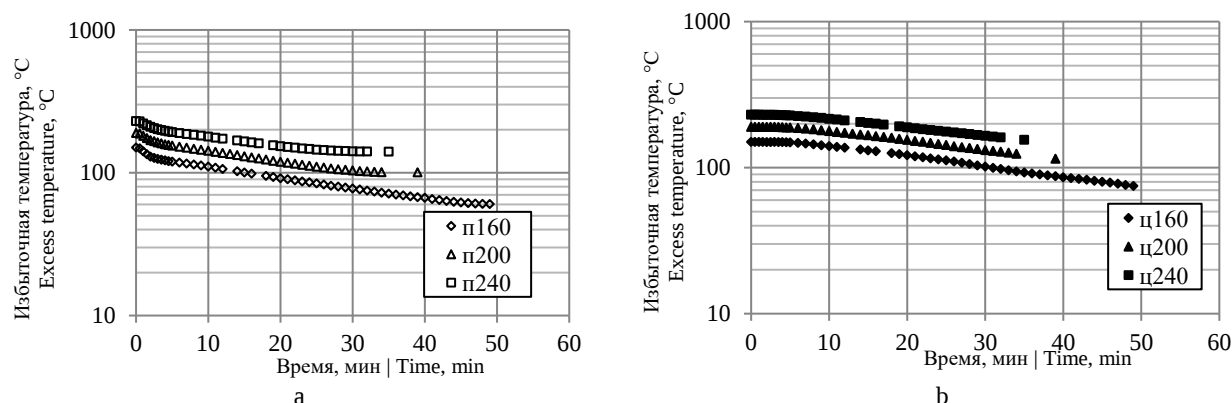


Рисунок 7. Изменение избыточной температуры слоев изделий во времени для маловлажного жирного фарша в форме одномерной пластины в среде горячего воздуха: а – подкорковый слой; б – центральный слой; п160, п200, п240 (ц160, ц200, ц240) – изменение температуры в подкорковом (центральной) слое образца при температуре греющей среды соответственно 160, 200 и 240 °С

Figure 7. Change in excess temperature of product layers over time for low-moisture fatty minced meat in the form of a one-dimensional plate in a hot air environment: а – subcortical layer; б – central layer; п160, п200, п240 (ц160, ц200, ц240) – temperature change in the subcortical (central) layer of the sample at the temperature of the heating medium, respectively, 160, 200 and 240 °С

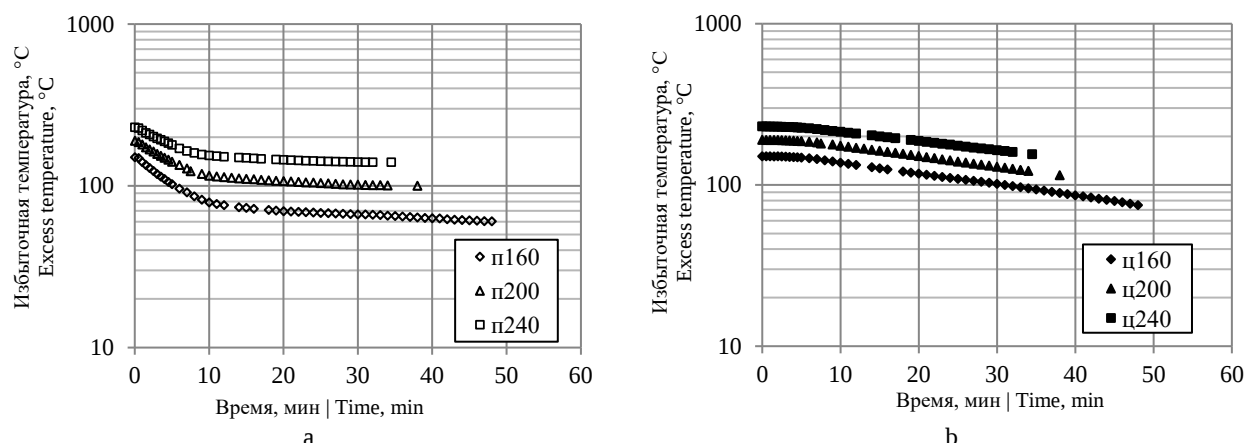


Рисунок 8. Изменение избыточной температуры слоев изделий во времени для маловлажного жирного фарша в форме одномерной пластины в паровоздушной среде: а – подкорковый слой; б – центральный слой; п160, п200, п240 (ц160, ц200, ц240) – изменение температуры в подкорковом (центральном) слое образца при температуре греющей среды соответственно 160, 200 и 240 °C

Figure 8. Change in excess temperature of product layers over time for low-moisture fatty minced meat in the form of a one-dimensional plate in a vapor-air environment: a – subcortical layer; б – central layer; п160, п200, п240 (ц160, ц200, ц240) – temperature change in the subcortical (central) layer of the sample at the temperature of the heating medium, respectively, 160, 200 and 240 °C

Из рисунков 1–8 видно, что через 10 мин после начала термообработки графики изменения $\lg(t_{ж}-t)$ во времени для всех исследуемых вариантов выражаются прямыми линиями. Это свидетельствует о наступлении режима, при котором величина темпа нагревания

в исследуемой точке тела остается постоянной. Соответственно продолжительность начального периода принимаем равную 10 мин. Скорость температурного прироста внутри изделия по периодам представлена в таблице 2.

Таблица 2.

Скорость температурного прироста по периодам

Table 2.

The rate of temperature increase by periods

Вид материала Type of material	Температура греющей среды, °C Temperature of the heating medium, °C	Скорость температурного прироста $\partial t / \partial \tau$, °C/мин Rate of temperature increase, C / min $\partial t / \partial \tau$ °			
		Начальный этап Initial stage		Основной этап Main stage	
		Греющая среда Heating environment			
		нагретый воздух	паровоздушная смесь	нагретый воздух	паровоздушная смесь
		heated air	steam-air mixture	heated air	steam-air mixture
Форма – цилиндр, подкорковый слой / центральный слой		Shape – subcortical layer / central layer			
Влажный обезжиренный фарш Wet fat-free minced meat	160	3,25 / 1,1	6,3 / 1,55	2,09 / 2,37	1,05 / 2,35
	200	4,0 / 1,35	6,7 / 1,85	2,23 / 2,79	1,1 / 2,76
	240	4,5 / 1,65	6,95 / 2,2	2,34 / 3,1	1,14 / 3,02
Маловлажный жирный фарш Low-moisture greasy mince	160	3,85 / 0,65	6,9 / 1,05	1,34 / 1,8	0,55 / 1,72
	200	4,55 / 0,85	7,25 / 1,3	1,57 / 2,38	0,62 / 2,25
	240	5,0 / 1,05	7,4 / 1,55	1,72 / 2,83	0,67 / 2,61
Форма – пластина, подкорковый слой / центральный слой		Form – plate, subcortical layer / central layer			
Влажный обезжиренный фарш Wet fat-free minced meat	160	3,5 / 1,15	6,75 / 1,85	1,75 / 2,12	0,83 / 2,09
	200	4,45 / 1,45	7,0 / 2,1	1,81 / 2,51	0,86 / 2,45
	240	4,85 / 1,8	7,15 / 2,4	1,86 / 2,61	0,88 / 2,55
Маловлажный жирный фарш Low-moisture greasy mince	160	3,95 / 0,95	7,15 / 1,3	1,28 / 1,68	0,49 / 1,64
	200	4,75 / 1,2	7,45 / 1,5	1,44 / 2,19	0,53 / 2,13
	240	5,1 / 1,5	7,6 / 1,7	1,54 / 2,44	0,55 / 2,39

Из таблицы 2 следует, что скорость температурного прироста увеличивается при увеличении температуры греющей среды на обоих периодах обработки.

Для анализа представленных данных рассчитывали соотношения скоростей температурного прироста в зависимости от вида теплообменной среды и применяемого образца (таблицы 3–6).

Таблица 3.

Соотношения скоростей температурного прироста в подкорковом слое в зависимости от вида теплообменной среды

Table 3.

The ratio of the rates of temperature increase in the subcortical layer depending on the type of heat exchange medium

Вид материала Type of material	Температура греющей среды, °C Temperature of the heating medium, °C	$(\partial t / \partial \tau)^{n.-6.см.} / (\partial t / \partial \tau)^{н.в.}$	
		Начальный этап Initial stage	Основной этап Main stage
Форма – цилиндр / пластина		Shape – cylinder/plate	
Влажный обезжиренный фарш Wet fat-free minced meat	160	1,93 / 1,92	0,5 / 0,47
	200	1,67 / 1,55	0,49 / 0,47
	240	1,54 / 1,47	0,48 / 0,46
Маловлажный жирный фарш Low-moisture greasy mince	160	1,79 / 1,79	0,41 / 0,38
	200	1,59 / 1,56	0,39 / 0,37
	240	1,48 / 1,47	0,38 / 0,36
$(\partial t / \partial \tau)^{n.-6.см.}$ – скорость температурного прироста при обработке в паровоздушной смеси высокой влажности;			
$(\partial t / \partial \tau)^{н.-в.}$ – скорость температурного прироста при обработке в среде нагретого воздуха			

Из таблицы 3 следует, что скорость температурного прироста подкоркового слоя при обработке в паровоздушной смеси высокой влажности имеет следующие отличия по сравнению с обработкой в нагретом воздухе:

- для цилиндрических изделий из влажного обезжиренного фарша на начальном этапе выше в 1,54–1,93 раза; в основном периоде – ниже в 2,0–2,08 раза;
- для цилиндрических изделий из маловлажного жирного фарша на начальном этапе выше в 1,48–1,79 раза; в основном периоде – ниже в 2,43–2,63 раза;

• для изделий в форме пластины из влажного обезжиренного фарша на начальном этапе выше в 1,47–1,9 раза; в основном периоде – ниже в 2,12–2,17 раза;

• для изделий в форме пластины из маловлажного жирного фарша на начальном этапе выше в 1,47–1,79 раза; в основном периоде – ниже в 2,63–2,77 раза;

• соотношения скоростей температурного прироста $(\partial t / \partial \tau)^{n.-в.см.} / (\partial t / \partial \tau)^{н.-в.}$ уменьшаются с ростом температуры греющей среды как на начальном, так и в основном этапе для обоих вариантов фаршей.

Таблица 4.

Соотношения скорости температурного прироста во времени в центральном слое в зависимости от вида теплообменной среды

Table 4.

The ratio of the rate of temperature increase over time in the central layer, depending on the type of heat exchange medium

Вид материала Type of material	Температура греющей среды, °C Temperature of the heating medium, °C	$(\partial t / \partial \tau)^{n.-в.см.} / (\partial t / \partial \tau)^{н.в.}$	
		Начальный этап Initial stage	Основной этап Main stage
Форма – цилиндр / пластина		Shape – cylinder/plate	
Влажный обезжиренный фарш Wet fat-free minced meat	160	1,4 / 1,6	0,99 / 0,98
	200	1,37 / 1,44	0,98 / 0,97
	240	1,33 / 1,33	0,97 / 0,97
Маловлажный жирный фарш Low-moisture greasy mince	160	1,61 / 1,36	0,95 / 0,97
	200	1,52 / 1,25	0,94 / 0,97
	240	1,42 / 1,17	0,92 / 0,97

Из таблицы 4 следует, что скорость температурного прироста центрального слоя при обработке в паровоздушной смеси высокой влажности имеет следующие отличия по сравнению с обработкой в нагретом воздухе:

- для цилиндрических изделий из влажного обезжиренного фарша на начальном этапе выше в 1,33–1,4 раза; в основном периоде – ниже в 1,01–1,03 раза;

- для цилиндрических изделий из маловлажного жирного фарша на начальном этапе выше в 1,42–1,61 раза; в основном периоде – ниже в 1,05–1,08 раза;

- для изделий в форме пластины из влажного обезжиренного фарша на начальном этапе выше в 1,33–1,6 раза; в основном периоде – ниже в 1,02–1,03 раза;

- для изделий в форме пластины из маловлажного жирного фарша на начальном этапе выше в 1,17–1,36 раза; в основном периоде – ниже в 1,03 раза;

- соотношения скоростей температурного прироста $(\partial t / \partial \tau)^{н.-в.см.} / (\partial t / \partial \tau)^{н.б.}$ уменьшаются с ростом температуры греющей среды как на начальном, так и в основном этапе для обоих вариантов фаршей.

Более высокая скорость температурного прироста при использовании паровоздушной смеси высокой влажности на начальном этапе объясняется значительной теплоотдачей от конденсирующегося водяного пара при температурах поверхности продукта ниже температуры насыщения водяного пара. Пар отдает пленке конденсата и через нее изделию теплоту фазового перехода и теплоту перегрева. Кроме того, конвективной теплоотдачей к пленке подводится часть теплоты несконденсировавшегося пара. Величина коэффициента теплоотдачи значительно превышает коэффициент теплоотдачи от нагретого сухого воздуха. С течением времени средняя температура по поверхности изделия приближается к температуре насыщения водяного пара. Интенсивность прогрева изделий, обрабатываемых в паровоздушной среде, замедляется по сравнению с обработкой в нагретом

воздухе. Постепенно температура поверхности превышает температуру насыщения водяного пара. Конденсация прекращается и происходит процесс теплоотдачи за счет свободной конвекции, в то время как при нагревании в воздушной среде температура поверхности продолжает расти с постоянной скоростью. Повышение температуры изделия и последующий переход от преобладающей теплоотдачи конденсацией к конвективно-радиационной теплоотдаче приводит к постепенному снижению скорости нагревания. При этом интенсивность падения возрастает с ростом температуры среды и для паровоздушной среды более высокая по сравнению с нагретым воздухом.

В основном периоде скорость температурного прироста характеризуется более высокими значениями для изделий, обработанных в нагретом воздухе. Данный факт может быть объяснен высокой температурой поверхности к моменту наступления основного периода для паровоздушной среды. Определенное влияние оказывает и некоторое падение величины теплового потока при конвективной теплоотдаче в паровоздушной среде по сравнению с нагреванием в сухом воздухе (перегретый водяной пар по сравнению с воздухом обладает большей теплоемкостью, но меньшей теплопроводностью и плотностью, что обуславливает меньшее значение коэффициента теплоотдачи).

Таким образом, высокая скорость температурного прироста на начальном этапе для паровоздушной среды высокой влажности нивелируется после перехода в основном периоде к преобладающей теплоотдаче за счет конвекции.

Соотношения скорости температурного прироста в подкорковом слое в зависимости от вида фарша

Table 5. The ratio of the rate of temperature increase in the subcortical layer, depending on the type of minced meat

Вид теплообменной среды Type of heat exchange medium	Температура греющей среды, °C Temperature of the heating medium, °C	$(\partial t / \partial \tau)^{м.-вл.жир.ф.} / (\partial t / \partial \tau)^{вл.обез.ф.}$	
		Начальный этап Initial stage	Основной этап Main stage
Форма – цилиндр / пластина		Shape – cylinder/plate	
Нагретый воздух Heated air	160	1,18 / 1,12	0,64 / 0,73
	200	1,13 / 1,06	0,7 / 0,79
	240	1,11 / 1,05	0,73 / 0,82
Паровоздушная смесь высокой влажности Steam-air mixture of high humidity	160	1,09 / 1,06	0,52 / 0,59
	200	1,08 / 1,06	0,56 / 0,61
	240	1,06 / 1,05	0,58 / 0,62
$(\partial t / \partial \tau)^{вл.обез.ф.}$ – скорость температурного прироста в изделиях из влажного обезжиренного фарша;			
$(\partial t / \partial \tau)^{м.-вл.жир.ф.}$ – скорость температурного прироста в изделиях из маловлажного жирного фарша			

Из таблицы 5 следует, что скорость температурного прироста подкоркового слоя при обработке изделий из маловлажного жирного фарша имеет следующие отличия по сравнению с обработкой изделий из влажного обезжиренного фарша:

- для цилиндрических изделий при обработке в среде нагретого воздуха на начальном этапе выше в 1,11–1,18 раза и ниже в основном в 1,36–1,56 раза;
- для цилиндрических изделий при обработке в среде паровоздушной смеси высокой влажности на начальном этапе выше в 1,06–1,09 раза и ниже в основном в 1,72–1,92 раза;

• для изделий в форме пластины, при обработке в среде нагретого воздуха, на начальном этапе выше в 1,05–1,12 раза и ниже в основном в 1,21–1,37 раза;

• для изделий в форме пластины при обработке в среде паровоздушной смеси высокой влажности на начальном этапе выше в 1,05–1,06 раза и ниже в основном в 1,61–1,69 раза;

• соотношения скорости температурного прироста $(\partial t / \partial \tau)_{\text{м.-вл.жир.ф.}} / (\partial t / \partial \tau)_{\text{вл.обез.ф.}}$ с ростом температуры греющей среды на начальном этапе уменьшаются, а в основном этапе возрастают для обоих вариантов теплообменных сред.

Таблица 6.

Соотношения скорости температурного прироста в центральном слое в зависимости от вида фарша

Table 6.

The ratio of the rate of temperature increase in the central layer, depending on the type of minced meat

Вид теплообменной среды Type of heat exchange medium	Температура греющей среды, °C Temperature of the heating medium, °C	$(\partial t / \partial \tau)_{\text{м.-вл.жир.ф.}} / (\partial t / \partial \tau)_{\text{вл.обез.ф.}}$	
		Начальный этап Initial stage	Основной этап Main stage
Форма – цилиндр / пластина		Shape – cylinder/plate	
Нагретый воздух Heated air	160	0,59 / 0,82	0,75 / 0,79
	200	0,62 / 0,82	0,85 / 0,87
	240	0,63 / 0,83	0,91 / 0,93
Паровоздушная смесь высокой влажности Steam-air mixture of high humidity	160	0,67 / 0,7	0,73 / 0,78
	200	0,7 / 0,71	0,81 / 0,86
	240	0,7 / 0,71	0,86 / 0,93

Из таблицы 6 следует, что скорость температурного прироста центрального слоя при обработке изделий из маловлажного жирного фарша имеет следующие отличия по сравнению с обработкой изделий из влажного обезжиренного фарша:

- для цилиндрических изделий при обработке в среде нагретого воздуха на начальном этапе ниже в 1,58–1,69 раза и ниже в основном в 1,1–1,33 раза;

- для цилиндрических изделий при обработке в среде паровоздушной смеси высокой влажности на начальном этапе ниже в 1,42–1,49 раза и ниже в основном в 1,16–1,37 раза;

- для изделий в форме пластины при обработке в среде нагретого воздуха на начальном этапе ниже в 1,2–1,22 раза и ниже в основном в 1,07–1,26 раза;

- для изделий в форме пластины при обработке в среде паровоздушной смеси высокой влажности на начальном этапе ниже в 1,4–1,43 раза и ниже в основном в 1,07–1,28 раза;

- соотношения скорости температурного прироста $(\partial t / \partial \tau)_{\text{м.-вл.жир.ф.}} / (\partial t / \partial \tau)_{\text{вл.обез.ф.}}$ возрастают с ростом температуры греющей среды как на начальном, так и в основном этапе для обоих вариантов фаршей.

Низкая скорость температурного прироста в подкорковом слое на начальном этапе для изделий из влажного обезжиренного фарша может быть объяснена влиянием нутриентного состава. Высокая влажность и низкая жирность обуславливают активные процессы по движению влаги, охлаждающие поверхностные слои. В свою очередь низкая влажность вкупе со значительным количеством расплавленного жира тормозит процессы диффузии влаги и, как результат, приводит к более быстрому нагреванию поверхностных слоев из-за меньшего отвода теплоты во внутренние слои.

В основном периоде скорость температурного прироста подкоркового слоя становится более значительной для влажного обезжиренного фарша. Это может быть объяснено высоким значением температуры поверхностных слоев для маловлажного жирного фарша к концу начального периода, тормозящим эффектом расплава жира и снижением испарительной способности поверхностных слоев после начала коркообразования. Толщина корки является функцией времени; при этом по мере прогрева материала уменьшаются явления, вызываемые термовлагопроводностью, они также предотвращают перемещение влаги к поверхности.

Для центрального слоя более высокая скорость температурного прироста характерна для влажного обезжиренного фарша как в начальном, так и в основном периоде нагревания. Судя по всему, высокая влажность при отсутствии ограничителя в виде расплавленного жира обеспечивает более активный прогрев в отличие от маловлажного жирного фарша, несмотря на более высокое значение предельной температуры подкоркового слоя последнего.

Заключение

В результате проведенных исследований определены скорости температурного прироста в подкорковом и центральном слоях изделий мясных фаршей, различающихся по соотношению жирность / влажность и выполненных в виде одномерных тел, при термообработке в паровоздушных средах. Приведена обработка полученных данных для процесса в целом и отдельных периодов.

Литература

- 1 Ahmad S., Khan M. A., Kamil M. Mathematical modeling of meat cylinder cooking // *LWT-Food Science and Technology*. 2015. V. 60. № 2. P. 678-683. doi: 10.1016/j.lwt.2014.10.061
- 2 Li J., Deng Y., Xu W., Zhao R. et. al. Multiscale modeling of food thermal processing for insight, comprehension, and utilization of heat and mass transfer: A state-of-the-art review // *Trends in Food Science & Technology*. 2023. V. 131. P. 31–45. doi: 10.1016/j.tifs.2022.11.018
- 3 Kubo M.T.K., Baicu A., Erdogdu F., Poças M.F. et. al. Thermal processing of food: challenges, innovations and opportunities. A position paper // *Food reviews international*. 2021. doi: 10.1080/87559129.2021.2012789
- 4 Видин Ю.В., Злобин В.С., Казаков Р.В., Федяев А.А. и др. Нестационарная теплопроводность твердых тел на начальной стадии // *Системы Методы Технологии*. 2022. № 1 (53). С. 72–77.
- 5 Rabeler F., Hailu Feyissa A. Modelling the transport phenomena and texture changes of chicken breast meat during the roasting in a convective oven // *Journal of Food Engineering*. 2018. V. 237. P. 60–68.
- 6 Королева Е.И., Малахов И.В. Влияние параметров теплового процесса на его продолжительность // материалы Первой международной научной конференции «Траектории развития». 2018. С. 390–398.
- 7 Rocca-Poliméni R., Zárate Vilet N., Stéphanie, Jean-Luc B.R. Continuous measurement of contact heat flux during minced meat grilling // *Journal of Food Engineering*. 2019. V. 242. P. 163–171. doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.08.032
- 8 Skrypnik V.O., Farisieiev A.G. Analytical model of heat treatment of meat products with high content of connective tissue in vacuum termo-packages // *Journal of chemistry and technologies*. 2019. V. 27. № 2. P. 201–211.
- 9 Jain A. The role of thermal effusivity in heat exchange between finite-sized bodies // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2023. V. 202. P. 123721. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.123721.
- 10 Cheng Y., Wang S., Ju S., Zhou S. et al. Heat-Treated Meat Origin Tracing and Authenticity through a Practical Multiplex Polymerase Chain Reaction Approach // *Nutrients*. 2022. V. 14. № 22. P. 4727. doi: 10.3390/nu14224727
- 11 Kumari S., Samanta S. K. The efficient thermal processing of cylindrical multiphase meat: a study on the selection of microwave heating strategy // *International Journal of Food Engineering*. 2022. V. 18. № 6. P. 437-450. doi: 10.1515/ijfe-2021-0255
- 12 Agafonychev V.P., Makhonina V.N. Calculation methods in the meat and egg sausages technology // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2022. V. 1052. № 1. P. 012058. doi: 10.1088/1755-1315/1052/1/012058.
- 13 Губарева К.В., Попов А.И., Чуянов Д.О., Зинина С.А. Исследование процесса теплопроводности в пластине с переменными теплофизическими свойствами и внутренними источниками теплоты // *Наукосфера*. 2020. № 12–1. С. 192–196.
- 14 Еремин А.В. Об одном методе решения нелинейных задач теплопроводности // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. 2018. Т. 24. № 3. С. 471–481.
- 15 Еремин А.В., Губарева К.В. Аналитический метод решения задач теплопроводности с граничными условиями третьего рода // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. 2019. № 6. С. 67–74.
- 16 Moya J., Lorente-Bailo S., Salvador M.L., Ferrer-Mairal A. et al. Development and validation of a computational model for steak double-sided pan cooking // *Journal of Food Engineering*. 2021. V. 298. P. 110498. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2021.110498
- 17 Nelson H., Deyo S., Granzier-Nakajima S., Puente P. et. al. A mathematical model for meat cooking // *European Physical Journal Plus*. 2020. V. 135(3). doi: 10.1140/epjp/s13360-020-00311-0
- 18 Emanuel M., Brown B.C., Ackermann S.L., Bateman R. MTPS analytical temperature and heat flux solution with thermal contact resistance // *Journal of Heat Transfer*. 2022. V. 144. № 7. P. 071401. doi:10.1115/1.4054383
- 19 Глаголева Л.Э., Зацепилина Н.П. Копылов М.В., Нестеренко И.В. Расчет продолжительности процесса термовлажностной обработки полуфабрикатов на основе животного и растительного сырья // *Вестник ВГУИТ*. 2018. Т.80. № 2 (76). С. 51–57.
- 20 Желудков А.Л., Смагин Д.А., Смагина М.Н. Сырой фарш-готовый продукт как массивное тело в ходе запекания в конвекционных печах // *Наука, питание и здоровье*. 2020. С. 37-41.

References

- 1 Ahmad S., Khan M.A., Kamil M. Mathematical modeling of meat cylinder cooking. *LWT-Food Science and Technology*. 2015. vol. 60. no. 2. pp. 678-683. doi: 10.1016/j.lwt.2014.10.061
- 2 Li J., Deng Y., Xu W., Zhao R. et. al. Multiscale modeling of food thermal processing for insight, comprehension, and utilization of heat and mass transfer: A state-of-the-art review. *Trends in Food Science & Technology*. 2023. vol. 131. pp. 31–45. doi: 10.1016/j.tifs.2022.11.018
- 3 Kubo M.T.K., Baicu A., Erdogdu F., Poças M.F. et. al. Thermal processing of food: challenges, innovations and opportunities. A position paper. *Food reviews international*. 2021. doi: 10.1080/87559129.2021.2012789

- 4 Vidin Yu.V., Zlobin V.S., Kazakov R.V., Fedyaev A.A. et al. Unsteady thermal conductivity of solids at the initial stage. *Systems Methods Technologies*. 2022. no. 1 (53). pp. 72–77. (in Russian).
- 5 Rabeler F., Hailu Feyissa A. Modelling the transport phenomena and texture changes of chicken breast meat during the roasting in a convective oven. *Journal of Food Engineering*. 2018. vol. 237. pp. 60–68.
- 6 Koroleva E.I., Malakhov I.V. The influence of the parameters of the thermal process on its duration. *Materials of the First International Scientific Conference “Development Trajectories”*. 2018. pp. 390–398. (in Russian).
- 7 Rocca-Poliméni R., Zárate Vilet N., Stéphanie, Jean-Luc B.R. Continuous measurement of contact heat flux during minced meat grilling. *Journal of Food Engineering*. 2019. vol. 242. pp. 163–171. doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.08.032
- 8 Skrypnyk V.O., Farisieiev A.G. Analytical model of heat treatment of meat products with high content of connective tissue in vacuum termapackets. *Journal of chemistry and technologies*. 2019. vol. 27. no. 2. pp. 201–211.
- 9 Jain A. The role of thermal effusivity in heat exchange between finite-sized bodies. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2023. vol. 202. pp. 123721. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.123721.
- 10 Cheng Y., Wang S., Ju S., Zhou S. et al. Heat-Treated Meat Origin Tracing and Authenticity through a Practical Multiplex Polymerase Chain Reaction Approach. *Nutrients*. 2022. vol. 14. no. 22. pp. 4727. doi: 10.3390/nu14224727
- 11 Kumari S., Samanta S.K. The efficient thermal processing of cylindrical multiphase meat: a study on the selection of microwave heating strategy. *International Journal of Food Engineering*. 2022. vol. 18. no. 6. pp. 437–450. doi: 10.1515/ijfe 2021–0255
- 12 Agafonychev V.P., Makhonina V.N. Calculation methods in the meat and egg sausages technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2022. vol. 1052. no. 1. pp. 012058. doi: 10.1088/1755–1315/1052/1/012058
- 13 Gubareva K.V., Popov A.I., Chuyanov D.O., Zinina S.A. Study of the thermal conductivity process in a plate with variable thermophysical properties and internal heat sources. *Naukosfera*. 2020. no. 12–1. pp. 192–196. (in Russian).
- 14 Eremin A.V. On one method for solving nonlinear heat conduction problems. *Bulletin of Tambov State Technical University*. 2018. vol. 24. no. 3. pp. 471–481. (in Russian).
- 15 Eremin A.V., Gubareva K.V. Analytical method for solving heat conduction problems with boundary conditions of the third kind. *Bulletin of Ivanovo State Energy University*. 2019. no. 6. pp. 67–74. (in Russian).
- 16 Moya J., Lorente-Bailo S., Salvador M.L., Ferrer-Mairal A. et al. Development and validation of a computational model for steak double-sided pan cooking. *Journal of Food Engineering*. 2021. vol. 298. pp. 110498. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2021.110498 (in Russian).
- 17 Nelson H., Deyo S., Granzier-Nakajima S., Puente P. et. al. A mathematical model for meat cooking. *European Physical Journal Plus*. 2020. vol. 135(3). doi: 10.1140/epjp/s13360–020–00311–0
- 18 Emanuel M., Brown B.C., Ackermann S.L., Bateman R. MTPS analytical temperature and heat flux solution with thermal contact resistance. *Journal of Heat Transfer*. 2022. vol. 144. no. 7. pp. 071401. doi:10.1115/1.4054383
- 19 Glagoleva L.E., Zatepilina N.P., Kopylov M.V., Nesterenko I.V. Calculation of the duration of the process of thermal and moisture processing of semi-finished products based on animal and plant raw materials. *Proceedings of VSUET*. 2018. vol. 80. no. 2 (76). pp. 51–57. (in Russian).
- 20 Zheludkov A.L., Smagin D.A., Smagina M.N. Raw minced meat-finished product as a massive body during baking in convection ovens. *Science, nutrition and health*. 2020. pp. 37–41. (in Russian).

Сведения об авторах

Марина Н. Смагина магистр технических наук, специалист по работе с магистрантами, кафедра оборудования пищевых производств, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, пр-т Шмидта, 3, г. Могилев, 212027, Республика Беларусь, m.n.smagina@mail.ru
 <https://orcid.org/0009-0006-8762-4730>

Денис А. Смагин к.т.н., доцент, кафедра оборудования пищевых производств, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, пр-т Шмидта, 3, г. Могилев, 212027, Республика Беларусь, denis_smagin@mail.ru
 <https://orcid.org/0009-0004-2974-5580>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Marina N. Smagina Master Sci. (Engin.), specialist in working with undergraduates, food production equipment department, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Schmidt Ave., 3, Mogilev, 212027, Republic of Belarus, m.n.smagina@mail.ru
 <https://orcid.org/0009-0006-8762-4730>

Denis A. Smagin Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food production equipment department, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Schmidt Ave., 3, Mogilev, 212027, Republic of Belarus, denis_smagin@mail.ru
 <https://orcid.org/0009-0004-2974-5580>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/07/2023	После редакции 08/08/2023	Принята в печать 30/08/2023
Received 11/07/2023	Accepted in revised 08/08/2023	Accepted 30/08/2023

Влияние различных температурных воздействий на микроструктуру кукурузного крахмала в составе мясного продукта

Надежда Г. Черепанова	¹	ncherepanova@rambler.ru	 0000-0001-7484-9021
Елена А. Просекова	¹	proseka2004@yandex.ru	 0000-0003-1819-0618
Анна Э. Семак	¹	semakq@gmail.com	 0000-0002-1986-4284
Марк Г. Мизинов	¹	mizmarkus@gmail.com	 0009-0002-6590-0969
Алиса А. Агаркова	¹	agarkova-vasilisa@mail.ru	 0009-0003-2696-2320

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

Аннотация. Статья посвящена определению влияния различных режимов температурной обработки в течение разных временных промежутков на гистологическую структуру кукурузного крахмала в составе мясного фарша. Установлено, что без температурной обработки изменений морфологии крахмальных зерен в составе сырого фарша не происходит. Термическая обработка в воде при 80 °С в течение 5, 10, 20 и 40 минут приводит к увеличению размера зерна крахмала, происходит набухание, распадается глазок и теряется изначальная форма. Зерна постепенно слипаются и сливаются вместе. Основные изменения структуры крахмала происходят за первые 10 минут. В первые 5 минут еще сохраняется многоугольная форма и глазок в большинстве зерен, средний размер достоверно увеличивается в 2,6 раза. До 10 минут обработки, деструктивные изменения нарастают, далее их интенсивность плавно снижается. В 20 минут наблюдается полная клестеризация. Через 40 минут обработки дальнейших изменений в структуре крахмала не обнаруживается. Изменения в структуре крахмала при температуре 100 °С не отличаются от тех, что происходят при 80 °С. Набухание и клейстеризация зерна происходит значительно быстрее, в первые 5 минут. Замораживание при температуре -18 °С в течение 3 суток мало влияет на морфологические признаки кукурузного крахмала. Длительное замораживание в течение 90 дней приводит к незначительным морфологическим изменениям. Установлено искажение формы зерен, углы становятся лучше выражены, размер крахмальных зерен достоверно уменьшается. Это связано с уменьшением влаги и разрушением микроструктуры крахмала. В результате работы сделаны микрофотографии и проведено описание морфологического строения зерен кукурузного крахмала при разных температурных режимах обработки. Микрофотографии исследуемых образцов и описание микроструктуры крахмальных зерен могут быть использованы для идентификации кукурузного крахмала и индикации температурных режимов обработки при проведении оценки качества мясных продуктов.

Ключевые слова: кукурузный крахмал, гистологическая структура, температурный режим, технологические параметры, мясопродукты, углеводные добавки, крахмальные зерна, микроструктурный анализ, оценка качества, экспертиза.

The influence of various temperature effects on the microstructure of corn starch in the composition of the meat product

Nadezda G. Cherepanova	¹	ncherepanova@rambler.ru	 0000-0001-7484-9021
Elena A. Prosekov	¹	proseka2004@yandex.ru	 0000-0003-1819-0618
Anna E. Semak	¹	semakq@gmail.com	 0000-0002-1986-4284
Mark G. Mizinov	¹	mizmarkus@gmail.com	 0009-0002-6590-0969
Alisa A. Agarkova	¹	agarkova-vasilisa@mail.ru	 0009-0003-2696-2320

¹ Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Timiryazevskaya street, 49, Moscow, 127550, Russian Federation

Abstract. The article is devoted to determining the influence of various temperature regimes during different time intervals on the histological structure of corn starch in minced meat. It has been established that without heat treatment, changes in the morphology of starch grains in the composition of raw minced meat do not occur. Heat treatment in water at 80 °C for 5, 10, 20- and 40-minutes leads to an increase in the granule size of starch, swelling occurs, the hilum (core of grain) disintegrates and the original shape is lost. The granules gradually stick together and merge together. The main changes in the structure of starch occur in the first 10 minutes. In the first 5 minutes, the polygonal shape and the hilum (core of grain) are still preserved in most granules, the average size significantly increases by 2.6 times. Up to 10 minutes of treatment, destructive changes increase, then their intensity gradually decreases. In 20 minutes, complete gelatinization is observed. After 40 minutes of treatment, no further changes in the starch structure are detected. Changes in starch structure at 100 °C are not different from those at 80 °C. Swelling and gelatinization of grain occurs much faster, in the first 5 minutes. Freezing at -18 °C for 3 days has little effect on the morphological characteristics of corn starch. Long-term freezing for 90 days leads to minor morphological changes. A distortion of the shape of the granules was established, the corners become better expressed, the size of the starch granules unreliably decreases. This is due to a decrease in moisture and the destruction of the starch microstructure. As a result of the work, microphotographs were taken and a description of the morphological structure of corn starch granules was made under different temperature conditions of processing. Microphotographs of the studied samples and a description of the microstructure of starch granules can be used to identify corn starch and indicate the temperature regimes of processing when assessing the quality of meat products.

Keywords: corn starch, histological structure, temperature regime, technological parameters, meat products, carbohydrate additives, starch grains, starch granules, microstructural analysis, quality assessment, expertise.

Для цитирования

Черепанова Н.Г., Просекова Е.А., Семак А.Э., Мизинов М.Г., Агаркова А.А. Влияние различных температурных воздействий на микроструктуру кукурузного крахмала в составе мясного продукта // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 28–35. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-28-35

For citation

Cherepanova N.G., Prosekov E.A., Semak A.E., Mizinov M.G., Agarkova A.A. The influence of various temperature effects on the microstructure of corn starch in the composition of the meat product. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 28–35. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-28-35

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

Введение

Важность и необходимость ветеринарно-санитарной экспертизы пищевых продуктов была неоднократно доказана различными исследованиями [1]. В некоторых областях мясной промышленности доля фальсификации может достигать в отдельных случаях 88–100% [2]. К наиболее частым несоответствиям регламенту относятся повышенное содержание воды и значительное уменьшение скелетной мускулатуры [3]. Кроме того, часто в составе переработанного мясного продукта встречаются такие животные компоненты, как хрящи, кости [4], соединительная ткань, фрагменты внутренних органов [5]. Для уменьшения себестоимости продукции и маскировки некачественного сырья могут использоваться незаявленные на этикетке компоненты растительного и животного происхождения, такие как крахмал, камедь, соя и другие [6]. Чаще всего на уровне потребителя и при органолептической оценке такие фальсификации не обнаруживаются [7]. Существует комплекс исследований, позволяющий выявить все эти нарушения. Одним из таких эффективных методов является гистологический метод, при помощи которого можно определить структуру мясного продукта, состояние мышечной ткани, свежесть и наличие добавок [8, 9].

Крахмал является одной из самых популярных добавок в пищевой промышленности. В России чаще всего используется два вида: картофельный и кукурузный. По данным исследований 83% мирового производства приходится на кукурузный крахмал [10]. Поэтому, несмотря на то что картофель значительно более дешевое сырье в нашем регионе, кукурузный крахмал распространен и для фальсификации используется значительно чаще.

Все крахмалы обладают похожими характеристиками – это влагоудерживающая способность, способность аккумулировать ароматические соединения и улучшать структуру конечного продукта. Зёрна крахмала формируются из двух полисахаридов: амилозы и амилопектина. Амилоза представляет собой линейный полимер, взаимодействуя с липидами, фосфорилированными остатками и другими веществами, слабо взаимодействует с водой и ингибирует процесс набухания [11]. Амилопектин является макромолекулой с разветвленной структурой, и именно он, взаимодействуя с молекулами воды, обеспечивает набухание и вязкость при нагревании. Зёрна крахмала образованы чередующимися пластинками, состоящими из аморфного компонента (разветвления амилопектина) и кристаллического (содержит только линейные цепи). Они образуют кольца роста [12]. Внутри крахмального зерна располагается глазок

(ворота), который является центром кристаллизации. Поверхность крахмального зерна покрыта порами, а внутри зерно пронизано каналами, которые сформированы концами молекул амилозы и амилопектина [13]. Это имеет важное технологическое значение, так как различные реагенты могут проникать и взаимодействовать со структурными компонентами зерна, например, при разных видах модификации.

Амилоза и амилопектин в холодной воде не дают истинного раствора. При нагревании начинают разрушаться межмолекулярные связи, гранулы гидратируются и набухают. Далее происходит разупорядочивание кристаллических структур и образует клейстер (вязкий коллоидный раствор) [14]. Соотношение данных полисахаридов определяет функциональные и физико-химические свойства крахмала. Исследования показали, что соотношение амилозы и амилопектина, а также структура пор, зависят от сырьевого источника, селекции и других факторов [15]. На морфологию крахмальных зерен могут влиять условия выращивания, такие как уровень азота в почве [16].

Некоторые авторы выделяют 4 вида крахмальных зерен [17]: крупные – более 25 мкм, средние – от 10 до 25 мкм, маленькие – от 5 до 10 мкм, и очень маленькие – меньше 5 мкм. Другие авторы классифицируют на группы [14]: крупнозернистые (10–120 мкм), – среднезернистые (5–30) мкм, – мелкозернистые (1–10 мкм), – с бимодальной дисперсностью (2–5 и 10–50 мкм).

В процессе производства мясная продукция подвергается различным термическим воздействиям: замораживанию, пастеризации, варке при температуре выше 100 °С. Становится важно понимать, как изменяется морфология крахмального зерна при подобных воздействиях. Эти изменения видоспецифичны, а также сильно зависят от длительности и характера термообработки.

Исследование влияния термической обработки на кукурузный крахмал в водном или соляном растворе показало набухание крахмала, потерю изначальной формы зёрен, постепенное исчезновение глазка, слипание отдельных зерен вместе. Далее происходило формирование клейстерной массы в местах скопления зёрен или полное их растворение там, где зёрна были отдалены друг от друга [20]. Понимание взаимосвязи температурной обработки с микроструктурой кукурузного крахмала позволит оптимально подбирать вид этого продукта для разных технологических процессов мясного производства. А также может служить индикатором соблюдения температурных режимов термической обработки мясных изделий.

Недостаточность данных об изменениях структуры зерен кукурузного крахмала в составе мясных продуктов при различных температурных воздействиях определяет актуальность данных исследований.

Цель работы – определение влияния различной температурной обработки в течение разных временных промежутков на гистологическую структуру кукурузного крахмала в составе мясного фарша, а также изучение его гистологической структуры.

Материалы и методы

Для исследований были взяты образцы кукурузного крахмала от трех различных производителей, из разных торговых точек. Как субстрат для изготовления препаратов использовался фарш из куриной грудки. Фарш изготавливался из грудной мышцы охлажденной тушки курицы. Затем, из него были сформированы образцы с массой 10 г. Образцы группы 1 не содержали крахмал. В остальные образцы куриного фарша вмешивался кукурузный крахмал в количестве 2 г на образец.

Образцы группы 2 термически не обрабатывались, образцы групп 3 – 6 подвергались пастеризации в воде при температуре 80 °C в течение разного времени. Группа 3 обрабатывалась в течение 5 мин., группа 4 – 10 мин., группа 5 – 20 мин. и группа 6 – 40 минут. Образцы групп 7 и 8 подвергались термообработке в воде при температуре 100°C. Группа 7 – в течение 5 мин., а группа 8 – 20 минут.

Заморозка образцов проводилась в бытовом холодильнике при -18 °C. Образцы группы 9 хранились 3 суток, а группы 10 – три месяца.

Далее образцы фиксировались в десятипроцентном нейтральном формалине, Гистологические препараты были изготовлены по стандартной методике, описанной в «ГОСТ 31500–2012 Мясо и мясные продукты. Гистологический метод определения растительных углеродных добавок», окрашены гематоксилином и эозином.

Микроскопирование гистологических образцов производилось с помощью светового микроскопа, при увеличении в 400 раз. Для морфометрических измерений по 10 полям зрения от группы сделаны микрофотографии с использованием окуляра с линейкой. Производилась фотосъемка для получения обзорных препаратов. На препаратах оценивалась форма и микроструктура зерен кукурузного крахмала и изменения этих параметров при разных вариантах термической обработки.

Для измерения относительных значений диаметра зёрен использовалась программа ImageJ. Относительные значения были переведены в абсолютные при помощи объект микрометра. Данные статистически обработаны при помощи программы Excel.

Результаты и обсуждение

Исследование образцов группы 1, содержащих только фарш, было проведено с целью определения структурных особенностей фона всех препаратов для лучшей идентификации крахмальных зерен.

Исследования гистологических препаратов группы 2, не подвергавшихся термической обработке, демонстрируют картину нативных зёрен кукурузного крахмала (рисунок 1). По своим морфологическим характеристикам они идентичны типичным зернам данного ботанического вида. Зерна крахмала слегка угловатые, имеют округлую форму, слабо окрашены, прозрачные. В центре отдельно взятых зёрен заметны ворота (глазки) – небольшие тёмные пятна, от которых по всей площади зерна радиально расходятся линии. Зёрна располагаются большими группами, изредка попадаются одиночные.

Установлено, что средний размер зёрен в этой группе составил 8,5 мкм, максимальный – 14,4 мкм, минимальный – 4,4 мкм (таблица 1). Микроструктурный анализ показывает, что кукурузный крахмал отличается неоднородностью зерен (рисунок 2). Преобладают зерна среднего размера, от 7 до 12 мкм, их доля составила 59%. На долю крупных приходится 15%, а мелких – 26%. Эти данные подтверждают ранее проведенные исследования. [18, 19].

Образцы группы 3 демонстрирует серьезные изменения, которые возникают в зёрнах крахмала под воздействием температуры в течение 5 минут. Прежде всего, средний размер зёрен статистически значимо увеличился в 2,6 раза по сравнению с группой 2, и составил 22,7 мкм. Максимальный диаметр увеличился в 4,1 раза, минимальный в 1,8 раза. Мелкие зерна не идентифицировались, а 95% были крупные. Клейстеризация кукурузного крахмала начинается с 70 °C [20]. Более мелкие зерна начинают набухать и клейстеризоваться быстрее, при более низкой температуре, чем крупные [13]. В нашем исследовании при температуре 80 °C наблюдается подобная картина – исчезают маленькие гранулы, потом все гранулы становятся крупными в процессе гидратации и набухания. Начинает изменяться и морфология крахмального зерна. Они становятся более округлыми, а потом овальными и неровными. Глазок почти полностью исчезает и становится практически незаметным. Сами же зёрна начали слипаться вместе, а в более крупных скоплениях сливаться в одну массу. Однако эти изменения были незначительны и позволили провести морфометрические измерения. Такая динамика изменений подтверждается и другими исследованиями. [20].

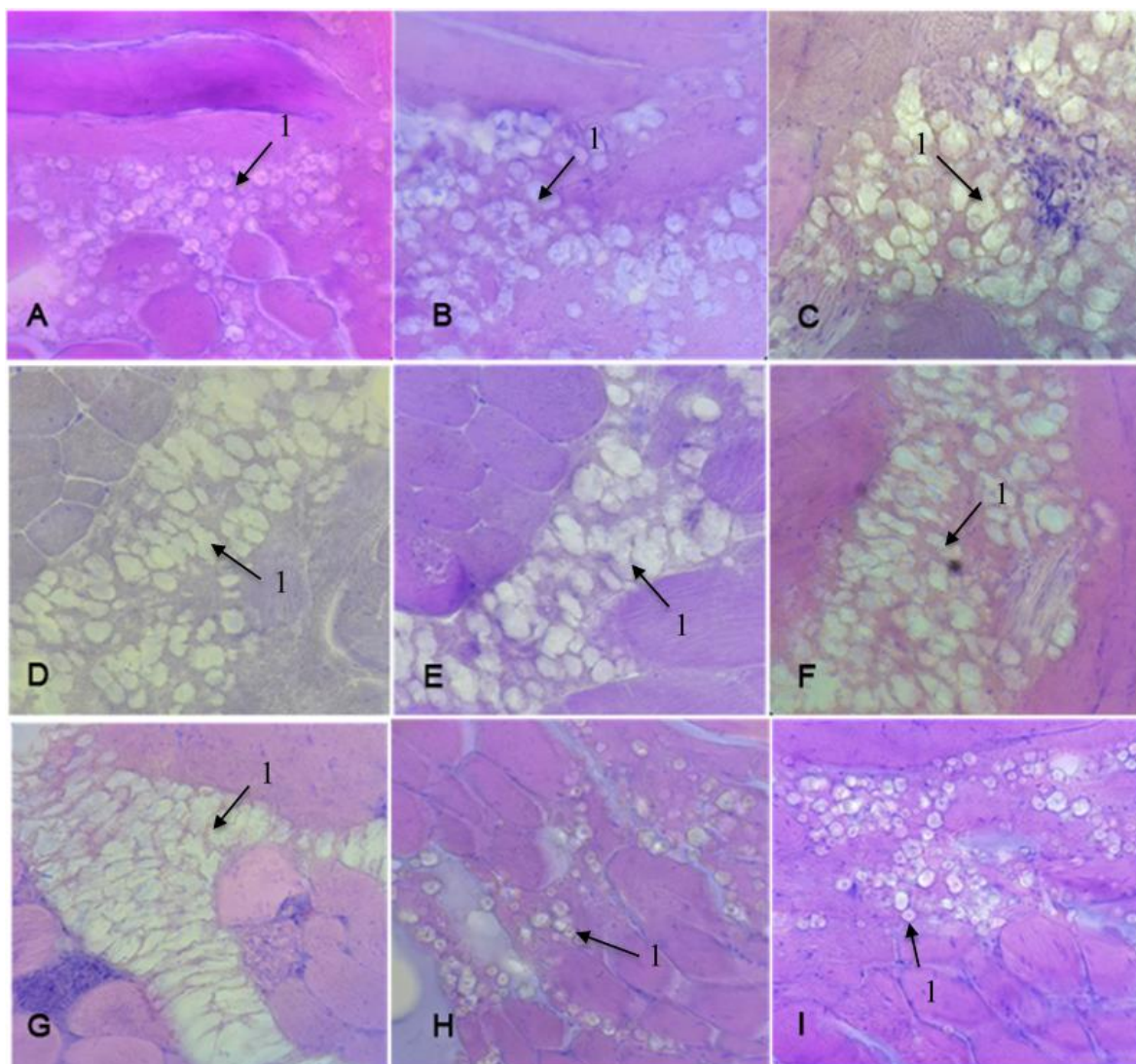


Рисунок 1. Морфологическое строение крахмальных зерен при различных температурных режимах обработки (увеличение в 400 раз, окрашивание гематоксилином и эозином): А – группа 2; В – группа 3; С – группа 4; D – группа 5; E – группа 6; F – группа 7; G – группа 8; H – группа 9; I – группа 10; 1 – зерна крахмала

Figure 1. Morphological structure of starch grains at different temperature conditions of processing (400x magnification, hematoxylin and eosin staining): A – group 2; B – group 3; C – group 4; D – group 5; E – group 6; F – group 7; G – group 8; H – group 9; I – group 10; 1 – starch grains.

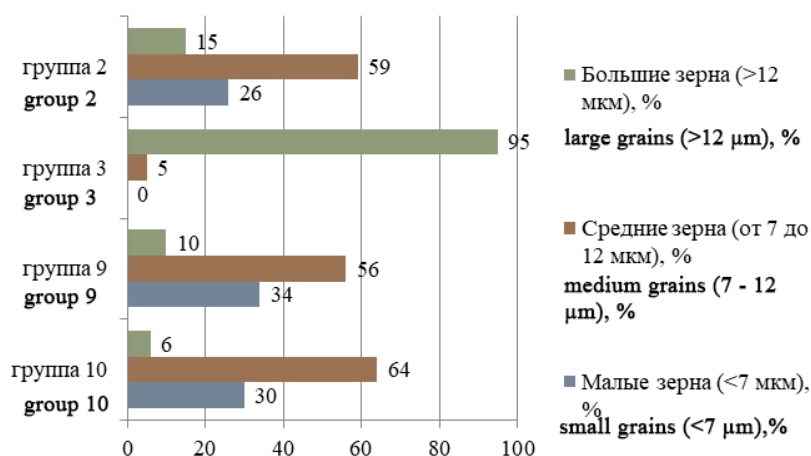


Рисунок 2. Соотношение размеров зерен кукурузного крахмала при разных режимах температурной обработки, %
Figure 2. The ratio of grain sizes of corn starch under different modes of thermal treatment, %

В образцах группы 4 заметны более серьезные деструктивные признаки. Дольше длительная гидратация в течение 10 минут при температуре 80 °С показывает, что разворачивание и другие морфологические изменения затрагивают уже все зерна. Они набухают ещё больше, став в 3–4 раза больше изначальных размеров. При этом округлая форма зерна искажилась, превратившись в полностью аморфную, исчез глазок. Также заметно участились слияния зерен. Морфология гранул определялась с трудом.

К 20 минутам пастеризации происходит полная клейстеризация зерен крахмала. Редкие отдельные зёрна, по отношению к первоначальным размерам, увеличились примерно в 4,5 раза. Форма зерен нарушается, они склеиваются в единую массу. Некоторые отдельные зёрна полностью утратили свою структуру и распались. Дальнейшая пастеризация до 40 минут морфологических изменений не вызывает. Образцы групп 5 и 6 не имеют серьезных различий между собой.

На образце группы 7 видно, что термическая обработка при 100 °С приводит к намного более быстрым и более сильным деструктивным процессам, по сравнению с обработкой при 80 °С. Те морфологические изменения, которые при пастеризации происходят с крахмалом через 20 минут обработки, при варке наступают уже на пятой минуте. Через 5 минут обработки зёрна крахмала полностью утрачивают какую-либо форму, перестает просматриваться глазок, повсеместно начинают слипаться зёрна, а их размер превышает в 3 раза первоначальный.

В образцах группы 8 происходит полная потеря формы зерна, глазка, еще более сильное набухание и слияние зёрен в единую клейстерную массу.

Исследования влияния низких температур на кукурузный крахмал показали незначительные изменения в его строении. Статистически значимых отличий в среднем диаметре зерен крахмала при заморозке образцов группы 9 и 10

по сравнению с образцами группы 2 не обнаружено. Зёрна имеют всю ту же хорошо видимую угловатую форму, заметен глазок. Единственным заметным изменением зерен, кроме незначительного уменьшения диаметра становятся более ярко выраженные углы. Общая тенденция распределения размеров зерен тоже сохраняется. Преобладают зерна среднего размера. Заметна тенденция увеличения доли маленьких зерен в 1,2 раза и уменьшения количества больших зерен в 1,5 раза.

Статистически значимых отличий в группе 10 по сравнению с группой 9 и 2 не обнаружено. Сохранился как глазок, так и цвет, и остальные характерные морфологические признаки. Несмотря на большее время заморозки, заметно лишь незначительное уменьшение размера отдельных зёрен, а также форма отдельных единиц стала напоминать многоугольники с заостренными углами. Средний диаметр зерна продолжает снижаться – 8,4 мкм. Соотношение изменилось в сторону увеличения количества средних зерен до 64%, а количество малых, а особенно больших, уменьшилось. Следует отметить, что в процессе заморозки значительно уменьшается количество крупных зерен и увеличивается количество средних, в то время как соотношение маленьких зерен при длительном замораживании практически не меняется. Это может быть связано с ферментативным разрушением в процессе хранения и согласуется с данными, полученными при воздействии низкими температурами (0–4 °С) в течение длительного времени на картофельный крахмал. В этих исследованиях было показано снижение содержания крахмала, неравномерная деформация зерен и увеличение внутренних полостей и каналов в крахмальном зерне [21]. Уменьшение размера и большую угловатость формы можно объяснить уменьшением количества влаги в образце, которое происходит при вымораживании продукта.

Таблица 1.

Размер зерен кукурузного крахмала при разных температурных воздействиях, мкм

Table 1.

Grain size of corn starch under different temperature effects, μm

Группа	Group	Максимальный диаметр	Maximum diameter	Минимальный диаметр	Minimum diameter	Средний диаметр	Average diameter
2		14,4		4,4		$8,5 \pm 0,12$	
3		58,1		7,9		$22,7 \pm 0,39$ ***	
9		17,7		3,4		$8,5 \pm 0,14$	
10		16,5		2,7		$8,4 \pm 0,11$	
разница по сравнению с группой 2 достоверна*** – $P \leq 0,001$ the difference compared to the group 2 is significant: *** – at $P \leq 0.001$							

Заключение

Наши исследования показали, что зерна кукурузного крахмала в фарше, при отсутствии термической обработки, полностью соответствуют морфологическим признакам, характерным для этого вида, имеют округлую, слегка угловатую форму. В центре располагается глазок. Средний размер зерна около 8,5 мкм. Преобладают зерна среднего размера.

Основные изменения, связанные с нагреванием при 80 °С, в крахмале происходят за первые 10 минут. У кукурузного крахмала достаточно высокая температура клейстеризации – 70 °С, поэтому в первые 5 минут в большинстве зерен еще сохраняется многоугольная форма и глазок. Средний размер зерен увеличивается до 22,7 мкм, их число достигает 95%. К 10 минутам деструктивные изменения нарастают, далее их интенсивность плавно снижается. При достижении 20 минут наступает клестеризация. Характер изменений состоит в том, что зёрна увеличиваются в размере, у них распадается глазок, теряется изначальная форма, а сами они, постепенно, слипаются и сливаются вместе. При пастеризации при 80 °С более 20 минут каких-либо существенных изменений морфологии зерен не происходит.

Характер изменений в структуре крахмала при термической обработке 100 °С неотличим от тех, что происходят при 80 °С. Однако изменения наступают значительно быстрее, за первые 5 минут, и к 10 минутам морфология крахмальных зерен не просматривается.

Замораживание практически не меняет морфологические признаки зерна. Однако, при длительном воздействии отрицательных температур заметно искажение формы зерен в сторону больше угловатости, что связано с уменьшением содержания влаги и неравномерным ферментативным разрушением структуры крахмального зерна в результате заморозки.

В результате работы сделаны микрофотографии и проведено описание морфологического строения зерен кукурузного крахмала при разных температурных режимах обработки. Микрофотографии исследуемых образцов и описание микроструктуры крахмальных зерен могут быть использованы для идентификации кукурузного крахмала и индикации температурных режимов обработки при проведении оценки качества мясных продуктов.

Литература

- 1 Semak A.E., Kazakova E.V., Cherepanova N.G. et al. Improving the Quality of Evaluation of Meat Products // Entomology and Applied Science Letters. 2021. V. 8. № 2. P. 78–84. doi: 10.51847/CUMJASGUCH
- 2 Sadeghinezhad J., Morovvati H., Yekta Z., Fattahi K. et al. Evaluation of the Histological Method in Quantitative Detection of Unauthorized Tissues (chicken skin and bone) in Reconstructed Kabab Loghme and Kielbasa // Tolooebehdasht Journal. 2019. V.18(2). P. 57–69. doi: 10.18502/tbj.v18i2.1264
- 3 Савостина Т.В., Мижевкина А.С., Савостина Д.А. и др. Гистоморфологическая характеристика фаршей разных изготовителей // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (94). С. 250–257.
- 4 Moghtaderi A., Raji A., Khanzadi S., Nabipour A. Application of histological method for detection of unauthorized tissues in meat sausage // Veterinary research forum: an international quarterly journal. 2019. № 10(4). P. 357–360. doi: 10.30466/vrf.2018.89154.2160
- 5 Darban Maghami N., Nabipour A., Mohsenzadeh M., Torabi M. Histological and stereological approaches for detection of tissues and fraud in some meat products // Veterinary research forum: an international quarterly journal. 2022. № 13(1). P. 47–53. doi: 10.30466/vrf.2020.115238.2742
- 6 Guelmamene R., Bennoune O., Elgroud R. Histological techniques for quality control of meat and meat products – A mini-review // Journal of Nutrition and Human Health. 2018. № 2(2). P. 24–29. doi: 10.35841/nutrition-human-health.2.2.24–30
- 7 Mellett F. Quality characteristics of low fat ostrich meat patties formulated with either pork lard or modified corn starch, soya isolate and water // Meat science. 2003. № 65. P. 869–875. doi: 10.1016/S0309-1740(02)00293-0
- 8 Sadeghinezhad J., Morovvati H., Yekta Z., Fattahi K. et al. Evaluation of the Histological Method in Quantitative Detection of Unauthorized Tissues (chicken skin and bone) in Reconstructed Kabab Loghme and Kielbasa // The Journal of Tolooebehdasht. 2019. № 18. P. 57–69.
- 9 Sadeghinezhad J., Morovvati H., Yekta Z., Fattahi K. et al. Evaluation of the Histological Method in Quantitative Detection of Unauthorized Tissues (chicken skin and bone) in Reconstructed Kabab Loghme and Kielbasa // The Journal of Tolooebehdasht. 2019. № 18 (2). P. 57–69. doi: 10.18502/tbj.v18i2.1264
- 10 Никитина Е.В. Изменения микроструктуры картофельного крахмала при модификации бактериальной амилазой *Bacillus subtilis* в зависимости от концентрации фермента // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 7. С. 133–136.
- 11 Khatfiev E.B., Goldstein V.G., Krivandin A.V., Wasserman L.A. Main Characteristics of Processed Grain Starch Products and Physicochemical Features of the Starches from Maize (*Zea mays* L.) with Different Genotypes // Polymers. 2023. № 15(8). P. 1976. doi: 10.3390/polym15081976
- 12 O'Neill E.C., Field R.A. Underpinning starch biology with in vitro studies on carbohydrate-active enzymes and biosynthetic glycomaterials // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2015. № 3. P.136.
- 13 Comejo-Ramírez Y.I., Martínez-Cruz O., Del Toro-Sánchez C.L., Wong-Corral F.J. et al. The structural characteristics of starches and their functional properties // CyTA – Journal of Food. 2018. № 16(1). P.1003–1017. doi: 10.1080/19476337.2018.1518343

- 14 Хвьяля С.И., Лапшин В.А., Корешков В.Н. Использование крахмала в мясной промышленности // Инновационные процессы в пищевых технологиях: наука и практика. 2019. С. 376-383.
- 15 Nishizawa T., Roy T.S., Nara K., Rahman M.M. et al. Physical and physiological traits of tubers and their starch-granule sizes of local potato cultivars in Bangladesh // *Acta Horticulturae*. 2021. № 1326. P.239–246. doi: 10.17660/ActaHortic.2021.1326.32
- 16 Zhao F., Jing L., Wang D. et al. Grain and starch granule morphology in superior and inferior kernels of maize in response to nitrogen // *Scientific reports*. 2018. № 8(1). P.6343. doi: 10.1038/s41598-018-23977
- 17 Lindeboom N., Chang P.R., Tyler R.T. Analytical, Biochemical and Physicochemical Aspects of Starch Granule Size, with Emphasis on Small Granule Starches: A Review // *Starch-starke*. 2004. V. 56. P. 89–99. doi: 10.1002/star.200300218
- 18 Мизинов М.Г., Черепанова Н.Г., Агаркова А.А. Изменение структуры кукурузного крахмала в составе мясного продукта при термической обработке // Научно-практические достижения молодых ученых как основа развития АПК в условиях интенсификации производства и техногенного пресса: материалы Национальной студенческой научно-практической конференции, Рязань, 15 марта 2023 года. Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. С. 196–203.
- 19 Хвьяля С.И., Пчелкина В.А. Гистологические особенности крахмалов и их выявление в мясных продуктах // *Мясные технологии*. 2011. № 11(107). С. 46–49.
- 20 Пчелкина В.А., Хвьяля С.И. Микроструктура крахмала и особенности его выявления в мясных продуктах // Глубокая переработка зерна для производства крахмала, его модификаций и сахаристых продуктов. Тенденции развития производства и потребления: труды Международной научно-практической конференции: к 80-летию ВНИИ крахмалопроductов Россельхозакадемии. ООО "НИПКЦ Восход-А", 2013. С. 233–237.
- 21 Taufique T., Nishizawa T., Roy T.S., Meiko K. et al. Histological and physiological changes of potato starch derived from seed and TPS (true potato seed) grown tubers under different cold storage duration // *Advances in Horticultural Science*. 2021. № 35(4). P. 371–381. doi: 10.36253/ahsc-11517

References

- 1 Semak A.E., Kazakova E.V., Cherepanova N.G. et al. Improving the Quality of Evaluation of Meat Products. *Entomology and Applied Science Letters*. 2021. vol. 8. no. 2. pp. 78–84. doi: 10.51847/CUMJASGUCH
- 2 Sadeghinezhad J., Morovvati H., Yekta Z., Fattahi K. et al. Evaluation of the Histological Method in Quantitative Detection of Unauthorized Tissues (chicken skin and bone) in Reconstructed Kabab Loghme and Kielbasa. *Tolooebehdasht Journal*. 2019. vol. 18(2). pp. 57–69. doi: 10.18502/tbj.v18i2.1264
- 3 Savostina T.V., Mizhevnikina A.S., Savostina D.A. and others. Histomorphological characteristics of minced meat from different manufacturers. *News of the Orenburg State Agrarian University*. 2022. no. 2 (94). pp. 250–257. (in Russian).
- 4 Moghtaderi A., Raji A., Khanzadi S., Nabipour A. Application of histological method for detection of unauthorized tissues in meat sausage. *Veterinary research forum: an international quarterly journal*. 2019. no. 10(4). pp. 357–360. doi: 10.30466/vrf.2018.89154.2160
- 5 Darban Maghami N., Nabipour A., Mohsenzadeh M., Torabi M. Histological and stereological approaches for detection of tissues and fraud in some meat products. *Veterinary research forum: an international quarterly journal*. 2022. no. 13(1). pp. 47–53. doi: 10.30466/vrf.2020.115238.2742
- 6 Guelmamene R., Bennoune O., Elgroud R. Histological techniques for quality control of meat and meat products – A mini-review. *Journal of Nutrition and Human Health*. 2018. no. 2(2). pp. 24–29. doi: 10.35841/nutrition-human-health.2.2.24-30
- 7 Mellett F. Quality characteristics of low fat ostrich meat patties formulated with either pork lard or modified corn starch, soya isolate and water. *Meat science*. 2003. no. 65. pp. 869–875. doi: 10.1016/S0309-1740(02)00293-0
- 8 Sadeghinezhad J., Morovvati H., Yekta Z., Fattahi K. et al. Evaluation of the Histological Method in Quantitative Detection of Unauthorized Tissues (chicken skin and bone) in Reconstructed Kabab Loghme and Kielbasa. *The Journal of Tolooebehdasht*. 2019. no. 18. pp. 57–69.
- 9 Sadeghinezhad J., Morovvati H., Yekta Z., Fattahi K. et al. Evaluation of the Histological Method in Quantitative Detection of Unauthorized Tissues (chicken skin and bone) in Reconstructed Kabab Loghme and Kielbasa. *The Journal of Tolooebehdasht*. 2019. no. 18 (2). pp. 57–69. doi: 10.18502/tbj.v18i2.1264
- 10 Nikitina E.V. Changes in the microstructure of potato starch when modified by bacterial amylase *Bacillus subtilis* depending on the concentration of the enzyme // *Bulletin of the University of Technology*. 2016. vol. 19. no. 7. pp. 133–136. (in Russian).
- 11 Khatefov E.B., Goldstein V.G., Krivandin A.V., Wasserman L.A. Main Characteristics of Processed Grain Starch Products and Physicochemical Features of the Starches from Maize (*Zea mays* L.) with Different Genotypes. *Polymers*. 2023. no. 15(8). pp. 1976. doi: 10.3390/polym15081976
- 12 O'Neill E.C., Field R.A. Underpinning starch biology with in vitro studies on carbohydrate-active enzymes and biosynthetic glycomaterials. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2015. no. 3. pp. 136.
- 13 Comejo-Ramírez Y.I., Martínez-Cruz O., Del Toro-Sánchez C.L., Wong-Corral F.J. et al. The structural characteristics of starches and their functional properties. *CyTA – Journal of Food*. 2018. no. 16(1). pp. 1003–1017. doi: 10.1080/19476337.2018.1518343
- 14 Khvylyia S.I., Lapshin V.A., Koreshkov V.N. The use of starch in the meat industry. *Innovative processes in food technologies: science and practice*. 2019. pp. 376-383. (in Russian).
- 15 Nishizawa T., Roy T.S., Nara K., Rahman M.M. et al. Physical and physiological traits of tubers and their starch-granule sizes of local potato cultivars in Bangladesh. *Acta Horticulturae*. 2021. no. 1326. pp. 239–246. doi: 10.17660/ActaHortic.2021.1326.32
- 16 Zhao F., Jing L., Wang D. et al. Grain and starch granule morphology in superior and inferior kernels of maize in response to nitrogen. *Scientific reports*. 2018. no. 8(1). pp. 6343. doi: 10.1038/s41598-018-23977
- 17 Lindeboom N., Chang P.R., Tyler R.T. Analytical, Biochemical and Physicochemical Aspects of Starch Granule Size, with Emphasis on Small Granule Starches: A Review. *Starch-starke*. 2004. vol. 56. pp. 89–99. doi: 10.1002/star.200300218

18 Mizinov M.G., Cherepanova N.G., Agarkova A.A. Change in the structure of corn starch in the composition of a meat product during heat treatment. Scientific and practical achievements of young scientists as the basis for the development of the agro-industrial complex in conditions of intensified production and technogenic pressure: materials of the National Student Scientific and Practical Conference, Ryazan, March 15, 2023. Ryazan State Agrotechnological University named after. P.A. Kostycheva, 2023. pp. 196–203. (in Russian).

19 Khvylya S.I., Pchelkina V.A. Histological features of starches and their identification in meat products. Meat technologies. 2011. no. 11(107). pp. 46–49. (in Russian).

20 Pchelkina V.A., Khvylya S.I. Microstructure of starch and features of its detection in meat products. Deep processing of grain for the production of starch, its modifications and sugar products. Trends in the development of production and consumption: proceedings of the International Scientific and Practical Conference: to the 80th anniversary of the All-Russian Research Institute of Starch Products of the Russian Agricultural Academy. LLC "NIPCTs Voskhod-A", 2013. pp. 233–237. (in Russian).

21 Taufique T., Nishizawa T., Roy T.S., Meiko K. et al. Histological and physiological changes of potato starch derived from seed and TPS (true potato seed) grown tubers under different cold storage duration. Advances in Horticultural Science. 2021. no. 35(4). pp. 371–381. doi: 10.36253/ahsc 11517

Сведения об авторах

Надежда Г. Черепанова старший преподаватель, кафедра морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, г. Москва, 127434, Россия, ncherepanova@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7484-9021>

Елена А. Просекова к.б.н., доцент, кафедра морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, г. Москва, 127434, Россия, proseka2004@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1819-0618>

Анна Э. Семак к.с.-х.н., доцент, кафедра морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, г. Москва, 127434, Россия, semakq@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-1986-4284>

Марк Г. Мизин студент, кафедра морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, г. Москва, 127434, Россия, mizmarkus@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0002-6590-0969>

Алиса А. Агаркова аспирант кафедры частной зоотехнии, кафедра частной зоотехнии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, г. Москва, 127434, Россия, agarkova-vasilisa@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0003-2696-2320>

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

Nadezda G. Cherepanova senior lecturer, morphology and veterinary and sanitary examination departments, Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya street, 49, Moscow, 127550, Russian Federation, ncherepanova@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7484-9021>

Elena A. Prosekov Cand. Sci. (Biol.), associate professor, morphology and veterinary and sanitary examination departments, Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya street, 49, Moscow, 127550, Russian Federation, proseka2004@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1819-0618>

Anna E. Semak Cand. Sci. (Agric.), associate professor, morphology and veterinary and sanitary examination departments, Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya street, 49, Moscow, 127550, Russian Federation, semakq@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-1986-4284>

Mark G. Mizinov student, morphology and veterinary and sanitary examination departments, Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya street, 49, Moscow, 127550, Russian Federation, mizmarkus@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0002-6590-0969>

Alisa A. Agarkova graduate student in the department of special animal husbandry, special animal husbandry department, Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya street, 49, Moscow, 127550, Russian Federation, agarkova-vasilisa@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0003-2696-2320>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 10/07/2023	После редакции 03/08/2023	Принята в печать 28/08/2023
Received 10/07/2023	Accepted in revised 03/08/2023	Accepted 28/08/2023

Анализ актуальных методов повышения надежности рулевого управления сельскохозяйственного транспорта при передвижении по деформируемому грунту

Михаил В. Семенин¹ glamsonic@ya.ruМихаил Ю. Костенко¹ kostenko.mihail2016@ya.ru¹ Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, ул. Костычева, 1, г. Рязань, 390044, Россия

Аннотация. Данная статья посвящена анализу актуальных методов повышения надежности рулевого управления сельскохозяйственного транспорта при передвижении по деформируемому грунту. Цель данной статьи – провести анализ существующих методов, направленных на повышение надежности рулевого управления сельскохозяйственного транспорта при передвижении по деформируемому грунту. В связи с тем, что использование транспортных средств в сельском хозяйстве на деформируемом грунте имеет высокую актуальность, существует необходимость в разработке методов, которые могут повысить надежность рулевого управления и уменьшить вероятность аварийных ситуаций. Итогом данной статьи является рассмотрение различных подходов и методов, которые помогают решить данную проблему, статья направлена на то, чтобы обобщить опыт и знания в данной области и предложить рекомендации для улучшения надежности рулевого управления сельскохозяйственного транспорта при передвижении по деформируемому грунту. В статье рассмотрены следующие методы: улучшение качества материалов и деталей, разработка оптимальной геометрии шарового пальца, использование систем автоматической регулировки, применение новых технологий концепции «Precision Agriculture» и эксплуатационная самодиагностика с регулярным техническим обслуживанием. Выбор более прочных и долговечных материалов, установка системы автоматической регулировки подвески, а также проведение регулярного технического обслуживания позволят увеличить надежность и срок эксплуатации рулевого оборудования на деформируемом грунте, а использование новых технологий, таких как машинное обучение и искусственный интеллект, позволит повысить безопасность сельскохозяйственных машин. Автор статьи вносит новизну в изучение повышения надежности рулевого управления сельскохозяйственного транспорта при передвижении по деформируемому грунту, обращая внимание на применение современных технологий и методов, таких как использование систем автоматической регулировки и применение новых технологий. Также автор обращает внимание на необходимость регулярного технического обслуживания и замены изношенных деталей для поддержания эффективности и безопасности работы рулевого оборудования.

Ключевые слова: надежность, рулевое управление, сельскохозяйственный транспорт, деформируемый грунт, техническое обслуживание, условия эксплуатации, инженерные решения, устойчивость передвижения.

Analysis of current methods for improving the reliability of steering systems in agricultural transport when moving on deformable soils

Mikhail V. Semynin¹ glamsonic@ya.ruMikhail Yu. Kostenko¹ kostenko.mihail2016@ya.ru¹ Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, st. Kostycheva, 1, Ryazan, 390044, Russia

Abstract. This article is dedicated to the analysis of current methods aimed at improving the reliability of steering control in agricultural transport when operating on deformable soil. Objective of this paper is to analyze existing methods aimed at enhancing the reliability of steering control in agricultural transport on deformable terrain. Given the high relevance of the use of vehicles in agriculture on such ground conditions, there is a need to develop methods that can improve steering reliability and reduce the likelihood of accidents. The outcome of this article is a consideration of various approaches and methods that help address this issue; the paper aims to consolidate experience and knowledge in this field and offer recommendations for enhancing the steering control reliability of agricultural transport when operating on deformable soil. The methods examined in this paper include improving the quality of materials and components, developing optimal ball joint geometry, using automatic adjustment systems, applying new «Precision Agriculture» technology concepts, and implementing operational self-diagnostics with regular technical maintenance. Selection of stronger and more durable materials, the installation of automatic suspension adjustment systems, and regular technical maintenance will increase the reliability and lifespan of steering equipment on deformable soil. The use of new technologies, such as machine learning and artificial intelligence, will enhance the safety of agricultural machines. The author brings novelty to the study of enhancing steering control reliability in agricultural transport on deformable soil by focusing on the application of modern technologies and methods, such as the use of automatic adjustment systems and the implementation of new technologies. Moreover, the author emphasizes the need for regular technical maintenance and replacement of worn parts to maintain the efficiency and safety of the steering equipment's operation.

Keywords: reliability, steering, agricultural transport, deformable soil, maintenance, operating conditions, engineering solutions, stability of movement.

Для цитирования

Семенин М.В., Костенко М.Ю. Анализ актуальных методов повышения надежности рулевого управления сельскохозяйственного транспорта при передвижении по деформируемому грунту // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 36–41. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-36-41

For citation

Semynin M.V., Kostenko M.Yu. Analysis of current methods for improving the reliability of steering systems in agricultural transport when moving on deformable soils. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 36–41. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-36-41

Введение

Проблема низкой надежности рулевого управления сельскохозяйственного транспорта при передвижении по деформируемому грунту имеет высокую актуальность и является серьезным вызовом для сельскохозяйственных предприятий и фермеров. В условиях, когда необходимо перемещать грузы и оборудование по полям с мягким грунтом, рулевое управление транспортными средствами испытывает повышенную нагрузку, что приводит к снижению его надежности и увеличению вероятности аварийных ситуаций. Одной из главных причин повреждений рулевого оборудования при передвижении на деформируемом грунте является наличие на пути препятствий, таких как камни, ветки, корни деревьев и другие объекты, которые могут повредить детали рулевого оборудования. Кроме того, при движении по деформируемому грунту колеса транспортного средства затягиваются в него, что приводит к более интенсивному трению и вибрации рулевого оборудования. Это может привести к раннему износу и поломкам деталей, что ухудшает работу транспортного средства и может повлечь за собой дополнительные затраты на ремонт. Для решения этой проблемы необходимо принимать меры по повышению надежности рулевого управления при передвижении по деформируемому грунту.

Цель статьи – провести анализ существующих методов, направленных на повышение надежности рулевого управления сельскохозяйственного транспорта при передвижении по деформируемому грунту.

Объекты и методы

Объект – надежность рулевого управления грузового сельскохозяйственного автотранспорта.

В статье используются следующие методы: анализ существующих научных и технических публикаций, исследований и патентов, связанных с проблемой надежности рулевого управления на деформируемом грунте, испытания, включающие тестирование различных рулевых систем и устройств на разных типах деформируемого грунта, обработка полученных данных, позволяющая выявить статистически значимые различия между разными методами управления и оценить их эффективность.

В статье рассмотрены следующие методы: улучшение качества материалов и деталей, разработка оптимальной геометрии шарового пальца, использование систем автоматической регулировки, применение новых технологий концепции «Precision Agriculture» и эксплуатационная самодиагностика с регулярным техническим обслуживанием.

Изучение методов повышения надежности рулевого управления сельскохозяйственного транспорта при передвижении по деформируемому грунту показало, что одним из перспективных направлений является применение систем эксплуатационной самодиагностики. Эти системы могут значительно снизить количество отказов и повысить общий уровень надежности техники. Результаты научно-исследовательских работ, проведенных в этой области, показывают, что системы бортовой диагностики могут быть разработаны для мониторинга функционирования рулевого управления грузовых автомобилей, а также для обеспечения оперативной диагностики и устранения неисправностей. Принципы и алгоритмы функционирования систем самодиагностики должны обеспечивать надежность работы системы и исключать возможность потери информации внутри системы.

Ревякин М.М. [1] разработал систему эксплуатационной самодиагностики для повышения надежности грузовых автомобилей. Система включает в себя мониторинг функционирования автомобиля, структуру бортовой системы самодиагностики, а также принципы и алгоритмы функционирования. Исследование показало, что система влияет на уменьшение количества отказов и повышение надежности грузовых автомобилей.

Рулевое управление в сельскохозяйственном транспорте при передвижении по деформируемому грунту имеет высокую важность для обеспечения безопасности и комфорта водителя. Рулевой привод грузовых автомобилей отличается от легковых автомобилей наличием продольной рулевой тяги. Усилие передается через несколько элементов, включая рычаги поперечной рулевой тяги и продольной рулевой тяги. Шарниры соединений тяг шарнирные и защищены от попадания грязи. В поперечных тягах используются эксцентриковые вкладыши, устраняющие зазоры при износе сочленений. Регулировка длины тяг осуществляется за счет правой и левой резьбы на концах поперечной тяги и наконечниках.

Однако, изнашивание верхнего и нижнего шарниров рулевого вала, а также коррозия на иголках крестовины могут существенно снизить надежность рулевого привода. Средний ресурс нижних шарниров составляет 130 000 км, а ресурс вала-сектора – 350 000 км. Игольчатые подшипники крестовины могут изнашиваться со временем, если в механизм попадает влага и смазка вымывается. Спивак Д.А. [2] провел общий анализ долговечности рулевого управления в грузовых автомобилях малого класса и пришел к выводу, что верхний шарнир имеет высокий ресурс, что говорит о его высоком

качестве и надежности. Однако, нижние шарниры имеют ограниченный ресурс, который составляет примерно 130000 км, что требует регулярной проверки и замены при необходимости. Кроме того, игольчатые подшипники крестовины также могут стать причиной поломки рулевого вала, если внутрь механизма попадет влага, что приведет к вымыванию смазки и коррозии иголок.

Для обеспечения безопасности и долговечности рулевого вала необходимо проводить регулярное техническое обслуживание и замену изношенных деталей. В связи с этим, необходимо постоянно следить за состоянием рулевого вала и его компонентов.

Корпус механизма, винт с шариковой гайкой и сошка являются основными компонентами рулевой системы, которые обеспечивают стабильность и безопасность управления автомобилем. По результатам исследований, эти детали практически не изнашиваются и имеют ресурс, соответствующий ресурсу автомобиля в целом. Однако, другие компоненты, такие как вал-сектор, подвержены износу в процессе эксплуатации. Средний ресурс вала-сектора исследуемых автомобилей составил 350000 км. Это достаточно большой ресурс, однако в процессе эксплуатации могут возникать различные проблемы, такие как износ, смятие и выкрашивание шлицевых поверхностей вала-сектора, а также выработка в местах работы уплотнительных колец.

В результате может произойти ухудшение качества управления автомобилем и повышение риска аварийных ситуаций. Поэтому, регулярное техническое обслуживание и замена изношенных деталей являются важными мерами для поддержания эффективности и безопасности работы рулевой системы.

Научно-исследовательская работа Терещенко Е.С., Мурга И.А., Фадеева Д.Ю., Шабалина Д.В. [3] сравнивала различные способы регулирования реактивного действия рулевого управления автомобилей многоцелевого назначения. Изменение реактивного действия может привести к увеличению усилия на рулевом колесе, что усложняет управление транспортным средством.

Для решения этой проблемы были разработаны системы автоматической регулировки, которые позволяют компенсировать неровности дороги и изменения веса груза, облегчая работу механизма рулевого управления. Однако, опыт показал, что изменение реактивного действия путем регулирования расхода насоса может привести к нелинейной зависимости усилия на рулевом колесе от расхода насоса, что усложняет выработку алгоритма управления усилием на рулевом колесе в зависимости от момента сопротивления повороту колес. Поэтому

для достижения более эффективного и точного управления транспортным средством на деформируемом грунте необходимо учитывать не только изменение реактивного действия, но и конструктивные особенности системы рулевого управления и её компонентов.

Исследование Горелова В.А. [4] выявило, что для решения этой задачи необходимо учитывать множество факторов, включая конструктивные особенности транспортных средств и свойства грунта.

В этом контексте численное моделирование прямолинейного движения колесной техники по бездорожью является важным инструментом, позволяющим разработчикам на стадии проектирования колесной техники оценить ее проходимость и определить оптимальные параметры трансмиссии и управления для различных условий эксплуатации. В результате исследования был разработан метод прогнозирования опорной проходимости колесных транспортных средств по деформируемому грунту, который может быть использован в различных задачах проектирования колесной техники и позволяет учитывать многие важные факторы, влияющие на ее проходимость. Результаты исследования подчеркивают эффективность метода и его важность для промышленности.

Одной из ключевых проблем является износ шаровых соединений, которые испытывают значительные нагрузки и находятся в напряженно-деформированном состоянии. Для решения этой проблемы можно использовать различные методы модернизации детали шарового шарнира рулевого привода, что позволит повысить стабильность рулевого управления и снизить износ шаровых соединений [5]. Одним из таких методов, может быть, выбор более прочных и долговечных материалов для изготовления шаровых и других деталей механизма, а также оптимизация геометрии шаровой опоры. Кроме того, можно использовать системы автоматической регулировки подвески, эксплуатационную самодиагностику и регулярное техническое обслуживание для обеспечения безопасности и эффективности работы рулевого управления. Внедрение новых технологий, таких как машинное обучение и искусственный интеллект, также может способствовать улучшению процесса управления и повышению безопасности сельскохозяйственных машин на деформируемом грунте.

Результаты и обсуждение

Далее в таблице представлен анализ выявленных методов повышения надежности рулевого управления сельскохозяйственного транспорта при передвижении по деформируемому грунту.

Таблица 1.

Анализ актуальных методов повышения надежности рулевого управления сельскохозяйственного транспорта при передвижении по деформируемому грунту

Table 1.

Analysis of actual methods of increasing reliability of steering control of agricultural transport when moving on deformable soil

Метод Method	Характеристика Characteristics
Улучшение качества материалов и деталей Improving material and part quality	Выбор более прочных и долговечных материалов для изготовления шаровых и других деталей механизма, использование качественных подшипников, уплотнителей и других компонентов, что позволит увеличить надежность и срок эксплуатации рулевого оборудования на деформируемом грунте, где колеса транспорта испытывают большие нагрузки и вибрации. Selection of stronger and more durable materials for manufacturing of ball and other parts of the mechanism, use of quality bearings, seals and other components, which will increase reliability and service life of steering equipment on deformable ground, where transport wheels experience high loads and vibrations.
Разработка оптимальной геометрии шарового пальца Development of optimum ball pin geometry	Анализ конструкции механизма и определение наиболее эффективной геометрии шаровой для улучшения качества рулевого управления. Analyzing the mechanism design and determining the most effective ball geometry to improve steering quality.
Использование систем автоматической регулировки Use of automatic adjustment systems	Установка системы автоматической регулировки подвески, которая будет компенсировать неровности дороги и изменения веса груза, облегчая работу механизма рулевого управления. Это позволит уменьшить нагрузку на рулевое оборудование, снизить требуемые усилия на рулевом колесе и повысить точность управления транспортным средством на деформируемом грунте. Installing an automatic suspension adjustment system that will compensate for road irregularities and changes in the weight of the load, facilitating the steering mechanism. This will reduce the load on the steering equipment, reduce the required steering wheel forces and improve the accuracy of vehicle control on deformable ground.
Применение новых технологий концепции «Precision Agriculture» Application of new technologies of the "Precision Agriculture" concept	Использование современных технологий, таких как машинное обучение и искусственный интеллект, для улучшения процесса управления и повышения безопасности сельскохозяйственных машин. Utilizing modern technologies such as machine learning and artificial intelligence to improve the steering process and increase the safety of agricultural vehicles.
Эксплуатационная самодиагностика, регулярное техническое обслуживание Operational self-diagnosis, regular maintenance	Проведение регулярного технического обслуживания механизма рулевого управления и замена изношенных деталей, чтобы сохранить его эффективность и безопасность работы. Performing regular maintenance on the steering mechanism and replacing worn parts to keep it running efficiently and safely.

Для более эффективной защиты рулевого оборудования на деформируемом грунте также можно использовать специальные устройства, такие как дополнительные защитные щитки, которые защищают рулевые детали от повреждений при прохождении через препятствия. Также можно установить системы мониторинга состояния рулевого оборудования, которые позволяют оперативно обнаруживать любые неисправности и принимать меры по их устранению.

Кроме того, важно регулярно производить техническое обслуживание транспортных средств и заменять изношенные детали, чтобы предотвратить возможные поломки и повреждения рулевого оборудования.

Концепция «Precision Agriculture» (точное сельское хозяйство) предполагает использование передовых технологий и методов для увеличения эффективности производства и повышения надежности сельскохозяйственной техники [6]. Эта концепция включает в себя использование современных информационных технологий, датчиков, систем навигации и других инструментов

для точного контроля и управления процессами сельского хозяйства, включая посев, уход за растениями и животными, уборку урожая и транспортировку сельскохозяйственной продукции.

Неоднородное распределение нагрузки на колеса при движении по деформируемому грунту может привести к неравномерному износу шин, а также к деформации их поверхности. Это может привести к неустойчивости движения, потере сцепления с дорогой и повышенному риску аварийных ситуаций. Поэтому при проектировании рулевого управления сельскохозяйственного транспорта необходимо учитывать особенности передвижения по деформируемому грунту и обеспечивать равномерное распределение нагрузки на колеса.

Исследователи Rosca, R., Cârlescu, P., Tenu, I., и Vlahidis, V. [7] в своей статье «Улучшение модели тягового механизма для взаимодействия между сельскохозяйственной шиной и почвой» упоминают, что первым ученым, который систематически исследовал взаимодействие между почвой и колесом при помощи

экспериментального анализа и теоретического моделирования, был Беккер. Эти экспериментальные исследования послужили основой для развития эмпирических моделей, которые могут быть использованы для оценки производительности колесных транспортных средств на деформированном грунте. Гипотеза о деформируемом поперечном сечении шины привела к изменению результатов относительно геометрии контакта шины с землей, а также силы и эффективности тяги. Анализ соответствия результатов показал, что цель исследования была достигнута по крайней мере в отношении скольжения колеса в рекомендованных пределах для сельскохозяйственных операций (0–30 %). Коэффициент

Пирсона для силы тяги слегка уменьшился, однако процент данных модели, попадающих в пределы 95 % доверительного интервала экспериментальных данных, значительно увеличился.

Заключение

Выбор правильных методов повышения надежности рулевого управления может значительно улучшить работу сельскохозяйственной техники на деформируемом грунте, снизить износ и повысить безопасность. Рекомендуется использовать все предложенные методы вместе для максимальной эффективности и долговечности рулевого управления транспорта.

Литература

- 1 Ревякин М.М., Жосан А.А., Головин С.И. Повышение эксплуатационной надежности технических систем как аспект стратегии ресурсосбережения мобильных энергетических средств агропромышленного комплекса // Агротехника и энергообеспечение. 2017. №. 4 (17). С. 115-121.
- 2 Спивак Д.А., Полуэктов М.В. Общий анализ долговечности рулевого управления в грузовых автомобилях малого класса // Молодой ученый. 2021. № 18 (360). С. 112–117. URL: <https://moluch.ru/archive/360/80620/>
- 3 Терещенко Е.С., Мурог И.А., Фадеев Д.Ю., Шабалин Д.В. К вопросу о повышении эффективности рулевого управления автомобилей многоцелевого назначения // Омский научный вестник. 2013. Т. 118. № 2. С. 164–168.
- 4 Горелов В.А. Результаты численного моделирования прямолинейного движения двухзвенного колесного транспортного комплекса по деформируемому грунту // Наука и образование. 2012. № 01.
- 5 Семинин М.В., Костенко М.Ю. К вопросу снижения износа шаровых соединений транспортных средств сельскохозяйственного назначения // Аграрный вестник Верхневолжья. 2022. № 4(41). С. 96–102.
- 6 Aby G.R., Issa S.F. Safety of automated agricultural machineries: a systematic literature review // Safety. 2023. V. 9. №. 1. P. 13. doi: 10.3390/safety9010013
- 7 Rosca R.; Cărlăscu P.; Țenu I.; Vlahidis V. The Improvement of a Traction Model for Agricultural Tire–Soil Interaction // Agriculture. 2022. V. 12. № 12. P. 2035. doi: 10.3390/agriculture12122035
- 8 Фомичёв Е.В., Ревякин М.М. Диагностирование как способ получения информации о техническом состоянии сельскохозяйственных машин и повышения их надёжности // Агротехника и энергообеспечение. 2014. №. 1 (1). С. 356-361.
- 9 Успенский И.А., Юхин, И.А., Рябчиков Д.С., Попов А.С. и др. Тенденции перспективного развития сельскохозяйственного транспорта // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. №. 101. С. 2060-2075.
- 10 Si J., Niu Y., Lu J., Zhang H. et al. High-precision estimation of steering angle of agricultural tractors using GPS and low-accuracy MEMS // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2019. V. 68. №. 12. P. 11738-11745. doi: 10.1109/TVT.2019.2949298
- 11 Liu H., Yan S., Shen Y., Li C. et al. Model predictive control system based on direct yaw moment control for 4WID self-steering agriculture vehicle // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2021. V. 14. №. 2. P. 175-181.
- 12 Gat G., Gan-Mor S., Degani A. Stable and robust vehicle steering control using an overhead guide in greenhouse tasks // Computers and Electronics in Agriculture. 2016. V. 121. P. 234-244. doi: 10.1016/j.compag.2015.12.019
- 13 Qiu Q., Fan Z., Meng Z., Zhang Q. et al. Extended Ackerman Steering Principle for the coordinated movement control of a four wheel drive agricultural mobile robot // Computers and Electronics in Agriculture. 2018. V. 152. P. 40-50. doi: 10.1016/j.compag.2018.06.036
- 14 Liu Z., Zheng W., Wang N., Lyu Z. et al. Trajectory tracking control of agricultural vehicles based on disturbance test // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2020. V. 13. №. 2. P. 138-145.
- 15 Zardin B., Borghi M., Gherardini F., Zanasi N. Modelling and simulation of a hydrostatic steering system for agricultural tractors // Energies. 2018. V. 11. №. 1. P. 230. doi: 10.3390/en11010230
- 16 Oksanen T., Backman J. Guidance system for agricultural tractor with four wheel steering // IFAC Proceedings Volumes. 2013. V. 46. №. 4. P. 124-129. doi: 10.3182/20130327-3-JP-3017.00030
- 17 Mousazadeh H. A technical review on navigation systems of agricultural autonomous off-road vehicles // Journal of Terramechanics. 2013. V. 50. №. 3. P. 211-232. doi: 10.1016/j.jterra.2013.03.004
- 18 Hu J., Gao L., Bai X., Li T. et al. Review of research on automatic guidance of agricultural vehicles // Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2015. V. 31. №. 10. P. 1-10.
- 19 Li S., Xu H., Ji Y., Cao R. et al. Development of a following agricultural machinery automatic navigation system // Computers and Electronics in Agriculture. 2019. V. 158. P. 335-344. doi: 10.1016/j.compag.2019.02.019
- 20 Man Z., Yuhuan J., Shichao L., Ruyue C.A.O. et al. Research progress of agricultural machinery navigation technology // Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery. 2020. V. 51. №. 4.

References

- 1 Revyakin M.M., Zhosan A.A., Golovin S.I. Increasing the operational reliability of technical systems as an aspect of the resource-saving strategy for mobile energy means of the agro-industrial complex. *Agricultural technology and energy supply*. 2017. no. 4 (17). pp. 115-121. (in Russian).
- 2 Spivak D.A., Poluektov M.V. General analysis of the durability of steering in small class trucks. *Young scientist*. 2021. no. 18 (360). pp. 112–117. Available at: <https://moluch.ru/archive/360/80620/> (in Russian).
- 3 Tereshchenko E.S., Murog I.A., Fadeev D.Yu., Shabalin D.V. On the issue of increasing the efficiency of steering control of multi-purpose vehicles. *Omsk Scientific Bulletin*. 2013. vol. 118. no. 2. pp. 164–168. (in Russian).
- 4 Gorelov V.A. Results of numerical modeling of rectilinear motion of a two-link wheeled transport complex on deformable soil. *Science and Education*. 2012. no. 01. (in Russian).
- 5 Semynin M.V., Kostenko M.Yu. On the issue of reducing wear of ball joints of agricultural vehicles. *Agrarian Bulletin of the Verkhnevolzhye*. 2022. no. 4(41). pp. 96–102. (in Russian).
- 6 Aby G.R., Issa S.F. Safety of automated agricultural machineries: a systematic literature review. *Safety*. 2023. vol. 9. no. 1. pp. 13. doi: 10.3390/safety9010013
- 7 Rosca R., Cârlescu P., Țenu I., Vlahidis V. The Improvement of a Traction Model for Agricultural Tire–Soil Interaction. *Agriculture*. 2022. vol. 12. no. 12. pp. 2035. doi: 10.3390/agriculture12122035
- 8 Fomichev E.V., Revyakin M.M. Diagnostics as a way to obtain information about the technical condition of agricultural machines and increase their reliability. *Agricultural technology and energy supply*. 2014. no. 1(1). pp. 356-361. (in Russian).
- 9 Uspensky I.A., Yukhin, I.A., Ryabchikov D.S., Popov A.S. et al. Trends in the future development of agricultural transport. *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. 2014. no. 101. pp. 2060-2075. (in Russian).
- 10 Si J., Niu Y., Lu J., Zhang H. et al. High-precision estimation of steering angle of agricultural tractors using GPS and low-accuracy MEMS. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2019. vol. 68. no. 12. pp. 11738-11745. doi: 10.1109/TVT.2019.2949298
- 11 Liu H., Yan S., Shen Y., Li C. et al. Model predictive control system based on direct yaw moment control for 4WID self-steering agriculture vehicle. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2021. vol. 14. no. 2. pp. 175-181.
- 12 Gat G., Gan-Mor S., Degani A. Stable and robust vehicle steering control using an overhead guide in greenhouse tasks. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2016. vol. 121. pp. 234-244. doi: 10.1016/j.compag.2015.12.019
- 13 Qiu Q., Fan Z., Meng Z., Zhang Q. et al. Extended Ackerman Steering Principle for the coordinated movement control of a four wheel drive agricultural mobile robot. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. vol. 152. pp. 40-50. doi: 10.1016/j.compag.2018.06.036
- 14 Liu Z., Zheng W., Wang N., Lyu Z. et al. Trajectory tracking control of agricultural vehicles based on disturbance test. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2020. vol. 13. no. 2. pp. 138-145.
- 15 Zardin B., Borghi M., Gherardini F., Zanasi N. Modelling and simulation of a hydrostatic steering system for agricultural tractors. *Energies*. 2018. vol. 11. no. 1. pp. 230. doi: 10.3390/en11010230
- 16 Oksanen T., Backman J. Guidance system for agricultural tractor with four wheel steering. *IFAC Proceedings Volumes*. 2013. vol. 46. no. 4. pp. 124-129. doi: 10.3182/20130327-3-JP-3017.00030
- 17 Mousazadeh H. A technical review on navigation systems of agricultural autonomous off-road vehicles. *Journal of Terramechanics*. 2013. vol. 50. no. 3. pp. 211-232. doi: 10.1016/j.jterra.2013.03.004
- 18 Hu J., Gao L., Bai X., Li T. et al. Review of research on automatic guidance of agricultural vehicles. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2015. vol. 31. no. 10. pp. 1-10.
- 19 Li S., Xu H., Ji Y., Cao R. et al. Development of a following agricultural machinery automatic navigation system. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. vol. 158. pp. 335-344. doi: 10.1016/j.compag.2019.02.019
- 20 Man Z., Yuhan J., Shichao L., Ruyue C.A.O. et al. Research progress of agricultural machinery navigation technology. *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*. 2020. vol. 51. no. 4.

Сведения об авторах

Михаил В. Семынин аспирант, кафедра технологии металлов и ремонта машин, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, ул. Костычева, 1, г. Рязань, 390044, Россия, glamsonic@ya.ru

 <https://orcid.org/>

Михаил Ю. Костенко д.т.н., профессор, кафедра технологии металлов и ремонта машин, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, ул. Костычева, 1, г. Рязань, 390044, Россия, kostenko.mihail2016@ya.ru

 <https://orcid.org/>

Information about authors

Mikhail V. Semynin graduate student, metal technology and machine repair department, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, st. Kostycheva, 1, Ryazan, 390044, Russia, glamsonic@ya.ru

 <https://orcid.org/>

Mikhail Yu. Kostenko Dr. Sci. (Engin.), professor, metal technology and machine repair department, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, st. Kostycheva, 1, Ryazan, 390044, Russia, kostenko.mihail2016@ya.ru

 <https://orcid.org/>

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 08/07/2023	После редакции 04/08/2023	Принята в печать 25/08/2023
Received 08/07/2023	Accepted in revised 04/08/2023	Accepted 25/08/2023

Разработка технологии центробежного шелушения семян зерновых культур

Игорь В. Мацкевич ¹	imatskevichv@mail.ru	 0000-0002-9532-6673
Виктор Н. Невзоров ¹	nevzorov1945@mail.ru	 0000-0003-2259-2150
Василий Н. Тепляшин ¹	teplyshinvn@list.ru	 0009-0003-9935-3091
Анатолий А. Мальцев ¹	tolik.mal1999@gmail.com	 0000-0003-4603-2115

¹ Красноярский государственный аграрный университет, пр-т Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Россия

Аннотация. Рабочая операция шелушение зерна пшеницы является основной для повышения ценности зерна при производстве муки, т.к. при переработке зерна в муку мука высшего и первого сортов используется в основном только эндосперм, а плодовые и семенные оболочки, алейроновый и субалейроновый слои, зародыш уходят в отруби, следовательно из муки уходит 60-90% витаминов группы В, группы Е, фолиевой кислоты, ниацина, а также большая группа микроэлементов сосредоточенных в алейроновом и субалейроновом слоях и зародыше. Современные мукомольные производства не осуществляют эффективного процесса шелушения зерна пшеницы, при котором удалялись бы только плодовые и семенные оболочки, а высокоценные алейроновый и субалейроновый слои, зародыш и эндосперм были бы полностью оставлены в муке. В статье представлены материалы по разработке технологии центробежного шелушения семян зерновых культур базирующейся на новой конструкции центробежного шелушителя, авторские права на который защищены патентом Российской Федерации на полезную модель №114622 «Центробежный шелушитель». Новой технической задачей решенной в конструкции запатентованного центробежного шелушителя является выполнение рабочего корпуса овальным, внутренняя поверхность которого футурирована эластичным материалом, а расположенная внутри овального корпуса гибкая камера устанавливается на приводном валу и на наружной поверхности также покрыта футурированным эластичным материалом. Для обеспечения эффективности процесса шелушения зерна в разработанной конструкции устанавливается необходимый рабочий зазор, за счет изменения числа оборотов электродвигателя и калиброванное зерно, разделенное на фракции, после мойки и отволаживания поступает на шелушение, при котором удаляются только плодовые и семенные оболочки. Таким образом, разработанное новое технологическое оборудование обеспечивает повышение эффективности процесса шелушения в 90-92% за счет снижения потерь алейронового и субалейронового слоев, зародыша и части эндосперма, а также увеличивается выход цельного недробленого зерна.

Ключевые слова: шелушение, оборудование, технология, патент, эффективность.

Development of technology for centrifugal hulling of grain seeds

Igor V. Matskevich ¹	imatskevichv@mail.ru	 0000-0002-9532-6673
Victor N. Nevzorov ¹	nevzorov1945@mail.ru	 0000-0003-2259-2150
Vasily N. Teplyashin ¹	teplyshinvn@list.ru	 0009-0003-9935-3091
Anatoly A. Maltsev ¹	tolik.mal1999@gmail.com	 0000-0003-4603-2115

¹ Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira Ave., 90, Krasnoyarsk, 660049, Russia

Abstract. The working operation of peeling wheat grain is the main one to increase the value of grain in the production of flour, because when processing grain into flour, flour of the highest and first grades is mainly used only endosperm, and fruit and seed shells, aleurone and subaleurone layers, the embryo go into bran, therefore 60-90% of B vitamins, groups of E, folic acid, niacin, as well as a large group of trace elements concentrated in the aleurone and subaleurone layers and the embryo. Modern flour mills do not carry out an effective wheat grain peeling process, in which only the fruit and seed shells would be removed, and the high-value aleurone and subaleurone layers, the embryo and endosperm would be completely left in the flour. The article presents materials on the development of technology for centrifugal peeling of grain seeds based on a new design of a centrifugal husker, the copyright of which is protected by the patent of the Russian Federation for useful model No. 114622 "Centrifugal husker". A new technical task solved in the design of the patented centrifugal husker is to make the working body oval, the inner surface of which is lined with elastic material, and the flexible chamber located inside the oval body is mounted on the drive shaft and on the outer surface is also covered with a textured elastic material. To ensure the efficiency of the grain peeling process, the necessary working gap is established in the developed design, due to the change in the number of revolutions of the electric motor and the calibrated grain divided into fractions, after washing and cooling, goes to peeling, in which only the fruit and seed shells are removed. Thus, the developed new technological equipment provides an increase in the efficiency of the peeling process by 90-92% by reducing the losses of the aleurone and subaleurone layers, the embryo and part of the endosperm, and also increases the yield of whole unbroken grain.

Keywords: peeling, equipment, technology, patent, efficiency..

Для цитирования

Мацкевич И.В., Невзоров В.Н., Тепляшин В.Н., Мальцев А.А. Разработка технологии центробежного шелушения семян зерновых культур // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 42–47. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-42-47

For citation

Matskevich I.V., Nevzorov V.N., Teplyashin V.N., Maltsev A.A. Development of technology for centrifugal hulling of grain seeds. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 42–47. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-42-47

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

Введение

Современная хлебопекарная промышленность активно внедряет в производство хлебопекарные изделия повышенной пищевой ценности, на основе зерновых культур, что соответствует современным требованиям нутрициологии – науки о рациональном питании и здоровой пище [2].

Установлено, что сортовой помол зерна пшеницы в муку высшего и первого сортов осуществляется в основном из внутренней части зерна (эндосперм), в то время как остальные не менее полезные части зерна удаляются на стадии шелушения в отходы, так как оборудование, используемое при выполнении данной рабочей операции имеет рабочие органы покрытые абразивом. Применение абразивных рабочих органов при шелушении приводит к активному удалению плодовой и семенной оболочек, алейронового и субалейронового слоев, зародыша и части эндосперма в отруби, что составляет до 40% от массы зерна [5–7], кроме того, в своей работе Анисимов А.В. рассматривает необходимость изменения интенсивности воздействия рабочих органов на разносортное обрабатываемое сырье с целью снижения потерь эндосперма при шелушении [1].

Выполненные научно-исследовательские работы по разработке новой технологии центробежного шелушения зерна и совершенствованию конструкции шелушительных машин и устройств, позволили подобрать новые конструкционные материалы в виде футурированных эластичных материалов для взаимодействия поверхности и зерна при шелушении, а также внести изменения в технологию подготовки зерна пшеницы к процессу шелушения [3, 8, 10, 11–20].

Цель исследования – разработка нового технологического оборудования и технологии центробежного шелушения семян зерновых культур.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Провести исследования существующих конструкций технологического оборудования, и разработать новое техническое решение ресурсосберегающей шелушительной машины с защитой авторских прав;

2. Разработать технологию шелушения семян зерновых культур с использованием новой конструкции шелушительной машины и построить схему последовательности выполнения технологических операций при шелушении семян зерновых культур.

3. Определить основные технологические параметры выполнения рабочих операций при шелушении семян зерновых культур.

Материалы и методы

Патентные исследования проводились в соответствии с требованиями ГОСТР 15.011–2022 «Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения» [1], по российским и зарубежным информационным базам.

В процессе исследования анализировались современные технические решения направленные для замены абразивного инструмента шелушения зерна на новые материалы, позволяющие сохранять полезную массу зерна при шелушении.

Выполненные патентные исследования позволили определить основные направления модернизации шелушительных машин, на основании чего был подобран прототип, и разработана нормативно-техническая документация на разработанную новую конструкцию шелушительной машины, которая получила защиту авторских прав патентом на полезную модель № 214682 «Центробежный шелушитель для зерна» [9].

Результаты

По результатам выполненных исследований, анализа существующих конструкции серийного оборудования для шелушения зерновых культур, изучения их конструктивных недостатков и их влияния на качество шелушенного зерна, была разработана новая конструкция шелушителя, кинематическая схема которого представлена на рисунке 1.

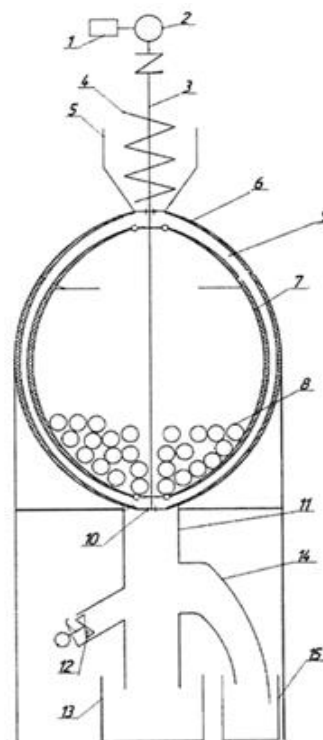


Рисунок 1. Кинематическая схема центробежного шелушителя зерна

Figure1.Kinematic diagram of a centrifugal grain huller

Центробежный шелушитель зерна состоит из системы управления 1 работой привода 2 рабочего вала 3 с закрепленным подающим шнеком 4 размещенным в бункере 5, который в свою очередь установлен на корпусе шелушителя 6. Внутри корпуса шелушителя 6 на рабочем валу 3 установлена гибкая шелушильная камера 7 с размещенными подвижными шарами 8, при этом гибкая шелушильная камера 7 образует с внутренней частью корпуса шелушителя 6 рабочий зазор 9. В нижней части корпуса шелушителя 6 имеет выходное отверстие 10 с аспирационным патрубком 11, в котором установлен вентилятор 12, для разделения фракций шелушения на шелушенное зерно, отводящееся в приемную емкость 13, и летучих продуктов шелушения отводимых по патрубку 14 в приемную емкость 15.

Для выполнения рабочей операции шелушение зерна, берется увлажненное калиброванное зерно пшеницы. Определяется средний диаметр в партии зерна прошедшей калибровку, и с помощью системы управления 1 запускается в работу привод 2 и задается необходимая частота вращения вала привода 2 и рабочего вала 3. За счет установки на рабочем валу гибкой шелушильной камеры 7 с размещенными подвижными шарами 8 и созданной центробежной силой подвижные шары 8 в гибкой шелушильной камере 7 поднимаются на определенную высоту и создают рабочий зазор 9 между гибкой шелушильной камерой 7 и корпусом шелушителя 6. После установки рабочего зазора 9 в бункер 5 загружается зерно пшеницы и подающим шнеком 4 оно подается в рабочий зазор 9 для шелушения.

Зерно пшеницы прошедшее рабочий зазор 9 через выходное отверстие 10 поступает в аспирационный патрубок 11, где за счет потока воздуха образованного вентилятором 12 летучие продукты шелушения удаляются по патрубку 14 в приемную емкость 15, а цельное зерно поступает в приемную емкость 13.

Проведя анализ цельного зерна пшеницы поступившего в приемную емкость 13, производится оценка качества шелушения зерна, и при не полном удалении плодовых и семенных оболочек, системой управления 1 и приводом 2 увеличивается частота вращения рабочего вала 3, за счет чего происходит подъем подвижных шаров 8 по стенкам гибкой шелушильной камеры 7 и рабочий зазор 9 уменьшается. После уменьшения зазора проводится повторный анализ качества шелушения, при необходимости производится дальнейшая регулировка рабочего зазора.

Анализ технических признаков центробежного шелушителя, кинематическая схема которого, приведена на рисунке 1, показал, что наружный корпус выполняется овальным, а его внутренняя поверхность футурирована гибким эластичным материалом который в процессе работы шелушителя взаимодействует с зерном и образует с другим футурированным эластичным материалом, нанесенным на наружную поверхность вращающейся гибкой камеры, тем самым создавая рабочий зазор в шелушителе для прохода зерна.

Таким образом, на зерно в рабочем зазоре оказывается воздействие гибкой камерой футурированной эластичным материалом, оно хорошо очищается от плодовых и семенных оболочек, не дробится и не образует большой объем мучки, как при использовании абразивного материала.

По результатам анализа последовательности рабочих операций в машине центробежного шелушения зерна, была разработана технологическая схема центробежного шелушения зерна, представленная на рисунке 2.

Анализ последовательности выполнения рабочих операций шелушения зерна представленных на рисунке 2, показал, что для каждой рабочей операции необходима разработка технологических параметров при проектировании опытного образца.

Исходя из предварительного анализа технологического процесса, было установлено, что очистка зерна от сорных примесей осуществляется на вибрационных ситах в течение 30–40 минут, калибровка делит зерно на три фракции, для условий шелушения зерна сорта Новосибирская 15, при чем в первой фракции диаметр зерна составляет 4,5–4,0 мм, в второй 4,0–3, мм, в третьей 3,5–2,5 мм, при чем шелушение производится для первой фракции – 1200 об/мин; второй фракции 1400 об/мин, а для третьей 1600 об/мин.

При выполнении вышеперечисленных параметров центробежного шелушения зерна пшеницы достигается сохранение целостности шелушенного зерна 90–92%, при чем установлено, что дробление происходит той части зерна, которое имеет микротрещины, полученные в период обмолота колосьев, очистки и калибрования. Выход низкого процента мучки 4–6% от массы шелушенного зерна подтверждает эффективность разработанной технологии центробежного шелушения, за счет сохранения алейронового и субалейронового слоев, зародыша и эндосперма.

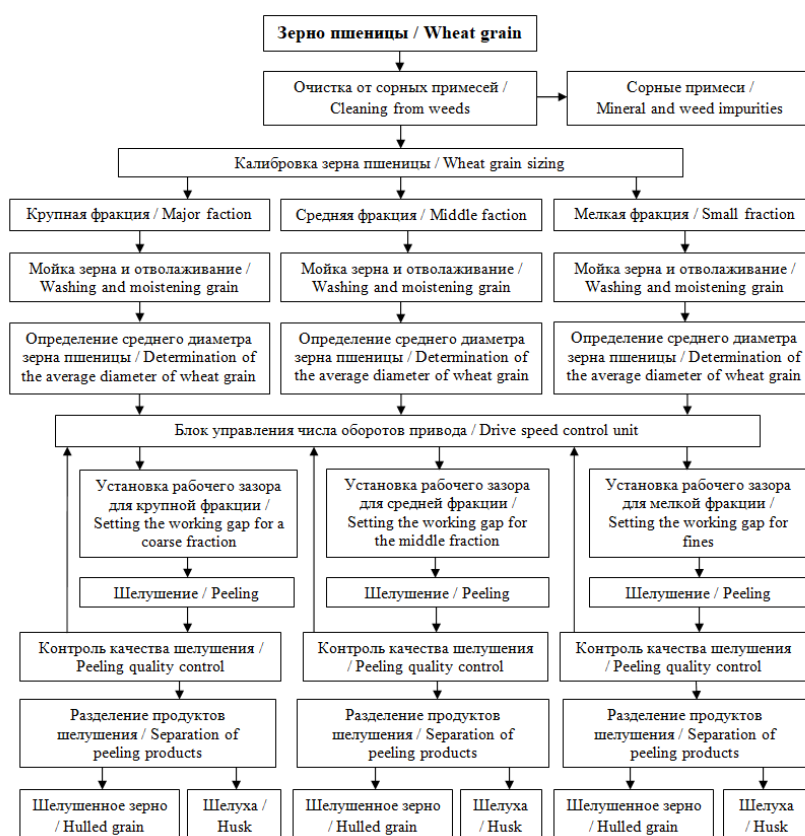


Рисунок 2. Технологическая схема процесса шелушения зерна

Figure 2. Technological diagram of the grain peeling process

Заключение

В результате исследований по научным поисковым системам, были определены научные разработки технических решений, для шелушения зерна, позволившие предложить техническую новизну новой конструкции центробежного шелушителя зерна и получить защиту авторских прав в виде патента РФ на полезную модель № 214682.

На базе новой конструкции центробежного шелушителя была разработана схема ресурсосберегающей технологии шелушения зерна

пшеницы, а выполненные экспериментальные исследования позволили произвести калибровку зерна пшеницы на три фракции с диаметром первой фракции 4,5–4,0 мм, второй 4,0–3,5 мм, и первой 3,5–2,5 мм.

Для шелушения зерна каждой фракции экспериментально были определены технологические параметры оборотов электродвигателя для ресурсосберегающего шелушения, эффективность нового технологического процесса шелушения обеспечивает целостность шелушенного зерна на 90–92%.

Литература

- 1 Анисимов А.В. Прогноз степени шелушения зерна пшеницы от показателей товарного качества зерна на основе уравнений множественной регрессии // Аграрные конференции. 2022. № 6(36). С. 1–4.
- 2 Асенова Б.К., Смольникова Ф.Х., Ребезов М.Б. Использование зародышей пшеницы в производстве функциональных хлебобулочных изделий. Пища. Экология. Качество // Труды XIV международной научно-практической конференции. Новосибирск: Издательский центр «Золотой колос» Новосибирского государственного аграрного университета, 2017. С. 58–61.
- 3 Гольдштейн В.Г., Куликов Д.С., Страхова С.А. Перспективы глубокой переработки зерна пшеницы // Пищевая промышленность. 2018. № 7. С. 14–19.
- 4 ГОСТР 15.011–2022. Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения. Москва: Стандартинформ, 2022. 15 с.
- 5 Кандроков Р.Х., Панкратов Г.Н. Роль шелушения зерна в технологии переработки твердой пшеницы // Хлебопродукты. 2013. № 3. С. 44–45.
- 6 Журба О.С., Карамзин А.В., Крикунова Л.Н., Рябова С.М. Влияние шелушения зерна на параметры процесса его измельчения // Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. № 8. С. 18–23.

- 7 Хосни Р.К. Зерно и зернопереработка; пер. с англ., под общ. ред. Н.П. Черняева. Санкт-Петербург: Профессия, 2006. 330 с.
- 8 Невзоров В.Н., Кожухарь Е.Н., Салыхов Д.В. и др. Оптимизация технологического процесса шелушения зерна пшеницы // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2018. № 1(361). С. 78–83. doi: 10.26297/0579–3009.2018.1.22
- 9 Пат. № 214682, RU, B02B 3/02. Центробежный шелушитель для зерна / Невзоров В.Н., Мацкевич И.В., Мальцев А.А. № 2022104232; Заявл. 17.02.2022; Опубл. 10.11.2022.
- 10 Nevzorov V.N., Matskevich I.V., Salykhov D.V., Bezyazikov D.S. Resource-saving grain husking technology // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. P. 659. № 1. P. 012052.
- 11 Remadnia M. et al. Electrostatic Separation of Peeling and Gluten from Finely Ground Wheat Grains // Particulate Science and Technology. 2014. V. 32. № 6. P. 608–615.
- 12 Chen Z., Zha B., Wang L., Wang R. et al. Dissociation of aleurone cell cluster from wheat bran by centrifugal impact milling // Food research international. 2013. V. 54. № 1. P. 63–71. doi: 10.1016/j.foodres.2013.05.032
- 13 Imthiyas A., Saravanan M., Kumar P., Meclar F.R. et al. Design of Muskmelon Seed Peeling machine // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. V. 993. № 1. P. 012032. doi: 10.1088/1757-899X/993/1/012032
- 14 Wood J.A., Malcolmson L.J. Pulse milling technologies // Pulse foods. Academic Press, 2021. P. 213–263. doi: 10.1016/B978-0-12-818184-3.00010-6
- 15 Staichok A.C.B., Mendonça K.R.B., dos Santos P.G.A., Garcia L.G.C. et al. Pumpkin peel flour (*Cucurbita máxima* L.)–Characterization and technological applicability // Journal of Food and Nutrition Research. 2016. V. 4. № 5. P. 327–333. doi: 10.12691/jfnr-4-5-9
- 16 Nevzorov V.N., Matskevich I.V., Salykhov D.V., Bezyazikov D.S. Resource-saving grain husking technology // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. V. 659. № 1. P. 012052. doi: 10.1088/1755-1315/659/1/012052
- 17 Bourekoua H., Różyło R., Gawlik-Dziki U., Benatallah L. et al. Pomegranate seed powder as a functional component of gluten-free bread (Physical, sensorial and antioxidant evaluation) // International Journal of Food Science & Technology. 2018. V. 53. № 8. P. 1906–1913.
- 18 Qi Y., Yang Y., Hamadou A.H., Li B. et al. Gentle debranning as a technology to reduce microbial and deoxynivalenol levels in common wheat (*Triticum aestivum* L.) and its application in milling industry // Journal of Cereal Science. 2022. V. 107. P. 103518. doi: 10.1016/j.jcs.2022.103518
- 19 Tian X., Wang Z., Yang S., Wang X. et al. Microstructure observation of multilayers separated from wheat bran // Grain & Oil Science and Technology. 2021. V. 4. № 4. P. 165–173. doi.org/10.1016/j.gaost.2021.10.002
- 20 Azimov U., Oripov A. Comparative assessment of physico-chemical and technological characteristics of safflower seeds // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2022. V. 1112. № 1. P. 012105. doi: 10.1088/1755-1315/1112/1/012105

References

- 1 Anisimov A.V. Forecast of the degree of husking of wheat grains from indicators of commercial grain quality based on multiple regression equations. Agrarian conferences. 2022. no. 6(36). pp. 1–4. (in Russian).
- 2 Asenova B.K., Smolnikova F.Kh., Rebezov M.B. Use of wheat germ in the production of functional bakery products. Food. Ecology. Quality. Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference. Novosibirsk, Publishing center “Golden Ear” of Novosibirsk State Agrarian University, 2017. pp. 58–61. (in Russian).
- 3 Goldshtein V.G., Kulikov D.S., Strakhova S.A. Prospects for deep processing of wheat grain. Food Industry. 2018. no. 7. pp. 14–19. (in Russian).
- 4 GOSTR 15.011–2022. System for developing and putting products into production. Patent research. Contents and procedure. Moscow, Standartinform, 2022. 15 p. (in Russian).
- 5 Kandrov R.Kh., Pankratov G.N. The role of grain peeling in durum wheat processing technology. Bread products. 2013. no. 3. pp. 44–45. (in Russian).
- 6 Zhurba O.S., Karamzin A.V., Krikunova L.N., Ryabova S.M. The influence of grain peeling on the parameters of the grinding process. Storage and processing of agricultural raw materials. 2012. no. 8. pp. 18–23. (in Russian).
- 7 Hosni R.K. Grain and grain processing; lane from English, under general ed. N.P. Chernyaeva. St. Petersburg, Profession, 2006. 330 p. (in Russian).
- 8 Nevzorov V.N., Kozhukhar E.N., Salykhov D.V. and others. Optimization of the technological process of peeling wheat grain. News of higher educational institutions. Food technology. 2018. no. 1(361). pp. 78–83. doi: 10.26297/0579–3009.2018.1.22 (in Russian).
- 9 Nevzorov V.N., Matskevich I.V., Maltsev A.A. Centrifugal huller for grain. Patent RF, no. 214682, 2022.
- 10 Nevzorov V.N., Matskevich I.V., Salykhov D.V., Bezyazikov D.S. Resource-saving grain husking technology. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. pp. 659. no. 1. pp. 012052.
- 11 Remadnia M. et al. Electrostatic Separation of Peeling and Gluten from Finely Ground Wheat Grains. Particulate Science and Technology. 2014. vol. 32. no. 6. pp. 608–615.
- 12 Chen Z., Zha B., Wang L., Wang R. et al. Dissociation of aleurone cell cluster from wheat bran by centrifugal impact milling. Food research international. 2013. vol. 54. no. 1. pp. 63–71. doi: 10.1016/j.foodres.2013.05.032
- 13 Imthiyas A., Saravanan M., Kumar P., Meclar F.R. et al. Design of Muskmelon Seed Peeling machine. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. vol. 993. no. 1. pp. 012032. doi: 10.1088/1757-899X/993/1/012032

- 14 Wood J.A., Malcolmson L.J. Pulse milling technologies. Pulse foods. Academic Press, 2021. pp. 213-263. doi: 10.1016/B978-0-12-818184-3.00010-6
- 15 Staichok A.C.B., Mendonça K.R.B., dos Santos P.G.A., Garcia L.G.C. et al. Pumpkin peel flour (*Cucurbita máxima* L.)—Characterization and technological applicability. Journal of Food and Nutrition Research. 2016. vol. 4. no. 5. pp. 327-333. doi: 10.12691/jfmr-4-5-9
- 16 Nevzorov V.N., Matskevich I.V., Salykhov D.V., Bezyazikov D.S. Resource-saving grain husking technology. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. vol. 659. no. 1. pp. 012052. doi: 10.1088/1755-1315/659/1/012052
- 17 Bourekoua H., Różyło R., Gawlik-Dziki U., Benatallah L. et al. Pomegranate seed powder as a functional component of gluten-free bread (Physical, sensorial and antioxidant evaluation). International Journal of Food Science & Technology. 2018. vol. 53. no. 8. pp. 1906-1913.
- 18 Qi Y., Yang Y., Hamadou A.H., Li B. et al. Gentle debranning as a technology to reduce microbial and deoxynivalenol levels in common wheat (*Triticum aestivum* L.) and its application in milling industry. Journal of Cereal Science. 2022. vol. 107. pp. 103518. doi: 10.1016/j.jcs.2022.103518
- 19 Tian X., Wang Z., Yang S., Wang X. et al. Microstructure observation of multilayers separated from wheat bran. Grain & Oil Science and Technology. 2021. vol. 4. no. 4. pp. 165-173. doi.org/10.1016/j.gaost.2021.10.002
- 20 Azimov U., Oripov A. Comparative assessment of physico-chemical and technological characteristics of safflower seeds. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2022. vol. 1112. no. 1. pp. 012105. doi: 10.1088/1755-1315/1112/1/012105

Сведения об авторах

Игорь В. Мацкевич к.т.н., доцент, кафедра технологии оборудования бродильных и пищевых производств, Красноярский государственный аграрный университет, пр-т Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Россия, imatskevichv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9532-6673>

Виктор Н. Невзоров д.с.-х.н., профессор, кафедра технологии оборудования бродильных и пищевых производств, Красноярский государственный аграрный университет, пр-т Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Россия, nevzorov1945@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2259-2150>

Василий Н. Тепляшин к.т.н., доцент, кафедра технологии оборудования бродильных и пищевых производств, Красноярский государственный аграрный университет, пр-т Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Россия, teplyshinvn@list.ru
<https://orcid.org/0009-0003-9935-3091>

Анатолий А. Мальцев аспирант, кафедра технологии оборудования бродильных и пищевых производств, Красноярский государственный аграрный университет, пр-т Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Россия, tolik.mal1999@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-4603-2115>

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

Igor V. Matskevich Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology equipment of fermentation and food production department, Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira av., 90, Krasnoyarsk, 660049, Russia, imatskevichv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9532-6673>

Victor N. Nevzorov Dr. Sci. (Agric.), professor, technology equipment of fermentation and food production department, Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira av., 90, Krasnoyarsk, 660049, Russia, nevzorov1945@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2259-2150>

Vasily N. Teplyashin Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology equipment of fermentation and food production department, Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira av., 90, Krasnoyarsk, 660049, Russia, teplyshinvn@list.ru
<https://orcid.org/0009-0003-9935-3091>

Anatoly A. Maltsev graduate student, technology equipment of fermentation and food production department, Krasnoyarsk State Agrarian University, Prospekt Mira, 90, Krasnoyarsk, 660049, Russia, tolik.mal1999@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-4603-2115>

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 05/07/2023	После редакции 07/08/2023	Принята в печать 30/08/2023
Received 05/07/2023	Accepted in revised 07/08/2023	Accepted 30/08/2023

Reliability of Veterinarians routine Cattle meat inspection tool on Specific identification of Cysticerci in bovine muscle tissue

Joseph Rutaganira¹ rutaganirajoseph@yahoo.com  0000-0001-5939-8365Igor Glamazdin¹ glamazdin@ya.ru  0000-0001-7119-906X¹ Russian Biotechnological University, Talalikhina, 33, Moscow, 109029, Russia

Abstract. *Cysticercus bovis* and macroscopic Sarcocysts detected from bovine carcasses look similar and specific identification of each of these cysts is important for addressing proper preventive, and control measures of tCysticercosis and Sarcocystosis diseases. Therefore, it is sometimes a challenge for Vets to distinguish these two species of parasites during their daily routine meat inspection using traditional methods. Cysticerci and Sarcocysts are responsible of Bovine Cysticercosis and Cattle Sarcocystosis respectively. These Veterinarians can sometimes make errors in identification of these two parasitic species from Cattle meat muscle tissues. The study was conducted from Abattoir in Russian Federation with intention of the problem addressed confirmation. During laboratory experimental examination, it was confirmed that out of 20 cattle muscles tissues tested to contain cysticerci parasites, 5 out of them were Sarcocysts. Therefore, it is obvious for veterinarians to make errors during their routine cattle meat inspection due to the morphological behaviour of these organisms

Keywords: cestode parasites, *cysticercus bovis*, foodborne parasites, protozoa, *sarcocystis* spp. *taenia saginata*.

Introduction

Bovine cysticercosis is a Cattle disease caused by the intermediate (larval) stage of *Taenia Saginata* called *Cysticercus bovis*. *Taenia Saginata* (Macrelli et al., 2020) is the human beef tapeworm (El-Sayad et al., 2021). *Cysticercus bovis* parasitizes the intermuscular connective tissue of striated muscles. Bovine cysticercosis has been reported in Russia, Benin, Cameroon, Central African Republic, Chad, Democratic Republic of Congo, Ghana, Guinea, Mali, Niger, Nigeria, Senegal, etc. (Uchendu et al., 2021).

Bovine sarcocystosis is either zoonotic or not and it is caused by single-celled protozoa, Sarcocystis Species including: *S. hominis*, *S. heydorni*, *S. cruzi*, *S. rommeli*, *S. hirsuta* and *S. bovis*. Sarcocystosis has a worldwide distribution, especially where livestock are raised (Rosenthal, 2021). The pathogen forms a tissue cyst inside the muscle fiber of the striated muscle. The presence of macroscopic sarcocysts can cause cattle meat culling. Microscopically, the cysts are divided by *septa* into chambers that contain thousands of banana-shaped bradyzoites. Sarcocystosis, cause significant economic losses, including death and forced slaughter of animals, loss of offspring, and a decrease in the quality and nutritional value of meat. In the Russian Federation, sarcocystosis is registered in 85 % of cattle and sheep, 5 % of pigs, 35 % of horses (Novak and Novak, 2020). This disease of many animal species is widespread in many countries (Fayer et al., 2015).

Для цитирования

Рутаганира Дж., Гламаздин И. Надежность рутинного инструмента ветеринарных врачей для контроля мяса крупного рогатого скота по специфической идентификации цистицерков в мышечной ткани // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 48–51. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-48-51

Bovine cysticercosis (Assefa and Bihon, 2019), is caused by *cysticercus bovis*, larval form, which is hosted in Cattle muscle tissues but humans have risk of hosting the adult form of this cestode parasite “*Taenia Saginata*” in the small intestine (Lopes et al., 2011), when they eat poorly heat-treated beef (Leal Filho et al., 2022). Despite the fact that *Cysticercosis* and *Sarcocystosis* are caused by completely different types of parasites, they may have negative effect on Cattle as well on Humans (Dubey, 2015). From *Cysticercus* and *Sarcocystis* spp, Figure 1 illustrates all possible steps and sources of negative effects faced by humans and Cattle.

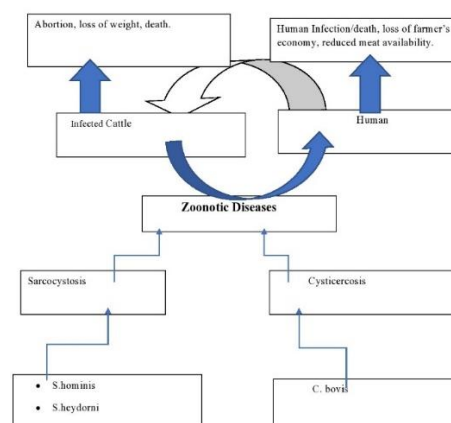


Figure 1. Flow Chart showing the effect of cysticercosis and Sarcocystosis on Infected Cattle as well as on Humans. Sarcocysts and Cysticerci identified in the bovine muscle tissues are all responsible of zoonotic diseases that can be transmitted between cattle

For citation

Rutaganira J., Glamazdin I. Reliability of Veterinarians routine Cattle meat inspection tool on Specific identification of Cysticerci in bovine muscle tissue. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 48–51. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-48-51

Objective

The objective is to conduct morphological study of the 20 bovine meat samples reported by Vets to host only cysticerci and identify if Sarcocysts may be misnamed Cysticerci. The extracted information may also reveal tentative prevalence of these two species in Russian Federation

Material and methods

According to the informations given from food markets and Auchan stores chain in Russia, the meat tested by vets during their routine examination were collected from 875 infected slaughtered cattle carcasses (Ahmed et al., 2016) in Russian Federation and 20 were tested *cysterci* positive. These 20 cases that were reported to be infected by *Cystercus bovis* were objects of our Laboratory study. The 20 samples were in total bovine meat muscle tissues putatively infected by cysticerci parasites. During Laboratory examination, tissue cysts were allocated layer-by-layer cutting of the muscles, followed by examination of the internal content. The cysts were cut with a razor blade, necessary smears-prints were made, fixed and stained according to Romanovsky-Giemsa, microscopied.

15 cases were found to be muscle inclusions of gray color, oval shape and length from 1.5 to 2.0 cm. Covered by the connective tissue capsule of the host. After dissection of each of the 15 host capsules, a translucent oval-shaped bubble of about 1.0 cm in length, containing a transparent liquid was found inside. This was real *cysticercus bovis*. On the inner shell of the *cysticercus* there was a scolex, in which no hooks were found under microscopy.

5 cases were observed to be light gray in color, oval in shape, and were about 1.5 cm long. When the host capsule was cut with a razor blade, a clear or slightly cloudy liquid was found inside the cyst. In these cases, a smear was made on the slide and painted according to Romanovsky-Giemsa. Under microscopy with magnification of X400 or X800, banana-shaped structures were observed. This fact indicated that the studied cysts were formed by *Sarcocysts*.

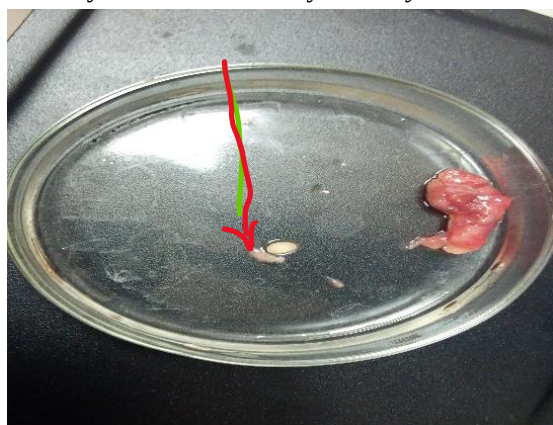


Figure 2. Cyst isolated from bovine meat before observation under microscopy

Results and discussion

On the basis of Study examination results illustrated by Figure 2, the morphological study of 20 samples that were reported by Veterinarians to host only *cysterci*, we found several inconsistencies. 15 cases were found to be real *cysticerci larvae*. According to our observations, the banana-like structures (endozoites) that were found preserved inside of each of the 50 cysts with different forms of liquid content (transparent, cloudy, different consistency), indicated that these 5 cases, were **Sarcocysts**.

Thus, a thorough study of 20 carcasses that were reported positive for *C. bovis* during routine veterinary examination revealed errors in 25 % of cases.

Table 1.

Results from Microscopy examination with a sample size of 20 cases reported putatively to be *cysticerci* only.s

S/N	Cyst name	Number Of Cases found
1	<i>Cysticercus bovis</i>	15
2	Cattle Sarcocyst	5
Sample size		20



Figure 3. Illustration of the results found after thorough microcopy examination determine 15 cysticerci and 5 Sarcocysts

Conclusion

Cysticercosis and Sarcocystosis diseases are threat to cattle as well to human beings. These infections can be responsible of loss of weight, abortion and death of bovines and consequently cause loss of farmer's economy, and reduced meat which are served to human as important food. Furthermore, due to the ability of these diseases to be transmitted to human they are known to threaten human health owing to infection in Cattle. Therefore, specific identification of cysticerci from sarcocysts will help in proper threatment of the above-mentioned diseases.

The identification of *Cysticercus bovis* from Sarcocystis spp. In routine apparent meat inspection by Veterinarians is not trustworthy. Out of **20 cases** reported by Veterinarians to host putatively only cysticerci it was found that **5 cases** of them were Sarcocysts. Thus, the error was found to be **25 %**. These data are not enough to confirm whether it can be taken as a serious issue in Russian

Federation but it is indication of not relying on meat inspection data. Meat inspection should be used as preliminary screening tool for cysticerci. For more thorough researches with molecular methods for specific *Cystercus bovis* and *Sarcocystis* spp. identification are recommended.

Acknowledgement

The authors thank the authority of Russian University of Biotechnology formerly Moscow State University of Food Production, for providing suitable facilities for this research work

References

- 1 Ahmed A.M., Elshraway N.T., Youssef A.I. Survey on *Sarcocystis* in bovine carcasses slaughtered at the municipal abattoir of El-Kharga, Egypt. *Veterinary World*. 2016. vol. 9. no. 12. pp. 1461. doi: 10.14202/vetworld.2016.1461-1465
- 2 Assefa A., Bihon A. Bovine cysticercosis in Ethiopia: a systematic review and meta-analysis of prevalence from abattoir-based surveys. *Preventive veterinary medicine*. 2019. vol. 169. pp. 104707. doi: 10.1016/j.prevetmed.2019.104707
- 3 Dubey J.P. Foodborne and waterborne zoonotic sarcocystosis. *Food and Waterborne Parasitology*. 2015. vol. 1. no. 1. pp. 2-11. doi: 10.1016/j.fawpar.2015.09.001
- 4 El-Sayad M.H., Farag H., El-Taweel H., Fadly R. et al. *Cysticercus bovis* in cattle slaughtered in North Egypt: Overestimation by the visual inspection method. *Veterinary World*. 2021. vol. 14. no. 1. pp. 155. doi: 10.14202/vetworld.2021.155-160
- 5 Fayer R., Esposito D.H., Dubey J.P. Human Infections with *Sarcocystis* Species. *Clin Microbiol Rev*. 2015. vol. 28. pp. 295–311. doi: 10.1128/CMR.00113-14
- 6 Leal Filho W., Ternova L., Parasnis S.A., Kovaleva M. et al. Climate Change and Zoonoses: A Review of Concepts, Definitions, and Bibliometrics. *IJERPH*. 2022. vol. 19. pp. 893. doi: 10.3390/ijerph19020893
- 7 Lopes W.D.Z., Santos T.R., Soares V.E., Nunes J.L.N. et al. Preferential infection sites of *Cysticercus bovis* in cattle experimentally infected with *Taenia saginata* eggs. *Research in Veterinary Science*. 2011. vol. 90. pp. 84–88. doi: 10.1016/j.rvsc.2010.04.014
- 8 Macrelli M., Brena C., Reichel R., Boufana B. et al. Bovine cysticercosis outbreak in an indoor beef finisher farm in the North of England. *Veterinary Record Case Reports*. 2020. vol. 8. no. 3. pp. e001178. doi: 10.1136/vetreccr-2020-001178
- 9 Novak A., Novak M. Determining the quality of bovine meat in sarcocystosis. theory and practice of parasitic disease control. 2020. pp. 295–300. doi: 10.31016/978-5-9902341-5-4.2020.21.295-300
- 10 Rosenthal B.M. Zoonotic *Sarcocystis*. *Research in Veterinary Science*. 2021. vol. 136. pp. 151–157. doi: 10.1016/j.rvsc.2021.02.008
- 11 Uchendu G.O., Aganga A.O., Ama N.O., Madibela O.R. Investigation of *Cysticercosis bovis* prevalence using passive abattoir post-mortem inspection and active administration of structured non-participatory questionnaire to farmers in Botswana. *Trop Anim Health Prod*. 2021. vol. 53. pp. 49. doi: 10.1007/s11250-020-02447-8
- 12 Picard B., Gagaoua M. Muscle fiber properties in cattle and their relationships with meat qualities: An overview. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020. vol. 68. no. 22. pp. 6021-6039. doi: 10.1021/acs.jafc.0c02086
- 13 Joo S.T., Kim G.D., Hwang Y.H., Ryu Y.C. Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. *Meat science*. 2013. vol. 95. no. 4. pp. 828-836. doi: 10.1016/j.meatsci.2013.04.044
- 14 Weber R., Herold C., Hollert H., Kamphues J. et al. Reviewing the relevance of dioxin and PCB sources for food from animal origin and the need for their inventory, control and management. *Environmental Sciences Europe*. 2018. vol. 30. pp. 1-42.
- 15 Mughini-Gras L., Enserink R., Friesema I., Heck M. et al. Risk factors for human salmonellosis originating from pigs, cattle, broiler chickens and egg laying hens: a combined case-control and source attribution analysis. *PloS one*. 2014. vol. 9. no. 2. pp. e87933. doi: 10.1371/journal.pone.0087933
- 16 Blagojevic B., Antic D. Assessment of potential contribution of official meat inspection and abattoir process hygiene to biological safety assurance of final beef and pork carcasses. *Food Control*. 2014. vol. 36. no. 1. pp. 174-182. doi: 10.1016/j.foodcont.2013.08.018
- 17 Tizioto P.C., Decker J.E., Taylor J.F., Schnabel R.D. et al. Genome scan for meat quality traits in Nelore beef cattle. *Physiological genomics*. 2013. vol. 45. no. 21. pp. 1012-1020.
- 18 Autio T., Tuunainen E., Nauholz H., Pirkkalainen H. et al. Overview of control programs for non-EU-regulated cattle diseases in Finland. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021. vol. 8. pp. 688936. doi: 10.3389/fvets.2021.688936
- 19 Agus A., Widi T.S.M. Current situation and future prospects for beef cattle production in Indonesia—A review. *Asian-Australasian journal of animal sciences*. 2018. vol. 31. no. 7. pp. 976.
- 20 Loiko M.R., de Paula C.M., Langone A.C., Rodrigues R.Q. et al. Genotypic and antimicrobial characterization of pathogenic bacteria at different stages of cattle slaughtering in southern Brazil. *Meat Science*. 2016. vol. 116. pp. 193-200. doi: 10.1016/j.meatsci.2016.01.010

Information about authors

Joseph Rutaganira PhD candidate, veterinary medicine department, Russian Biotechnological University, Talalikhina, 33, Moscow, 109029, Russia, rutaganirajoseph@yahoo.com
 <https://orcid.org/0000-0001-5939-8365>
Igor Glamazdin Dr. Sci. (Vet.), professor, veterinary medicine department, Russian Biotechnological University, Talalikhina, 33, Moscow, 109029, Russia, glamazdin@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7119-906X>

Contribution

wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Надежность рутинного инструмента ветеринарных врачей для контроля мяса крупного рогатого скота по специфической идентификации цистицерков в мышечной ткани

Аннотация. Цистицерки и макроскопические саркоцисты, обнаруженные в тушах крупного рогатого скота, выглядят одинаково, и специфическая идентификация каждой из этих цист важна для принятия надлежащих мер профилактики и борьбы с цистицеркозом и саркоцистозом. Поэтому для ветеринарных врачей иногда представляет трудность различать эти два вида паразитов при ежедневном осмотре мяса традиционными методами. Цистицерки и саркоцисты ответственны за цистицеркоз крупного рогатого скота и саркоцистоз крупного рогатого скота соответственно. Ветеринары иногда допускают ошибки при идентификации этих двух видов паразитов в мышечных тканях мяса крупного рогатого скота. Исследование проводилось на скотобойне в Российской Федерации с целью подтверждения актуальности проблемы. В ходе лабораторно-экспериментального исследования было установлено, что из 20 исследованных мышечных тканей крупного рогатого скота, содержащих паразитов цистицерков, 5 из них оказались саркоцистами. Таким образом, очевидна возможность ошибок ветеринарных врачей при проведении рутинного осмотра мяса крупного рогатого скота, связанных с морфологическим поведением этих организмов

Ключевые слова: цестодные паразиты, *cysticercus bovis*, паразиты пищевого происхождения, простейшие, *sarcocystis* spp. *taenia saginata*.

Джозеф Рутаганира аспирант, кафедра ветеринарной медицины, Российский биотехнологический университет, ул. Талалихина, 33, Москва, 109029, Россия, rutaganirajoseph@yahoo.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5939-8365>

Игорь Гламаздин д.вет.н., профессор, кафедра ветеринарной медицины, Российский биотехнологический университет, ул. Талалихина, 33, Москва, 109029, Россия, glamazdin@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7119-906X>

Обзор конструкций барабанных смесителей, подавляющих сегрегацию сыпучих смесей

Дмитрий М. Бородулин ¹	borodulin@rgau-msha.ru	 0000-0003-3035-0354
Дмитрий В. Сухоруков ²	pioner_dias@mail.ru	 0000-0001-7995-3813
Юлия П. Суворова ²	yulia-suvorova-1998@mail.ru	

1 Российский государственный аграрный университет МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Россия
2 Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650043, Россия

Аннотация. Процесс смешивания применяется в различных областях производства, для изготовления разных видов смесей, таких как сельскохозяйственные смеси, суспензии, костные цементы и другие. Данный процесс представляет из себя перемещение частиц компонентов сыпучего материала в пространстве смешиваемого объема. Для приведения компонентов смеси в движение применяются смесители различных типов. Одним из самых распространенных типов смесителей являются барабанные смесители. Основной задачей, с которой необходимо справиться при разработке конструкции смесителя, является уменьшение сегрегации, возникающей при смешивании двух и более компонентов смеси. Сегрегация связана с различными значениями размеров и плотности частиц различных смесей. Объектом исследования являются конструкции барабанных смесителей, разработанные в последнее десятилетие. Все рассмотренные конструкции разбиты на три группы различающимися по методу подавления сегрегации. Предметом исследования являются конструктивные особенности данных смесителей, среди которых выявляются недостатки их использования. Результатами работы стало определение более подходящего метода подавления сегрегации, которым является использование дополнительных перемешивающих элементов в центре сегрегации смеси, и на основе данного метода разработка двух новых конструкций барабанных смесителей. Первый смеситель с использованием секционных радиальных разделителей, которые позволяют подвергать смесь многократному разделению и смешению, что и снижает сегрегацию смеси. Второй разработанный смеситель с применением центрального барабана, который по мимо того, что продлевает время нахождения смеси в барабане, позволяет создавать скрещивающиеся и рециркуляционные потоки материала, что подавляет появление сегрегации.

Ключевые слова: процесс смешивания, сыпучая смесь, барабанный смеситель, сегрегация, конструктивные особенности.

Overview of drum mixer designs suppressing segregation of bulk mixture

Dmitry M. Borodulin ¹	borodulin@rgau-msha.ru	 0000-0003-3035-0354
Dmitry V. Sukhorukov ²	pioner_dias@mail.ru	 0000-0001-7995-3813
Yulia P. Suvorova ²	yulia-suvorova-1998@mail.ru	

1 Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 127434, Moscow, st. Timiryazevskaya, 49
2 Kemerovo State University, Krasnaya Str., 6, Kemerovo, 650043, Russia

Abstract. The mixing process is used in various areas of production to produce different types of bulk mixtures. These include agricultural mixtures, semi-finished products, bone cements and others. This process is the movement of particles of bulk material components in the space of the working capacity. Mixers of various types are used to set the components of the mixture in motion. One of the most common types of mixers are drum mixers. The main challenge that must be addressed when developing a mixer design is to reduce the segregation that occurs when mixing two or more components of a mixture. Segregation is associated with different particle sizes and densities of the various components. The object of the study is the designs of drum mixers developed in the last decade. All considered designs are divided into three groups, differing in the method of eliminating segregation. The subject of the study is the design features of these mixers. The results of the work were the determination of the most suitable method for eliminating segregation - the use of additional mixing elements in the center of segregation of the mixture, and based on this method, the development of two new designs of drum mixers. The first mixer with sectional radial separators allows you to repeatedly separate the mixture and move the particles of its components relative to each other. This allows you to reduce the degree of segregation of the mixture. The second mixer developed not only extends the residence time of the mixture particles in the drum, but also allows for the creation of crossing and recirculating flows of material. This also helps reduce or prevent segregation.

Keywords: mixing process, bulk mixture, drum mixer, segregation, design features.

Введение

В таких отраслях производства, как пищевая промышленность, химическая промышленность, сельскохозяйственная отрасль производства, фармацевтическая промышленность и строительное производства очень широко применяется процесс смешивания, а именно

при получении суспензий и эмульсий, однородных смесей сыпучих материалов, производстве химических добавок, производстве комбикормов и удобрений, строительных смесей и композиционных материалов, а также при получении костных цементов, БАДов и лекарственных препаратов.

Для цитирования

Бородулин Д.М., Сухоруков Д.В., Суворова Ю.П. Обзор конструкций барабанных смесителей, подавляющих сегрегацию сыпучих смесей // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 52–59. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-52-59

For citation

Borodulin D.M., Sukhorukov D.V., Suvorova Yu.P. Overview of drum mixer designs suppressing segregation of bulk mixture. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 52–59. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-52-59

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

Сам процесс смешивания можно представить, как перемещение частиц двух и более компонентов сыпучего материала в пространстве всего смешиваемого объема, при этом преследуется цель получения однородной по ряду свойств, таких как состав и физико-механические, среды. Для достижения этой цели используется импульс, который передается компонентам сыпучей смеси механической мешалкой. Для получения такого типа смесей используют смесители различных типов: барабанные, центробежные, червячно-лопастные. Одним из более распространенных типов смесителей являются барабанные смесители.

Традиционное устройство барабанного смесителя показано в работе [1]. Основными его элементами являются: цилиндрический барабан, камеры загрузки и выгрузки, к которым присоединены патрубки загрузки и выгрузки. Загружаемая смесь попадает во вращающийся барабан и в режиме переката происходит ее перемешивание, после чего происходит его выгрузка из смесителя.

Несмотря на широкое распространение барабанных смесителей, аппараты с традиционным типом конструкции в значительной степени ограничены в области использования. Это связано со сравнительно низкой однородностью смеси, получаемой при смешивании компонентов, отличающихся по размерам частиц и их плотности.

При циркуляции сыпучей смеси внутри вращающейся рабочей камеры проявляется ее сегрегация, что приводит к низкой однородности итоговой смеси. Как правило в смесителях барабанного типа сегрегация появляется в связи с нахождением более мелких, или плотных, частиц смеси в центре циркуляции. Механизм сегрегации состоит в том, что более мелкие или плотные частицы, проникают сквозь более крупные частицы, как сквозь сито, попадая в центр циркуляции. В нижней же области смесителя положение частиц относительно друг друга практически не меняется.

Данная проблема приводит к разработке новых конструкций смесителей, направленных, в основном, на подавление сегрегации смеси. Именно борьба с сегрегацией является основной задачей при разработке новых видов смесителей. В данной работе проанализируем конструкции барабанных смесителей, разработанных в последнее десятилетие. Классификация барабанных смесителей, подавляющих явление сегрегации, представлены на рисунке 1.



Рисунок 1. Классификация барабанных смесителей, подавляющих явление сегрегации

Figure 1. Classification of drum mixers suppressing the phenomenon of segregation

Объекты и методы

Объектом исследования являются конструкции барабанных смесителей, разработанные в последнее десятилетие. Предметом исследования являются конструктивные особенности данных смесителей, среди которых будем выявлять недостатки их использования.

Для начала рассмотрим конструкции, в которых реализован метод распределенной подачи компонентов. Данный вариант позволяет распределить ключевой компонент в область обрушения основного компонента, что приводит к более быстрому достижению однородности итоговой смеси.

Первым смесителем такого типа будет аппарат, представ в [2], он позволяет равномерно подать ключевой компонент в поток основной смеси. Конструкция данного смесителя представлена на рисунке 2.

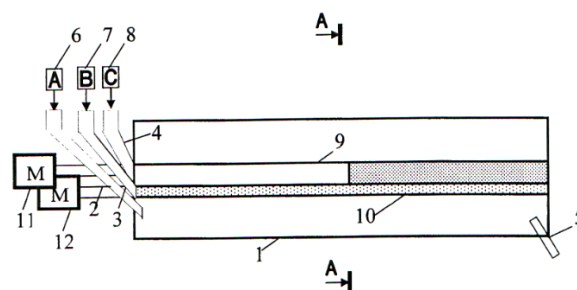


Рисунок 2. Барабанный смеситель с перфорированными трубами

Figure 2. Drum mixer with perforated pipes

Основной компонент, в качестве которого выступает смесь А, находящийся в дозирующем устройстве 6, поступает в корпус смесителя 1 через патрубок 2. Ключевые компоненты смеси В и С, находящиеся в дозирующих устройствах 7 и 8 соответственно, поступают через патрубки 3 и 4 и поступают в перфорированные трубы 9

и 10, которые приводят в движение приводы вращения 11 и 12. Проходя через отверстия в данных трубах они поступают на поверхность обращения смеси.

Главным недостатком данного смесителя является сложность при изготовлении перфорированных труб. Помимо этого, высокая металлоемкость, а также необходимость использования дополнительных приводов, приводят к усложнению применения данной конструкции.

Следующий метод борьбы с сегрегацией, который рассмотрим в данной работе, будет применение рабочей камеры сложной формы. В смесителях с корпусом, выполненным в виде сложных геометрических тел, частицы, находящиеся внутри, совершают не направленное движение, а хаотическое, что позволяет разбить центр сегрегации. Применение данного метода представлено в работе [3]. Конструкция смесителя показана на рисунке 3.

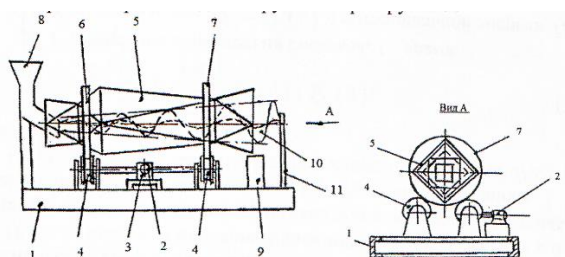


Рисунок 3. Смеситель с барабаном сложной формы
Figure 3. Mixer with a drum of complex shape

Вся конструкция смесителя закреплена на станине 1, представленной в виде сварной рамы. Смесь загружается в барабан 5 через средство для загрузки 8. Барабан смесителя имеет условно коническую форму, состоит из секций и подсекций и образован ломаными винтовыми линиями. Внутри барабана, по всей его длине, смонтирована коническая пружина 10 с витками, направлены против движения смесителя. В движение данный смесителя приводит привод главного движения, в который входят электродвигатель 2, редуктор 3 и четырех роликовых опоры 4, на которые опираются обода 6 и 7. За счет сложной формы барабана и наличия пружина компоненты смеси, непрерывно загружаемые в барабан, совершают сложное хаотичное движение, за счет чего повышается интенсивность взаимодействия частиц и снижается значение сегрегации смеси.

Особенности формы барабана данного смесителя приводят к ряду минусов данной конструкции. Главным из них является сложность изготовления самого барабана, также высокие металлоемкость и энергоемкость. Помимо этого, требуется дополнительная шумоизоляция и виброизоляция.

Помимо применения рабочей камеры сложной формы, сложное хаотическое движение частиц можно добиться с помощью сложного движения смесительного барабана, возможного при использовании пространственных шарнирных механизмов. Реализация такого метода борьбы с сегрегацией представлен в работе [8]. Конструкция данного смесителя показана на рисунке 4.

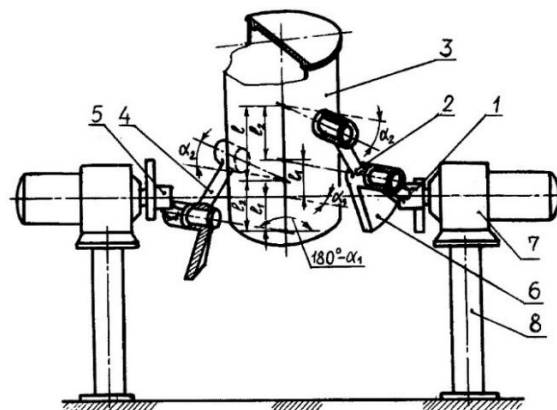


Рисунок 4. Барабанный смеситель с кривошипами
Figure 4. Drum mixer with cranks

Данная конструкция также, как и предыдущая, закреплена на станине 8, представленной в виде двух мотор-редукторов 7. Мотор-редуктор соединен с барабаном 3 кривошипами: промежуточными 2 и 4, и опорными 1 и 5. Весь объем смеси поступает в смеситель одновременно, далее выбирается закон движения барабана: возможно включить как один мотор-редуктор, так и 2. При работе одного мотор-редуктора движение от опорного кривошипа через первый промежуточный кривошип и барабан передается второму промежуточному кривошипу, ось вращения которого неподвижна. Включение в работу двух мотор-редукторов позволяет обеспечить сложное пространственное движение барабана с неравномерной скоростью по строго определенному закону, что позволяет разрушить центр сегрегации сыпучей смеси.

Основным недостатком данного аппарата для смешивания является сложность изготовления конструкции барабана.

Барабанные смесители, в которых реализованы первые две модели борьбы с сегрегацией, имеют высокую металлоемкость и трудность при изготовлении отдельных частей аппарата. Поэтому наиболее распространенным для реализации методом является установка дополнительных перемешивающих элементов в центре сегрегации смеси. Рассмотрим ряд таких смесителей.

Для начала рассмотрим смеситель с использованием спиральных направляющих. Описание данного аппарата представлено в работе [4]. На рисунке 5 показан общий вид данной конструкции.

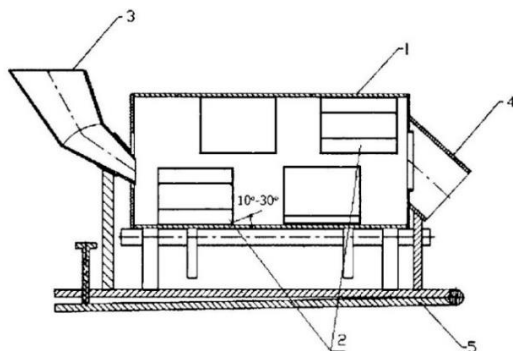


Рисунок 5. Барабанный смеситель со спиральными направляющими

Figure 5. Drum mixer with spiral guides

Смесь поступает во вращающийся барабан 1 через загрузочный патрубок 3 при этом разделяясь на два потока: первый поток сыпучих материалов идет вдоль внутренней поверхности смесительного барабана, а второй поток попадает на поверхность спиральной направляющей 2. За счет спиральных направляющих второй поток перемещается в противоположном, относительно первого потока, направлении, что обеспечивает частичную рециркуляцию смеси. Отступая от поверхности спиральной направляющей второй поток смешивается с первым. Общий поток перемещается по внутренней поверхности смесительного барабана и рециркулируется, при этом постепенно разделяясь на два потока, которые повторно проходят процесс смешивания на каждой последующей спиральной направляющей. Смесь, которая является однородной по составу, проходит всю длину смесительного барабана и, в конечном итоге, выгружается через патрубок разгрузки 4.

В числе недостатков барабанного смесителя отмечается долгий цикл смешения, который может затягиваться на несколько часов. Это может оказать негативное влияние на производительность работы, особенно если требуется смешивать большие объемы материалов или если смеситель используется в длительном режиме. А также невысокая внутренняя рециркуляция сыпучих материалов при их соотношении до 1:40, что способствует недостаточной продолжительности нахождения частиц материала внутри аппарата.

Следующим рассмотрим барабанный смеситель с Г-образными лопастями, описанный в работе [5]. Конструкция данного аппарата показана на рисунке 6.

Сухая смесь попадает в аппарат через загрузочный патрубок 6, разделяясь на два потока, один из которых продолжает движение вдоль оси барабана, а другой попадает на Г-образные лопасти 4. Впоследствии, при работе барабана, вторая смесь ссыпается с Г-образных лопастей попадая к первой смеси. Помимо

этого, конструкция смесителя позволяет вращать лопасти относительно друг друга, что позволяет изменять движение смеси в барабане. Так спиралевидный порядок лопастей приводит к объемной внутренней циркуляции смеси, при этом сглаживая входные пульсации исходных компонентов. Шахматный же порядок приводит к многократному наложению разделяемых потоков, что благоприятствует общему усреднению качества смеси. Готовая смесь выгружается через разгрузочный патрубок.

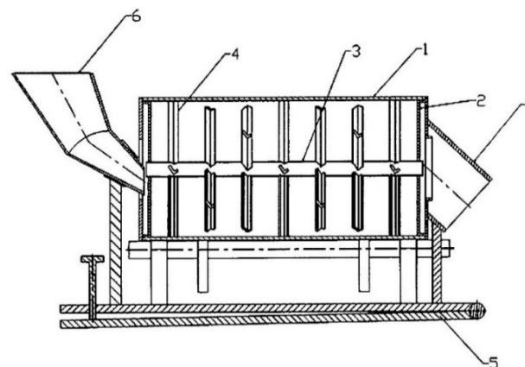


Рисунок 6. Барабанный смеситель с Г-образными лопастями

Figure 6. Drum mixer with L-shaped blades

Одним из основных недостатков данного смесителя является получение смеси заданного качества вследствие малой продолжительности пребывания материала внутри аппарата.

Далее анализируем аппарат для смешивания, представленный в работе [6]. конструктивные особенности этого аппарата представлены на рисунке 7.

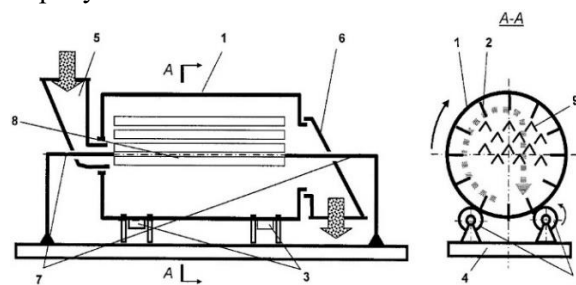


Рисунок 7. Барабанный смеситель с лифтерами

Figure 7. Drum mixer with lifters

Сухая смесь поступает в барабан через загрузочный патрубок 5, после чего попадает на лифтеры 2. При вращении барабана лифтеры поднимают смесь вверх, после чего она ссыпается с них, попадая в блок смесительных элементов 8, установленный на штанге 7 и состоящий из смесительных элементов 9, выполненных из равнополочного уголка. Проходя через смесительные элементы, размещенные углом вверх в шахматном порядке, компоненты смеси получают интенсивное поперечное перемешивание.

К недостаткам данного барабанного смесителя относится сложность при изготовлении блока смесительных элементов, а также его высокая металлоемкость.

Еще одним из методов борьбы с сегрегацией является использования перфорированных лопастей внутри барабана, как показано в работе [7]. Внутренняя конструкция барабанного смесителя представлена на рисунке 8.

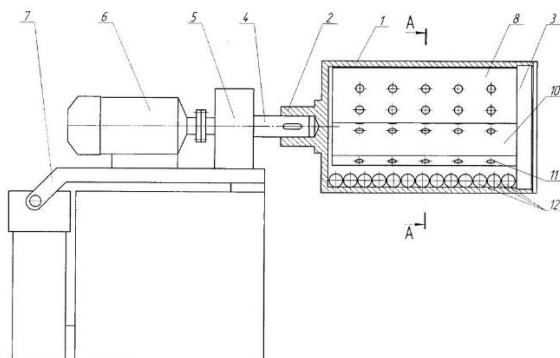


Рисунок 8. Барабанный смеситель с перфорированными лопастями

Figure 8. Drum mixer with perforated blades

Смесь поступает в цилиндрический барабан 1. При вращении барабана перекрещивающиеся перфорированные перегородки 8, 9 и 10 захватывают сыпучую смесь со стенок корпуса и поднимают ее в верхнюю часть корпуса, изменяя при этом траекторию и скорость движения потоков смеси, что приводит к интенсивному смешиванию компонентов. Ускорение процесса смешивания сыпучей смеси, склонной к образованию комков, происходит с помощью мелящих тел 12, представленных в виде шаров, что значительно уменьшает время работы смесителя и, за счет измельчения компонентов смеси, увеличивается однородность итоговой смеси. Изменение количества перфорированных лопастей, формы лопастей, расположения и размеров отверстий в них, позволяет для каждой конкретной смеси подобрать оптимальные условия смешивания.

Но несмотря на эффективность данного смесителя он так же имеет и ряд недостатков. Наиболее веские из них это высокая металлоемкость и необходимость в последствии отделять шари от приготовленной смеси.

Последним рассмотрим двухкамерный барабанно-лопастной смеситель, представленный в работе [9]. Данный аппарат относится и к смесителям с изменяемой камерой, а именно с камерой из эластичного материала, и к смесителям с дополнительными перемешивающими элементами, а именно лопастями. Конструкция смесителя представлена на рисунке 9.

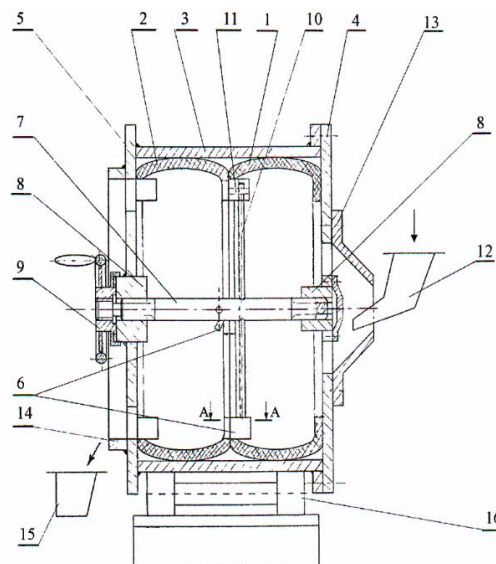


Рисунок 9. Схема двухкамерного барабанно-лопастного смесителя сыпучих материалов

Figure 9. Diagram of a two-chamber drum-blade mixer of bulk materials

Смешиваемые компоненты через патрубок загрузки 12 поступают в торообразную эластичную камеру 1. После включения привода камера начинает вращаться, приводя компоненты смеси в движение. Движение смеси происходит путем подъема и последующего обрушения материала. Само смешивание происходит в центре обрушения и при взаимодействии материала с лопастями 6, которые соединяют камеры 1 и 2. В барабане находится два типа лопастей, те лопасти, которые отогнуты внутрь камеры 1 захватывают в ней поток материала и направляют в камеру 2, те же лопасти, что отогнуты в камеру 2, наоборот перемещают поток в камеру 1, обеспечивая тем самым циркуляцию сыпучего материала в продольном сечении смесителя. Готовая смесь выгружается через патрубок 14 в бункер 15.

Основной недостаток данного смесителя заключается в эластичных камерах, а именно в изнашиваемости материала, из которого они изготовлены. вследствие чего, при регулярном использовании данного аппарата, появляется необходимость частой замены этого элемента смесителя.

Результаты

Проанализировав существующие конструкции барабанных смесителей, были выявлены общие недостатки каждой из категории смесителей. Для смесителей с распределенной подачей компонентов этим недостатком является сложность при изготовлении элементов, связанных с подачей компонентов смеси.

Смесители с дополнительными перемешивающими элементами имеют высокую металлоемкость и низкое значение времени пребывания смеси в аппарате. У смесителей с изменяемой рабочей камерой основными недостатками являются сложность при изготовлении или изнашиваемость, если речь идет об элементах из гибких материалов.

Учтя данные недостатки, была выбрана категория смесителей, а именно использование дополнительных перемешивающих элементов в центре сегрегации смеси, на основании которой были разработаны 2 новых конструкции барабанных смесителей. При их разработке основной задачей было увеличение времени пребывания смеси внутри барабана. На обе конструкции поданы заявки на патент.

Внутренняя конструкция первого аппарата для смешивания представлена на рисунке 10.

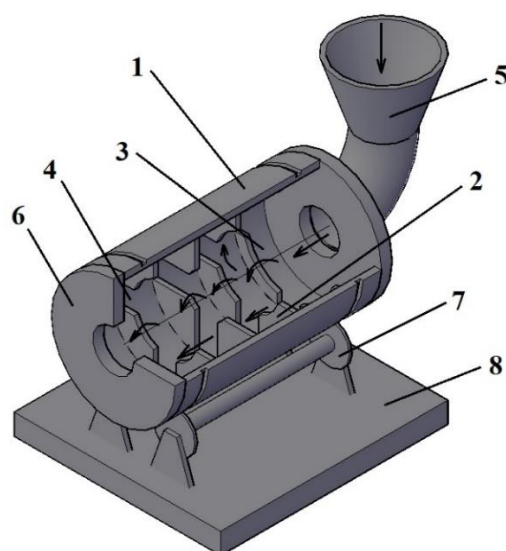


Рисунок 10. Барабанный смеситель с секционными радиальными разделителями

Figure 10. Drum mixer with sectional radial separators

Материал сухой смеси попадает через загрузочное устройство 5 в смесительный барабан 1, внутри которого разделяется на две части. Одна часть потока материала проходит через вырезы 3 между секционными радиальными разделителями 2, а другая часть задерживается перед ними, накапливаясь до достижения верхнего края разделителя. Это позволяет увеличить время нахождения материала внутри барабана. Сойдя с поверхности секционного радиального разделителя, поток накладывается на первый поток материала, после чего происходит их смешивание при продольном перемещении по внутренней поверхности рабочего барабана. Далее этот поток попадает на следующий секционный разделитель, что приводит к повторному разделению потока на две части.

Пройдя по всей длине смесительного барабана, поток подвергается многократному разделению и наложению его слоев друг на друга, что способствует увеличению накопительной способности и улучшению качества смеси. Размер вырезов зависит от технологических параметров работы аппарата и находится в диапазоне 0,5–1 диаметра отверстия. Это позволяет получать смесь заданного качества. Расположение, размер и количество секционных разделителей может изменяться. Различные значения данных параметров позволяют подобрать оптимальные параметры для смешивания конкретного набора сыпучих компонентов, приводя к получению более качественной смеси.

Схема второго барабанного смесителя представлена на рисунке 11.

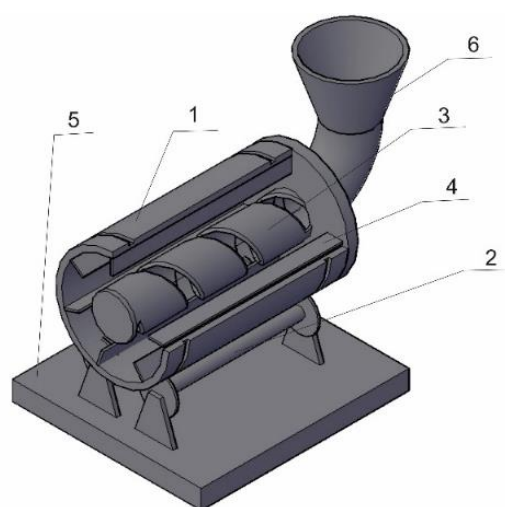


Рисунок 11. Барабанный смеситель с центральным барабаном

Figure 11. Drum mixer with central drum

Через устройство загрузки 6 сыпучие материалы подаются во вращающийся на роликах 2 совместно с барабаном 1 цилиндр 3, и, растекаясь по его поверхности общий поток смешиваемых материалов делится на два потока, один из которых продолжает движение внутри цилиндра, а второй высыпается через спиральный вырез. Образовавшиеся потоки циркулируют одновременно как в продольном, так и в поперечном направлении, создавая скрещивающиеся и рециркуляционные потоки, относительно оси барабана, при этом смешиваясь в общий поток, движущийся вдоль барабана 1. Поток материала, находящийся в полости между цилиндром 3 и барабаном 1 попадает на пластины-ворошители 4, и поднимаясь на них вверх сыпается на поверхность цилиндра 5, частично попадая через спиральный вырез внутрь него. Готовая смесь выводится из цилиндра на конвейер. Предложенное конструктивное решение позволяет увеличить время нахождения частиц внутри аппарата.

Заключение

В настоящее время барабанные смесители имеют широкое применения в различных областях промышленности. Разные смеси требуют от них определенных качеств, что приводит к необходимости разработки новых аппаратов.

В работе проанализированы существующие конструкции смесителей, выявлены их недостатки и, с учетом этих недостатков, предложены две новых схемы внутреннего устройства барабанных смесителей.

Литература

- 1 Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. М.: Машиностроение, 1973. 216 с.
- 2 Пат. № 2478420, RU, B01F13/18. Способ непрерывного приготовления многокомпонентных смесей и устройство для его реализации / Селиванов Ю.Т., Першин В.Ф., Дурнев А.С.; заявитель и патентообладатель Тамбовский государственный технический университет. № 2011131090/05; Заявл. 25.07.2011; Оpubл. 10.04.13, Бюл. № 32.
- 3 Пат. № 2546180, RU, A23N 17/00. Смеситель сыпучих материалов / Марченко А.Ю., Серга Г.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный аграрный университет". № 2013147253/13; Заявл. 22.10.2013; Оpubл. 10.04.15, Бюл. № 10.
- 4 Пат. № 2643962, RU, B01F 9/06. Барабанный смеситель / Бородулин Д.М.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "Кемеровский технологический институт пищевой промышленности". № 2016149974; Заявл. 2016.12.19; Оpubл. 2018.02.06.
- 5 Пат. № 2508937, RU, B01F 9/02. Барабанный смеситель / Бородулин Д.М., Иванец В.Н., Комаров С.С.; заявитель и патентообладатель Федеральное Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. № 2012128003/05; Заявл. 03.07.2012; Оpubл. 10.03.2014, Бюл. № 7.
- 6 Пат. № 118565, RU, F23D 1/02. Барабанный смеситель сыпучих материалов / Мизонов В.Е., Крупин С.В., Шелатонина К.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина". № 2012105233/05; Заявл. 14.04.2012; Оpubл. 27.07.2012, Бюл. № 2012105233/05.
- 7 Пат. № 2725232, RU, B01F 9/02. Барабанный смеситель / Светлов С.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова". № 2019108120; Заявл. 21.03.2019; Оpubл. 30.06.2020.
- 8 Пат. № 2755685, RU, B28C 5/18. Смеситель сыпучих материалов / Мудров А.П.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "Казанский государственный аграрный университет". № 2020127628; Заявл. 2020.08.18; Оpubл. 2021.09.20.
- 9 Пат. № 2626203, RU, B01F 9/02, 3/18. Смеситель / Тарпшис М.Ю., Черпицкий С.Н., Королев Л.В., Зайцев А.И. № 2016126747; Заявл. 04.07.2016; Оpubл.: 24.07.2017. Бюл. № 21.
- 10 Borodulin D.M., Bakin I.A., Sukhorukov D.V., Ratnikov S.A. Simulation of mixing process in drum mixer with different topology of material flows // International scientific and practical conference "Agro-SMART – Smart solutions for agriculture" (Agro-SMART 2018). 2018. P. 685–689.
- 11 Ivanets V.N., Borodulin D.M., Shushpannikov A.B., Sukhorukov D.V. Intensification of bulk material mixing in new designs of drum, vibratory and centrifugal mixers // Foods and Raw Materials. 2015. V. 3. № 1. P. 62–69.
- 12 Ivanets V.N., Borodulin D.M., Shushpannikov A.B., Sukhorukov D.V. Intensification of bulk material mixing in new designs of drum, vibratory and centrifugal mixers // Foods and raw materials. 2015. V. 3. №. 1. P. 62–69.
- 13 Soni R.K., Mohanty R., Mohanty S., Mishra B.K. Numerical analysis of mixing of particles in drum mixers using DEM // Advanced Powder Technology. 2016. V. 27. №. 2. P. 531–540. doi: 10.1016/j.appt.2016.01.016
- 14 Bhattacharya T., Hajra S.K., McCarthy J.J. A design heuristic for optimizing segregation avoidance practices in horizontal drum mixers // Powder technology. 2014. V. 253. P. 107–115. doi: 10.1016/j.powtec.2013.10.035
- 15 Huang A.N., Kuo H.P. Developments in the tools for the investigation of mixing in particulate systems—A review // Advanced Powder Technology. 2014. V. 25. №. 1. P. 163–173. doi: 10.1016/j.appt.2013.10.007
- 16 Qi F., Heindel T.J., Wright M.M. Numerical study of particle mixing in a lab-scale screw mixer using the discrete element method // Powder technology. 2017. V. 308. P. 334–345. doi: 10.1016/j.powtec.2016.12.043
- 17 Halidan M. et al. Mixing performance of ribbon mixers: Effects of operational parameters // Powder Technology. 2018. V. 325. P. 92–106. doi: 10.1016/j.powtec.2017.11.009
- 18 Shao H., Sun L., Liu L., You Z. et al. A novel double-drum mixing technique for plant hot mix asphalt recycling with high reclaimed asphalt pavement content and rejuvenator // Construction and Building Materials. 2017. V. 134. P. 236–244. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.12.077
- 19 Ji S., Wang S., Zhou Z. Influence of particle shape on mixing rate in rotating drums based on super-quadric DEM simulations // Advanced Powder Technology. 2020. V. 31. №. 8. P. 3540–3550. doi: 10.1016/j.appt.2020.06.040
- 20 Hemalatha T. et al. Influence of mixing protocol on fresh and hardened properties of self-compacting concrete // Construction and Building Materials. 2015. V. 98. P. 119–127. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.072

References

- 1 Makarov Yu.I. Apparatus for mixing bulk materials. M., Mechanical Engineering, 1973. 216 p. (in Russian).
- 2 Selivanov Yu.T., Pershin V.F., Durnev A.S. A method for the continuous preparation of multicomponent mixtures and a device for its implementation. Patent RF, no. 2478420, 2013
- 3 Marchenko A.Yu., Serga G.V. Mixer of bulk materials. Patent RF, no. 2546180, 2015.
- 4 Borodulin D.M. Drum mixer. Patent RF, no. 2643962, 2006.

- 5 Borodulin D.M., Ivanets V.N., Komarov S.S. Drum mixer. Patent RF, no. 2508937, 2014.
- 6 Mizonov V.E., Krupin S.V., Shelatonova K.A. Drum mixer of bulk materials. Patent RF, no. 118565, 2012
- 7 Svetlov S.A. Drum mixer. Patent RF, no. 2725232, 2020.
- 8 Mudrov A.P. Mixer of bulk materials. Patent RF, no. 2755685, 2020.
- 9 Tarshis M.Yu., Cherpitsky S.N., Korolev L.V., Zaitsev A.I. Mixer. Patent RF, no. 2626203, 2017.
- 10 Borodulin D.M., Bakin I.A., Sukhorukov D.V., Ratnikov S.A. Simulation of mixing process in drum mixer with different topology of material flows. International scientific and practical conference "Agro-SMART – Smart solutions for agriculture" (Agro-SMART 2018). 2018. pp. 685–689.
- 11 Ivanets V.N., Borodulin D.M., Shushpannikov A.B., Sukhorukov D.V. Intensification of bulk material mixing in new designs of drum, vibratory and centrifugal mixers. Foods and Raw Materials. 2015. vol. 3. no. 1. pp. 62–69.
- 12 Ivanets V.N., Borodulin D.M., Shushpannikov A.B., Sukhorukov D.V. Intensification of bulk material mixing in new designs of drum, vibratory and centrifugal mixers. Foods and raw materials. 2015. vol. 3. no. 1. pp. 62–69.
- 13 Soni R.K., Mohanty R., Mohanty S., Mishra B.K. Numerical analysis of mixing of particles in drum mixers using DEM. Advanced Powder Technology. 2016. vol. 27. no. 2. pp. 531–540. doi: 10.1016/j.appt.2016.01.016
- 14 Bhattacharya T., Hajra S.K., McCarthy J.J. A design heuristic for optimizing segregation avoidance practices in horizontal drum mixers. Powder technology. 2014. vol. 253. pp. 107–115. doi: 10.1016/j.powtec.2013.10.035
- 15 Huang A.N., Kuo H.P. Developments in the tools for the investigation of mixing in particulate systems—A review. Advanced Powder Technology. 2014. vol. 25. no. 1. pp. 163–173. doi: 10.1016/j.appt.2013.10.007
- 16 Qi F., Heindel T.J., Wright M.M. Numerical study of particle mixing in a lab-scale screw mixer using the discrete element method. Powder technology. 2017. vol. 308. pp. 334–345. doi: 10.1016/j.powtec.2016.12.043
- 17 Halidan M. et al. Mixing performance of ribbon mixers: Effects of operational parameters. Powder Technology. 2018. vol. 325. pp. 92–106. doi: 10.1016/j.powtec.2017.11.009
- 18 Shao H., Sun L., Liu L., You Z. et al. A novel double-drum mixing technique for plant hot mix asphalt recycling with high reclaimed asphalt pavement content and rejuvenator. Construction and Building Materials. 2017. vol. 134. pp. 236–244. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.12.077
- 19 Ji S., Wang S., Zhou Z. Influence of particle shape on mixing rate in rotating drums based on super-quadric DEM simulations. Advanced Powder Technology. 2020. vol. 31. no. 8. pp. 3540–3550. doi: 10.1016/j.appt.2020.06.040
- 20 Hemalatha T. et al. Influence of mixing protocol on fresh and hardened properties of self-compacting concrete. Construction and Building Materials. 2015. vol. 98. pp. 119–127. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.072

Сведения об авторах

Дмитрий М. Бородулин д.т.н., профессор, кафедра технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой Российской государственный аграрный университет МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Россия, borodulin@rgau-msha.ru

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

Дмитрий В. Сухоруков к.т.н., доцент, кафедра инженерного дизайна, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650043, Россия, pioner_dias@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7995-3813>

Юлия П. Суворова аспирант, кафедра инженерного дизайна, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650043, Россия, yulia-suvorova-1998@mail.ru

Вклад авторов

Дмитрий М. Бородулин, Дмитрий В. Сухоруков консультация в ходе исследования

Юлия П. Суворова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Dmitry M. Borodulin Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of storage and processing of fruits department, Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 27434, Moscow, st. Timiryazevskaya, 49, borodulin@rgau-msha.ru

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

Dmitry V. Sukhorukov Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, engineering design department, Kemerovo State University, Krasnaya str, 6, Kemerovo, 650043 Russia, pioner_dias@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7995-3813>

Yulia P. Suvorova graduate student, engineering design department, Kemerovo State University, Krasnaya str, 6, Kemerovo, 650043 Russia, yulia-suvorova-1998@mail.ru

Contribution

Dmitry M. Borodulin, Dmitry V. Sukhorukov consultation during the study

Yulia P. Suvorova 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 13/07/2023	После редакции 10/08/2023	Принята в печать 31/08/2023
Received 13/07/2023	Accepted in revised 10/08/2023	Accepted 31/08/2023

Моделирование рыбных изделий с БАД

Анна Т. Васюкова	¹	vasyukova-at@yandex.ru	 0000-0002-7374-4145
Ирина У. Кусова	¹	kusovaiu@mgupp.ru	 0000-0001-8489-8011
Анатолий Р. Эдварс	¹	rostislave@mail.ru	 0000-0002-9290-8619
Илья К. Вадовский	¹	i.vadovskiy@mail.ru	 0000-0001-9264-7386
Тамара Н. Шарова	²	sharova1412@gmail.com	 0000-0003-1354-8246
Амина С. Джабоева	³	ttop_kbr@mail.ru	 0000-0001-9352-0862

1 Российский биотехнологический университет, 11, Волоколамское шоссе, Москва, 125080, Россия

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

3 Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, просп. Ленина, 1В, Нальчик, 360001, Россия

Аннотация. В процессе исследований рассмотрены вопросы комбинирования тощих видов рыб с продуктами животного и растительного происхождения, взаимно дополняющие аминокислотный состав готового продукта, который отвечает химическому составу суточного рациона основного варианта диеты, назначаемой при лечении неинфекционных заболеваний, в частности сахарного диабета второго типа. Основным сырьем для изготовления суфле, омлета и запеканки была свежемороженая рыба минтай с добавками порошков растительного происхождения: сублимированные укроп, петрушка и паприка, а в качестве растительного сырья использовали лук, оранжевая и желтая морковь, молоко, сливочное масло и яйцо куриное. Для тепловой обработки выбраны щадящие способы и режимы термообработки: запекание в пароконвектомате на режиме «пар» и «жар». На основании моделирования компонентов рецептуры с учетом их биологической ценности получены новые вкусовые качества суфле, запеканки и омлета, фаршированного с добавлением порошкообразных добавок и овощей, выполняющих дополнительную структурирующую роль. В качестве контроля были суфле, омлет и запеканка, приготовленные по традиционной рецептуре, имеющейся в нормативной документации. Выявлены зависимости сырых и термообработанных продуктов и их влияние на структуру суфле и омлета. Получены сенсорные характеристики новых блюд с учетом обработки в пароконвектомате. Установлены параметры технологических процессов при запекании на режиме «пар» и «жар» при температуре 180–200 °С. Выявлены зависимости молока, яиц и сливочного масла от связующих компонентов рецептуры – муки рисовой и порошкообразных растительных добавок. Обоснованы факторы, которые являются основополагающими при изготовлении продуктов, предназначенных для диеты ОВД (диабетическая). Полученный модельный состав рецептур суфле рыбное, «Рыба, запеченная под яично-молочным соусом» и омлет, фаршированный «Улыбка» отвечает требованиям, нормативной документации и потребительским предпочтениям.

Ключевые слова: рыбный модельный фарш, суфле, омлет, запеканка, показатели качества.

Modeling of fish products with dietary supplements

Anna T. Vasyukova	¹	vasyukova-at@yandex.ru	 0000-0002-7374-4145
Irina U. Kusova	¹	kusovaiu@mgupp.ru	 0000-0001-8489-8011
Anatoly R. Edvars	¹	rostislave@mail.ru	 0000-0002-9290-8619
Ilya K. Vadovskiy	¹	i.vadovskiy@mail.ru	 0000-0001-9264-7386
Tamara N. Sharova	²	sharova1412@gmail.com	 0000-0003-1354-8246
Amina S. Dzhaboeva	³	ttop_kbr@mail.ru	 0000-0001-9352-0862

1 Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), 11, Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russia

2 Moscow State University of Technology and Management (PKU), 73 Zemlyana Val str., Moscow, 109004, Russia

3 Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after. V.M. Kokova, ave. Lenina, 1B, Nalchik, 360001, Russia

Abstract. In the process of research the questions of combining lean fish species with products of animal and vegetable origin, mutually complementing the amino acid composition of the finished product, which meets the chemical composition of the daily ration of the main variant of the diet prescribed in the treatment of non-infectious diseases, in particular type 2 diabetes mellitus, were considered. The main raw material for making soufflé, omelet and casserole was fresh-frozen pollock fish with additives of vegetable powders: freeze-dried dill, parsley and paprika, and onion, orange and yellow carrots, milk, butter and chicken egg were used as vegetable and animal raw materials. For heat treatment we chose gentle methods and modes of heat treatment: baking in a combi steamer on the mode "steam" and "heat". On the basis of modeling of the recipe components taking into account their biological value, new taste qualities of soufflé, casserole and omelet stuffed with the addition of powdered additives and vegetables that perform an additional structuring role were obtained. As a control were soufflé, omelette and casserole prepared according to the traditional recipe available in the regulatory documentation. Dependencies of raw and heat-treated products and their influence on the structure of soufflé and omelette were revealed. Sensory characteristics of new dishes taking into account the processing in a combi steamer are obtained. The parameters of technological processes at baking on a mode "steam" and "heat" at temperature 180-200 °C are established. The dependences of milk, eggs and butter on the binder components of the formulation - rice flour and powdered vegetable additives have been revealed. The factors that are fundamental in the manufacture of products intended for the OVD (diabetic) diet are substantiated. The obtained model composition of the formulations of fish soufflé, "Fish baked under egg and milk sauce" and omelet stuffed "Smile" meets the requirements, regulatory documentation and consumer preferences.

Keywords: culinary products, poultry, children's nutrition, food safety, consumer properties.

Для цитирования

Васюкова А.Т., Кусова И.У., Эдварс А.Р., Вадовский И.К., Шарова Т.Н., Джабоева А.С. Моделирование рыбных изделий с БАД // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 60–66. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-60-66

For citation

Vasyukova A.T., Kusova I.U., Edwards A.R., Vadovskiy I.K., Sharova T.N., Dzhaboeva A.S. Modeling of fish products with dietary supplements. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 60–66. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-60-66

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

Введение

Оздоровление нации, повышение трудоспособности населения, его средней продолжительности жизни возможно лишь путем глубокой трансформации системы продовольственного обеспечения, первым шагом к которой может послужить корректировка Доктрины продовольственной безопасности в сторону трансформации ее в Доктрину продовольственной эффективности, основная задача которой – не просто обеспечить удовлетворение потребности населения страны в отечественных продуктах, но в продуктах с высокой пищевой ценностью и биологической эффективностью.

Однако, сейчас производится большинство продуктов по инновационным безотходным технологиям, которые включают побочные компоненты, влияющие на здоровье человека и окружающую среду. Традиционно воздействие на окружающую среду разделялось между различными логистическими процессами в соответствии с более или менее произвольным коэффициентом распределения. В соответствии с новыми требованиями ISO и рекомендациями SETAC по возможности следует избегать подобные процессы: образование мутагенных и канцерогенных веществ как в процессе изготовления, так и хранения продуктов питания. Было распространено мнение, что избежать данные процессы возможно путем расширения системы производства-потребления, изготовления композитов, смесей из восстановленного сырья и материалов (например, сухие смеси для детского и диетического питания). Поскольку соответствующие замены считались слишком сложными, трудными для определения и иногда включали бесконечные регрессии в процессе купажирования или составления помольных и иных партий сырья, то эти предполагаемые проблемы могут быть решены путем применения строгой процедуры выявления затронутых процессов, ранее разработанной и представленной нормативной документацией и законодательных актов. В статистических обзорах NATION показано, что питание оказывает важную роль на жизнедеятельность населения. Так, начиная с 2015 года в различных странах наблюдается рост 6,7% (4,5–12,1%) неинфекционных заболеваний в широком возрастном диапазоне от 20 до 79 лет документе. Прогноз развития неинфекционных заболеваний к 2040 года предусматривает постепенное увеличение до 7,8% (5,2–14,9%). Исследования в данном направлении позволяют также предположить использование высокоэффективных технологий, позволяющих избежать расширения системы моделирования генно-модифицированных продуктов, вызывающих мутагенные эффекты. Общеизвестны сложные проблемы, возникающие при переработке сельскохозяйственных или промышленных вторичных ресурсов (сырья, отходов производства),

используемых в качестве корма (например, рапсовый жмых, который заменяет производство соевых бобов, в котором опять же используется масло в качестве побочного продукта) или удобрения (например, органические удобрения – побочные продукты от жизнедеятельности животных), и наконец последнее звено технологической цепи – корова (мясо, молоко, масло и т. д.), что дает возможность получить качественные продукты питания. А также вторичные функции лесного хозяйства и сельского хозяйства (например, поддержание доходов в сельской местности, благоустройство, поддержание ландшафтов для отдыха) [1]. Все существующие экологические и социальные проблемы тесно переплетены, поэтому необходимо разработать стандарты питания, единые в различных странах мира, позволяющие целесообразно использовать сырьевые ресурсы и регулировать вопросы здравоохранения, препятствовать развитию неинфекционных заболеваний.

Пересмотр указанных ключевых проблем цивилизации начался с опроса, разосланного в национальные комитеты IDF, в ходе которого были получены ценные отзывы пользователей стандарта. Проведенная работа включала значительные усилия в сотрудничестве и диалоге, но позволила прийти к сбалансированному согласию. Существуют различные методы и источники для определения выбросов, загрязнений воды и воздуха, вирусных инфекций, которые классифицируются в зависимости от их точности и детализации. Самый простой подход описывается различными уровнями и индивидуальными данными. На первое место в мире выходят такие заболевания цивилизации, как сердечно-сосудистые, диабет второго типа, онкология, ожирение, нарушение обмена веществ.

В современном мире сахарный диабет составляет основную причину смертности населения, но на риск его развития можно повлиять за счет коррекции средовых факторов, в том числе питания. В частности, протективный эффект оказывает энергетически сбалансированная диета – как профилактика сахарного диабета 2 типа, правильный баланс и количество простых сахаров.

Несмотря на кажущееся небольшим уменьшение риска, при колоссальной распространенности сахарного диабета 2 типа такое снижение заболеваемости способно сберечь значимое количество жизней [1–3].

Рыба в отличие от мяса сельскохозяйственных животных практически не содержит соединительной ткани. Рыбные белки в три раза быстрее перевариваются в желудочно-кишечном тракте. Из имеющихся 20 заменимых и незаменимых аминокислот по сравнению с другими пищевыми продуктами рыбные продукты занимают лидирующее положение. Важную роль

в организме выполняют глицин и таурин [4]. Больным диабетом рекомендовано потребление аргинина, который будет способствовать снижению побочных воздействий на организм и осложнений [5].

Для больных диабетом I и II типа рекомендуется употреблять рыбу жирных сортов, которая богата эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислотами (ЭПК + ДГК) [6, 7].

Моделирование продуктов и конструирование рационов с целевым нутриентным составом для потребителей на основе их генетических предрасположенностей является важной задачей в настоящее время.

Цель работы моделирование рецептур специализированных рыбных продуктов на основе пищевой ценности и сочетаемости сырья.

Материалы и методы

Аминокислотный состав продуктов животного и растительного происхождения проанализирован на основе справочных таблиц. Исследования проводили с использованием современных и установленных методик [8]. Для анализа полученной информации использован метод кластеризации многомерных объектов [19]. Все исследуемые образцы готовились в пароконвектомате на режиме «пар», «жар», параметры технологических процессов при запекании регистрировались при температуре 180–200 °С по достижению в толще продукта 80 °С. Объектами исследований являлось сырье и продукты, предназначенные для диеты ОВД (диабетическая). Модельные составы рецептур суфле рыбное, «Рыба, запеченная под яично-молочным соусом» и омлет, фаршированный «Улыбка» отвечали требованиям, нормативной документации и потребительским предпочтениям – ТУ 10.20.25–040–35749547–2020 Рыбные полуфабрикаты и СанПин 2.3/2.4.3590–20. Оптимальные концентрации БАД от 1 до 2%.

Органолептическую оценку проводили профильным методом по разработанной системе дескрипторов, которые включают: аромат, токтильность, целостность структуры, сочность. Пищевую и энергетическую ценность образцов характеризовали расчетным методом по справочным таблицам содержания основных

пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов.

В статье использованы нормативные документы, позволяющие оценить качество изготавливаемой продукции и организацию ее потребления: ГОСТ Р ИСО 22000 2019 (ГОСТ 2019 года).

Результаты и обсуждение

Всемирная организация здравоохранения и Институт питания РАН разработали основные требования к сбалансированному питанию и его компонентам. При использовании морских биоресурсов принципиальной задачей является разработка новых технологий разделения органических компонентов, что связано с получением новых видов рыбопродуктов, отвечающих определенным биологическим, медицинским и технологическим нормам. Продукты питания и сырье, основной химический состав целой и потрошеной рыбы, результаты фракционирования белка, полученные в результате многократного экстрагирования, необходимо учитывать при моделировании диетических продуктов. Также при получении гидролизатов рекомендуется гидролизовать фарш из цельной рыбы.

Базовой составляющей белкового продукта, рекомендуемого для основного варианта диеты диабетической (ОВДд) являются аминокислоты мышечных белков рыбы [4]. Поэтому важным является создание продукта с высоким содержанием полноценных рыбных белков, а также насыщенных омега-3, омега-6, омега-9 жирных кислот, обладающих антиоксидантными свойствами [9]. Кроме того, рядом авторов, при создании специализированных продуктов, содержащих натуральные экстракты, рекомендованы интересные композиции как по вкусовой гамме, так и по функциональным свойствам [10, 11]. На этой законодательной базе выполнены рецептуры, входящие в рационы питания, в том числе и ОВД для диабетиков.

Основываясь на рекомендациях диетологов проведен сравнительный анализ аминокислотного состава продуктов животного и растительного происхождения, позволяющий моделировать компоненты рецептуры в соответствии с их функциональным назначением (таблица 1).

Таблица 1.
Сравнительный анализ аминокислотного состава белков пищевых продуктов, г/100г

Table 1.

Comparative analysis of the amino acid composition of food proteins, g/100g

Наименование аминокислот Name of amino acids	Рыба Fish	Говядина Beef		Морковь Carrot		Рис Rice	
		содержание content	отклонение deviation	содержание content	отклонение deviation	содержание content	отклонение deviation
1	2	3	4	5	6	7	8
Аргинин Arginine	2,14	1,04	-1,1	0,091	-2,049	0,551	-1,589
Валин Valine	2,46	1,03	-1,43	0,069	-2,391	0,403	-2,059
Гистидин Histidine	1,76	0,71	-1,05	0,040	-1,720	0,155	-1,605
Изолейцин Isoleucine	1,88	0,78	-0,1	0,077	-1,803	0,285	-1,595
Лейцин Leucine	3,42	1,48	-1,94	0,102	-3,318	0,546	-2,874

Продолжение таблицы 1 | Continuation of Table 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Лизин Lysine	4,04	1,59	-2,45	0,101	-3,939	0,239	-3,801
Метионин Methionine	1,1	0,45	-0,65	0,020	-1,080	0,155	-0,945
Цистеин Cysteine	0,52	0,7	+0,18	0,083	+0,310	0,135	-0,385
Треонин Threonine	2,26	0,8	-1,46	0,191	-2,069	0,236	-2,024
Триптофан Tryptophan	0,44	0,21	-0,23	0,012	-0,428	0,077	-0,363
Фенилаланин Phenylalanine	1,92	0,8	-1,12	0,061	-1,859	0,353	-1,567
Тирозин Tyrosine	0,96	1,45	+0,49	0,043	-0,917	0,221	-0,739
Аланин Alanine	2,66	1,09	-1,57	0,113	-2,547	0,383	-2,277
Аспарагиновая кислота Aspartic acid	4,94	1,77	-3,87	0,190	-4,750	0,621	-4,319
Глицин Glycine	2,66	0,94	-1,72	0,047	-2,613	0,301	-2,359
Глутаминовая кислота Glutamic acid	5,6	3,07	-2,53	0,366	-5,234	1,288	-4,312
Пролин Proline	1,44	0,69	-0,75	0,054	-1,386	0,311	-1,129
Серин Serine	1,84	0,78	-1,06	0,054	-1,786	0,347	-1,493

Представленные в таблице 1 данные характеризуют рыбу как наиболее приемлемое сырье для создания на его базе диетических продуктов. Установлено также, что употребление в питании натуральных продуктов имеет ряд преимуществ. Как правило, в состав этих продуктов помимо белковых веществ входят витамины, минеральные соли, органические кислоты, пищевые волокна и другие ценные компоненты, причем находятся они в виде природных

соединений, в той форме, которая лучше усваивается организмом [4, 9].

В результате работы проведены комплексные исследования технологических операций производства рыбного полуфабриката, направленные на оптимизацию структурно-механических свойств, технологических приемов обработки сырья и кулинарной готовности, моделированию рецептур, приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Рецептуры рыбных кулинарных изделий с БАД

Table 2.

Recipes for fish culinary products with dietary supplements

Сырье Raw material	Суфле рыбное Fish soufflé		Рыба, запеченная под яично-молочным соусом Fish baked with egg and milk sauce		Омлет, фаршированный «Улыбка» Stuffed omelet «Smile»	
	Брутто, г Gross, g	Нетто, г Netto, g	Брутто, г Gross, g	Нетто, г Netto, g	Брутто, г Gross, g	Нетто, г Netto, g
Минтай Pollock	54	35	74	37	15	10
Яйцо Egg	13 шт. psc.	12	120 шт. psc.	2	2 шт. psc.	80
Молоко Milk	20	20	6	6	30	30
Мука рисовая Rice flour	2	2	1	1	—	—
Соль Salt	0,6	0,6	1	1	0,6	0,6
Масло сливочное Butter	3	3	1	1	4	4
Укроп Dill	1	1	—	—	—	—
Масло растительное Vegetable oil	—	—	1	1	—	—
Лук репчатый Onion	—	—	7	6	—	—
Петрушка Parsley	—	—	1	1	—	—
Морковь Carrot	—	—	—	—	8,7	7
Паприка Paprika	—	—	—	—	2	2
Выход Output		50		50		150

Все разработанные изделия запекали в пароконвектомате на режиме «пар» и «жар» до появления на поверхности румяной корочки. Органолептическая оценка изделий соответствовала запеченным диетическим блюдам с выраженной вкусо-ароматической гаммой. Концентрация порошкообразных укропа, петрушки и паприки составила 1–2%. Анализ полученных данных показывает, что тепловая обработка приводит к уплотнению массы, характерной для запеченных изделий.

Пищевая ценность разработанных блюд приведена в таблице 3.

Таким образом, теоретически обосновано и экспериментально подтверждена возможность использования филе минтая в сочетании с молочными продуктами, сливочным маслом, овощами и сухими растительными компонентами в технологии новых диетических блюд.

Методом подбора компонентов были выбраны перспективные ингредиенты для обогащения традиционных рецептур. Установлено, что в качестве рационального сырья применимы мука рисовая, порошкообразные укроп, паприка и петрушка [9, 11, 14, 15].

Пищевая ценность рыбных кулинарных изделий с БАД

Table 3.

Nutritional value of fish culinary products with dietary supplements

Показатель Indicator	Суфле рыбное Fish soufflé	Рыба, запеченная под яично-молочным соусом Fish baked with egg and milk sauce	Омлет, фаршированный «Улыбка» Stuffed omelet «Smile»
Калорийность, ккал Caloricity, kcal	84,76	146	245,34
Белки, г Proteins, g	7,87	6,5	11,44
Жиры, г Fats, g	4,83	2,59	21,04
Углеводы, г Carbohydrates, g	2,43	1,54	2,55
Витамин А, мг Vitamin A, mg	3,57	3,72	0,34
Витамин В ₁ , мг Vitamin B ₁ , mg	0,06	0,05	0,07
Витамин В ₂ , мг Vitamin B ₂ , mg	0,13	0,06	0,42
Витамин С, мг Vitamin C, mg	0,44	0,86	0,53
Витамин РР, мг Vitamin PP, mg	0,52	0,52	0,2
Натрий, мг Sodium, mg	272,61	486,18	128,13
Калий, мг Potassium, mg	195,94	178,94	173
Кальций, мг Calcium, mg	33,7	15,06	95,29
Магний, мг Magnesium, mg	23,95	22,7	15,02
Фосфор, мг Phosphorus, mg	127,72	103,44	191,96
Железо, мг Iron, mg	0,64	0,45	2,08

Методом компьютерного моделирования и планирования рецептур получены оптимальные значения, которые соответствуют реологическим показателям рыбной массы и остальным компонентам рецептуры, что позволяет доводить до готовности в промышленных условиях и порционировать готовую продукцию. Эта технология даст возможность использовать разработанные полуфабрикаты высокой степени готовности, а также применять их для питания пациентов, употребляющих диету ОВДд.

Установлено, по органолептическим и микробиологическим показателям суфле, запеканка и омлет с рыбными продуктами и БАД соответствуют ТУ 10.20.25–040–35749547–2020 Рыбные полуфабрикаты.

Заключение

Моделирование рецептур на основе свойств пищевых продуктов, особенностей химического состава и производственных условий изготовления продукции позволяет с научной точки зрения выполнить поставленные задачи и обеспечить потребителей качественной и функциональной продукцией. Разработанные суфле, запеканка и омлет на основе рыбного сырья и наполнителей могут быть рекомендованы для составления рациона по ОВДд. По ингредиентному составу новые рецептуры максимально будут приближаться к контрольному образцу, а по пищевой и энергетической ценности соответствует функциональным рыбным продуктам.

Литература

- 1 Дедов И.И., Шестакова М.В., Галстян Г.Р. Распространенность сахарного диабета 2 типа у взрослого населения России (исследование NATION) // Сахарный диабет. 2016. Т. 19. № 2. С. 104-112.
- 2 Wu Y., Ding Y., Tanaka Y., Zhang W. et al. Risk factors contributing to type 2 diabetes and recent advances in the treatment and prevention // International journal of medical sciences. 2014. V. 11. № 11. P. 1185.
- 3 DRPOS. Lancet Diabetes Endocrinol. 2015.
- 4 Лысиков Ю.А. Аминокислоты в питании человека // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2012. С. 88–106.
- 5 Общая нутрициология. М.: МЕДпресс-информ, 2005. 392 с.
- 6 Шестнадцать самых полезных продуктов при сахарном диабете. URL: <https://gb12-barnaul.ru/blog/16-samyh-poleznyh-produktov-...>
- 7 Гладышев М.И. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты и их пищевые источники для человека // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2012. № 4. С. 352–386.
- 8 Карпухина В. Целительные специи. Пряности. Приправы. От 100 болезней. М.: АСТ, 2014. 256 с.
- 9 Васюкова А.Т., Першакова Т.В., Фалин Д.Н., Яковлева Т.В. и др. Влияние обогащающих добавок на пищевую ценность мясных и рыбных продуктов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2011. № 2–3 (320–321). С. 11–13.
- 10 Драчева Л.В., Зайцев Н.К., Жарикова О.А., Васюкова А.Т. Суммарная антиоксидантная активность растительных экстрактов // Пищевая промышленность. 2011. № 9. С. 44–45.

11 Латышев Е.Ю., Васюкова А.Т. Исследование реологических свойств овощных и майонезных соусов, выработанных с применением функциональных растительных добавок на основе водорослей // В сборнике: Приоритетные направления в разработке специализированной продукции для предприятий питания. Москва: Русаинс, 2023. С. 223–234.

12 Ditrich I., Saltan B. Formulation or recipes of functional food products based on fish raw materials, characteristics of their consumer properties // Engineering sciences: development prospects in countries of Europe at the beginning of the third millennium: collective monograph. Riga: Izdevnieciba "Baltija Publishing", 2018. V. 1. P. 176–197.

13 Samojlova D.A., Tsibizova M.E. Secondary resources of the fishing industry as a source of food and dietary supplements // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. 2015.

14 Eskin M., Robinson D.S. Food shelf life stability: chemical, biochemical, and microbiological changes. CRC Press, 2000.

15 Froning G.W., McKee S.R. Mechanical separation of poultry meat and its use in products // Poultry meat processing. CRC Press, 2000. P. 253-266.

16 Roberfroid M.B. Global view on functional foods: European perspectives // British Journal of Nutrition. 2002. V. 88. №. S2. P. S133-S138.

17 Veeman M. Policy Development for Novel Foods: Issues and Challenges for Functional Food // Canadian Journal of Agricultural Economics. 2002. V. 50.

18 Jia Z., Xu W. Synthesis and antibacterial activities of quaternary ammonium salt of chitosan // Carbohydrate research. 2001. V. 333. №. 1. P. 1-6.

19 Никитин Н.А., Сидоренко Ю.И., Карпов В.И., Жученко Н.А. и др. Применение метода кластеризации многомерных объектов при формировании персонализированных рационов на основе анализа генотипов потребителей // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2019. № 3(56). С. 36–39.

20 Dendup T., Feng X., Clingan S., Astell-Burt T. Environmental risk factors for developing type 2 diabetes mellitus: a systematic review // International journal of environmental research and public health. 2018. V. 15. №. 1. P. 78.

References

1 Dedov I.I., Shestakova M.V., Galstyan G.R. Prevalence of type 2 diabetes mellitus in the adult population of Russia (NATION study). Diabetes mellitus. 2016. vol. 19. no. 2. pp. 104-112. (in Russian).

2 Wu Y., Ding Y., Tanaka Y., Zhang W. et al. Risk factors contributing to type 2 diabetes and recent advances in the treatment and prevention. International journal of medical sciences. 2014. vol. 11. no. 11. pp. 1185.

3 DPPOS. Lancet Diabetes Endocrinol. 2015.

4 Lysikov Yu.A. Amino acids in human nutrition. Experimental and clinical gastroenterology. 2012. pp. 88–106. (in Russian).

5 General nutrition. M.: MEDpress-inform, 2005. 392 p. (in Russian).

6 Sixteen of the healthiest foods for diabetes. Available at: <https://gb12.barnaul.ru/blog/16-samyh-poleznyh-produktov-...> (in Russian).

7 Gladyshev M.I. Essential polyunsaturated fatty acids and their food sources for humans. Journal of the Siberian Federal University. Biology. 2012. no. 4. pp. 352–386. (in Russian).

8 Karpukhina V. Healing spices. Spices. Seasonings. From 100 diseases. M., AST, 2014. 256 p. (in Russian).

9 Vasyukova A.T., Pershakova T.V., Falin D.N., Yakovleva T.V. and others. The influence of fortifying additives on the nutritional value of meat and fish products. News of higher educational institutions. Food technology. 2011. no. 2–3 (320–321). pp. 11–13. (in Russian).

10 Dracheva L.V., Zaitsev N.K., Zharikova O.A., Vasyukova A.T. Total antioxidant activity of plant extracts. Food Industry. 2011. no. 9. pp. 44–45. (in Russian).

11 Latyshev E.Yu., Vasyukova A.T. Study of the rheological properties of vegetable and mayonnaise sauces produced with the use of functional plant additives based on algae. In the collection: Priority directions in the development of specialized products for food enterprises. Moscow, Rusaince, 2023. pp. 223–234. (in Russian).

12 Ditrich I., Saltan B. Formulation or recipes of functional food products based on fish raw materials, characteristics of their consumer properties. Engineering sciences: development prospects in countries of Europe at the beginning of the third millennium: collective monograph. Riga, Izdevnieciba "Baltija Publishing", 2018. vol. 1. pp. 176–197.

13 Samojlova D.A., Tsibizova M.E. Secondary resources of the fishing industry as a source of food and dietary supplements. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. 2015.

14 Eskin M., Robinson D.S. Food shelf life stability: chemical, biochemical, and microbiological changes. CRC Press, 2000.

15 Froning G.W., McKee S.R. Mechanical separation of poultry meat and its use in product. Poultry meat processing. CRC Press, 2000. pp. 253-266.

16 Roberfroid M.B. Global view on functional foods: European perspectives. British Journal of Nutrition. 2002. vol. 88. no. S2. pp. S133-S138.

17 Veeman M. Policy Development for Novel Foods: Issues and Challenges for Functional Food. Canadian Journal of Agricultural Economics. 2002. vol. 50.

18 Jia Z., Xu W. Synthesis and antibacterial activities of quaternary ammonium salt of chitosan. Carbohydrate research. 2001. vol. 333. no. 1. pp. 1-6.

19 Nikitin N.A., Sidorenko Yu.I., Karpov V.I., Zhuchenko N.A. and others. Application of the method of clustering multidimensional objects in the formation of personalized diets based on the analysis of consumer genotypes. Technology and commodity science of innovative food products. 2019. no. 3(56). pp. 36–39. (in Russian).

20 Dendup T., Feng X., Clingan S., Astell-Burt T. Environmental risk factors for developing type 2 diabetes mellitus: a systematic review. International journal of environmental research and public health. 2018. vol. 15. no. 1. pp. 78.

Сведения об авторах

Анна Т. Васюкова д.т.н., профессор, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, vasyukova-at@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7374-4145>

Ирина У. Кусова к.т.н., доцент, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, kusovaiu@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8489-8011>

Анатолий Р. Эдварс магистрант, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, rostislave@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9290-8619>

Илья К. Вадовский аспирант, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, i.vadovskiy@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9264-7386>

Тамара Н. Шарова профессор, кафедра цифровой нутрициологии, гостиничного и ресторанного сервиса, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, sharova1412@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-1354-8246>

Амина С. Джабоева д.т.н., профессор, Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, пр-т Ленина, 1В, Нальчик, 360001, Россия, tpop_kbr@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9352-0862>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Anna T. Vasyukova Dr. Sci. (Engin.), professor, food industry, hotel business and service department, Russian University of Biotechnology, Volokolamskoe highway, 11, Moscow, 125080, Russia, vasyukova-at@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7374-4145>

Irina U. Kusova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food industry, hotel business and service department, Russian University of Biotechnology, Volokolamskoe highway, 11, Moscow, 125080, Russia, kusovaiu@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8489-8011>

Anatoly R. Edvars graduate student, food industry, hotel business and service department, Russian University of Biotechnology, Volokolamskoe highway, 11, Moscow, 125080, Russia, rostislave@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9290-8619>

Ilya K. Vadovskiy graduate student, digital nutrition, hotel and restaurant services department, Russian University of Biotechnology, Volokolamskoe highway, 11, Moscow, 125080, Russia, i.vadovskiy@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9264-7386>

Tamara N. Sharova professor, digital nutrition, hotel and restaurant services department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management, 73 Zemlyana Val str., Moscow, 109004, Russia, sharova1412@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-1354-8246>

Amina S. Dzhaboeva Dr. Sci. (Engin.), professor, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after. V.M. Kokova, ave. Lenina, 1B, Nalchik, 360001, Russia, tpop_kbr@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9352-0862>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/07/2023	После редакции 07/08/2023	Принята в печать 28/08/2023
Received 18/07/2023	Accepted in revised 07/08/2023	Accepted 28/08/2023

Количество повреждённого крахмала в муке лабораторного и производственного помолов

Елена П. Мелешкина ¹	e.meleshkina@fncps.ru	 0000-0003-1339-7150
Светлана Н. Коломиец ¹	s.kolomiets@fncps.ru	 0000-0002-3130-2285
Наталья С. Жильцова ¹	n.zhiltsova@fncps.ru	 0000-0002-3436-6049

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Москва, Россия

Аннотация. Ввиду разного подхода к российскому и европейскому мукомольному процессу в России количество повреждённого крахмала (ПК) на мукомольных предприятиях контролируют редко. Данный вопрос нуждается во всестороннем изучении, так как показатель повреждённого крахмала имеет большое значение: его оценка позволяет определять целевое назначение муки (хлебопечение, кондитерское и макаронное производство). Осуществлять управление мукомольным процессом в части контроля работы мельничных валков при размоле, а именно проверять их параллельность и износ, оптимизировать зазор и давление. Муку с высоким содержанием повреждённого крахмала не целесообразно использовать для той же цели, что и муку с низким содержанием повреждённого крахмала. Также оценка показателя повреждённого крахмала позволяет улучшать выход теста путём подбора оптимального коэффициента водопоглотительной способности (водопоглощения), оптимизировать объём, цвет и срок хранения готовой мучной продукции. На начальном этапе цель исследования заключалась в выявлении связи между количеством повреждённого крахмала и показателями качества муки, а также реологическими свойствами теста из муки лабораторного, и производственного помола и для дальнейшего уточнения уровня повреждённого крахмала на большом количестве образцов муки разного качества по её целевому назначению. Имеющиеся литературные данные по этому вопросу противоречивы. Количество повреждённого крахмала в муке определяли на анализаторе повреждённого крахмала. Также были определены: количество и качество клейковины, число падения, устойчивость теста, разжижение, водопоглощение 20-ти проб пшеничной муки лабораторного и производственного помолов. Результаты исследования показали, что в муке производственного помола количество повреждённого крахмала выше, и составило 20–27 UCD (в среднем 24 UCD) против 15–21 (в среднем 18 UCD) в муке лабораторного помола. Корреляционная зависимость выявлена только у муки производственного помола между повреждённым крахмалом и числом падения (0,632), разжижением (0,781) и водопоглощением (0,690). В муке производственного помола с увеличением количества повреждённого крахмала происходило увеличение водопоглощения и разжижения теста, что согласуется с литературными данными, чёткого уменьшения устойчивости теста отмечено не было. В муке лабораторного помола зависимости между показателями не существенны.

Ключевые слова: повреждённый крахмал, мука, лабораторный помол, производственный помол, клейковина, число падения, реологические свойства теста

Amount of damaged starch in laboratory and production grinding flour

Elena P. Meleshkina ¹	e.meleshkina@fncps.ru	 0000-0003-1339-7150
Svetlana N. Kolomiets ¹	s.kolomiets@fncps.ru	 0000-0002-3130-2285
Natalya S. Zhiltsova ¹	n.zhiltsova@fncps.ru	 0000-0002-3436-6049

¹ All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing - Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, Moscow, Russia

Abstract. Due to the different approach to the Russian and European flour milling process in Russia, the amount of damaged starch (SC) at flour mills is rarely controlled. This issue needs a comprehensive study, since the indicator of damaged starch is of great importance: its assessment allows determining the intended purpose of flour (bread baking, confectionery and pasta production). Manage the flour-grinding process in terms of monitoring the operation of the mill rolls during grinding, namely, checking their parallelism and wear, optimizing the gap and pressure. Flour with a high content of damaged starch should not be used for the same purpose as flour with a low content of damaged starch. Also, the assessment of the damaged starch index allows improving the dough yield by selecting the optimal water absorption coefficient (water absorption), optimizing the volume, color and shelf life of the finished flour products. At the initial stage, the purpose of the study was to identify the relationship between the amount of damaged starch and flour quality indicators, as well as the rheological properties of dough from laboratory flour and industrial grinding, and to further clarify the level of damaged starch on a large number of samples of flour of different quality according to its intended purpose. The available literature data on this issue are contradictory. The amount of damaged starch in flour was determined on a damaged starch analyzer. The following were also determined: the quantity and quality of gluten, the falling number, dough stability, liquefaction, water absorption of 20 samples of wheat flour of laboratory and industrial grinding. The results of the study showed that the amount of damaged starch in industrial milled flour was higher, and amounted to 20–27 UCD (average 24 UCD) versus 15–21 (average 18 UCD) in laboratory milled flour. A correlation was found only in industrial milling flour between damaged starch and the falling number (0.632), liquefaction (0.781) and water absorption (0.690). In industrial flour, with an increase in the amount of damaged starch, there was an increase in water absorption and liquefaction of the dough, which is consistent with the literature data; there was no clear decrease in dough stability. In the flour of laboratory grinding, the dependences between the indicators are insignificant.

Keywords: damaged starch, flour, laboratory grinding, industrial grinding, gluten, falling number, rheological properties of dough

Для цитирования

Мелешкина Е.П., Коломиец С.Н., Жильцова Н.С. Количество повреждённого крахмала в муке лабораторного и производственного помолов // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 67–73. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-67-7373

For citation

Meleshkina E.P., Kolomiets S.N., Zhiltsova N.S. Amount of damaged starch in laboratory and production grinding flour. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 67–73. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-67-73

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

Введение

Крахмал ($C_6H_{10}O_5$)_n – основной запасной углевод растений, состоящий из двух типов полисахаридов – линейной амилозы (от греч. *ámylon* – крахмал) и разветвлённого амилопектина (от греч. *ámylon* – крахмал, *pēktes* – сбитый, сплочённый). Образуется в хлоропластах и амилопластах, откладывается в клетках в виде крахмальных зёрен, форма и размеры которых специфичны для определённых видов растений [1]. Крахмал является наиболее распространённым углеводом в рационе человека и содержится во многих основных продуктах питания. Главными источниками крахмала в мире являются зерновые культуры: рис, пшеница, кукуруза; различные корнеплоды, в том числе картофель, а также маниок. Гранулы крахмала имеют различную форму такую как овальная, сферическая, линзовидная и угловатая, а их распределение по размерам может быть одно-, двух- или полимодальным [16]. Вид крахмальных зёрен под микроскопом представлен на рисунке 1.

Пшеничная мука содержит 75–80% крахмала [1], его состояние и свойства частично влияют на характеристики теста и качество готовых изделий. Количество повреждённого крахмала в муке имеет большое значение, так как отражает как состояние эндосперма зерна, так и степень механического воздействия валков мельницы [2, 3, 5, 10, 22]. Измерение этого количества позволяет своевременно заменять вальцы мельницы, экономить электроэнергию, контролировать качество и водопоглощательную способность муки [2].

Повреждённый крахмал является важным параметром для оценки качества муки, используемой в производстве хлебобулочной и кондитерской продукции. Степень механического повреждения крахмальных зёрен в следствии их уменьшенного размера, оказывает большое влияние на реологию теста, чем больше они механически повреждены, чем больше площадь их поверхности, и тем больше адсорбируется вода [16], (рисунок 2). Количество разрушенного крахмала в российской муке может достигать 25–40 UCD, в европейской муке эти данные не превышают 10–17 UCD [8, 11, 12]. Нормой содержания повреждённого крахмала в пшеничной муке зольностью 0,55%, что соответствует муке высшего сорта – 14–20 UCD или 5–9%. Для муки с зольностью более 0,65%, что соответствует муке 1-го сорта, – 21–24 UCD [14].

Повреждённый крахмал поглощает в 4 раза больше воды, чем неповреждённый крахмал, который поглощает только около 40% собственного веса [4, 5, 10]. Увеличение содержания повреждённого крахмала в муке приводит к увеличению водопоглощения, примерно 0,5% гидратации на каждый дополнительный UCD – единицу измерения Шопен-Дюбуа. Упруго-эластичные свойства теста характерные для липкого теста, высокий уровень поглощения воды, более длительный период предварительной расстойки, потемневшая корка хлеба с красноватым оттенком – это некоторые из результатов влияния повреждённого крахмала [4, 6, 10, 12, 15, 17–18, 20].

Обеспечение баланса объёма воды при замесе содержанием белка в муке, объёмом повреждённого крахмала и активностью альфа-амилазы – залог выработки мучной продукции высокого качества. Эти значения отличаются в зависимости от способов приготовления хлеба: при ускоренных технологиях приготовления хлеба влияние повреждённого крахмала меньше, чем при традиционных, длительных [6]. При несоблюдении баланса между водопоглощением и стабильностью теста могут появиться следующие проблемы: при дефиците водопоглощения не будет достигнут достаточный объём продукта, при избыточном водопоглощении возможна нестабильность реологических свойств теста в части соотношения упруго-эластичных характеристик, также возможны более интенсивное брожение, изменённый окрас корки хлеба, разломы и крошковатость готового печенья, сокращение срока годности готового мучного продукта [7, 10, 13, 21]. Для муки с очень мелкой крупностью характерна фаринограмма с коротким временем (до 2 мин) образования теста (резким подъём кривой) и низкой устойчивостью теста (менее 9 мин), что говорит о пониженной вязкости теста и сильном его разжижении, и, следовательно, о низких реологических свойствах теста и хлебопекарных свойствах муки [8]. Также в муке тонкого помола наблюдается увеличение количества разрушенного крахмала, который доступен для воздействия амилаз и дрожжей. В связи с этим большое значение для хлебопёков имеет определение показателя числа падения (ЧП). Для повышения показателя ЧП для торможения процесса брожения в готовую муку вносят добавки, как правило, это ингибиторы зерновых амилаз. Для снижения ЧП в муку добавляют солодовые амилазы [19].

Из анализа литературы установлены нормы уровня повреждённого крахмала по целевому назначению, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1.
Уровень повреждённого крахмала по целевому назначению муки [3, 4, 6, 8]

Table 1.
The level of damaged starch according to the intended purpose of flour [3, 4, 6, 8]

Целевое назначение муки Purpose of flour	UCD
Французский тип хлеба (багет) French type of bread (baguette)	(17–19) [4] (16–20) [6]
Формовой хлеб shaped bread	(19–24) [3] (19–21) [4] (19–23) [6]
Плоский хлеб flat bread	(17–20) [3]
Лепёшка Cake	(21–24) [4]
Печенье бисквиты biscuit cookies	(14–16) [4, 6]
Крекер Cracker	(16–19) [3]
Лапша Noodles	(15–18) [3]

При 25–40 UCD резко сокращается межсервисный интервал работы валов и их срок службы. Качество продукции резко снижается [8].

At 25–40 UCD, the service interval of the shafts and their service life are sharply reduced. Product quality is drastically reduced [8].

Материалы и методы

В работе исследовали 20 образцов муки лабораторного и производственного помолов. Лабораторные помолы проводили на лабораторной мельнице МЛУ 202 Бюлер с выходом муки 70% ($\pm 2\%$). Определяли показатели: количество повреждённого крахмала – по ГОСТ ISO 17715–2015 «Мука из мягкой пшеницы. Амперометрический метод определения повреждённого крахмала» [9]. Принцип измерения на анализаторе количества повреждённого крахмала основан на поглощении молекул йодида калия в перемешанной суспензии молекулами повреждённого крахмала (рисунок 3).

Реологические свойства теста определяли на фаринографе – по ГОСТ ISO 5530–1–2013 «Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Определение водопоглощения и реологических свойств с применением фаринографа». В таблице 2 представлены показатели количества повреждённого крахмала в муке и реологических свойств теста.

Результаты и обсуждение

Анализ полученных данных (таблица 2) свидетельствует, что мука лабораторного помола характеризовалась в среднем пониженными показателями: водопоглотительной способностью – в среднем на 5,3% по сравнению с водопоглощением муки производственного помола, количеством разрушенного крахмала – в среднем на 6 единиц UCD по сравнению с мукой производственного помола, что указывает на более крупный помол муки. Данные производственного помола указывают на чрезмерно измельчённое сырьё.

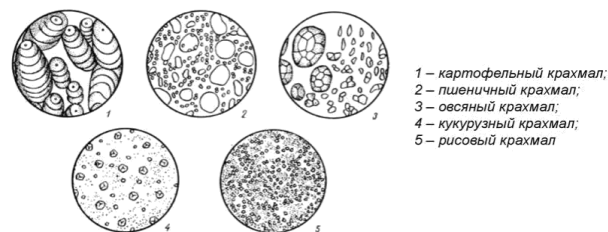


Рисунок 1. Вид крахмальных зёрен под микроскопом [23]

Figure 1. View of starch grains under a microscope [23]

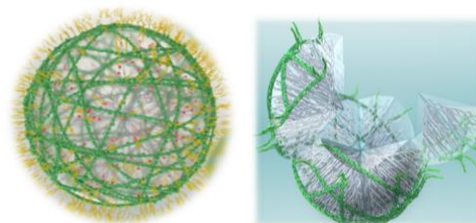


Рисунок 2. Вид крахмального зерна: неповреждённого и повреждённого [24]

Figure 2. Type of starch grain: intact and damaged [24]

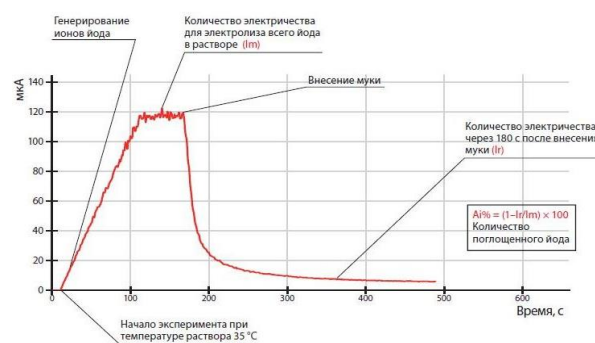


Рисунок 3. Принцип измерения на анализаторе количества повреждённого крахмала

Figure 3. Type of starch grain: intact and damaged

Расчёт парной линейной связи между показателями количества повреждённого крахмала в муке и количеством и качеством клейковины, числом падений, реологическими показателями (устойчивость теста, разжижение и водопоглощение) представлен в таблице 3 и выявил следующее: при статистической обработке экспериментальных данных методом корреляционного анализа установлены значимые зависимости по муке производственного помола от содержания крахмала таких показателей как число падений (0,632), разжижение теста (0,781) и водопоглощение (0,690).

По муке лабораторного помола наличие тесных связей между данными показателями не установлено.

Таблица 2.

Показатели количества повреждённого крахмала, количества и качества клейковины, число падения и реологические показатели теста в муке лабораторного и производственного помолов

Table 2.

Indicators of the amount of damaged starch, the quantity and quality of gluten, the number of falls and the rheological parameters of the dough in the flour of laboratory and industrial grinding

Шифр пробы sample code	*UCD	Количество клейковины, % Gluten quantity, %	Качество клейковины Gluten quality,		Число падения, с Fall- number, s	Устойчивость теста, мин Stability, min	Разжижение теста, EB Degree liquefaction EV	Водо- поглощение, % Water absorption, %
			ед. ИДК units IDK	группа group				
Мука лабораторного помола Laboratory ground flour								
16–21	15	33,5	67	I хорошая	502	11,5	105	64,7
6–21	15	23,2	41	II удовл. крепкая	470	8,0	60	57,0
8–21	16	23,1	45	II удовл. крепкая	447	10,5	75	58,8
4–21	17	33,3	58	I хорошая	414	15,0	80	61,2
10–21	17	34,0	83	II удовл. слабая	357	5,5	170	63,7
17–21	18	25,1	30	II удовл. крепкая	212	12,5	120	59,6
28–21	19	27,4	62	I хорошая	429	11,0	60	58,9
3–21	20	24,7	42	II удовл. крепкая	416	8,5	90	56,5
30–21	21	29,7	66	I хорошая	415	12,5	70	59,4
2–21	21	28,3	51	II удовл. крепкая	412	10,5	70	61,6
Среднее значение Mean	18	28,2	55		407	10,5	90	60,1
Мука производственного помола Flour of production grinding								
193	20	28,0	60	I хорошая	351	10,0	75	63,6
184	22	22,6	44	II удовл. крепкая	290	10,5	91	63,5
194	23	25,5	53	I хорошая	306	10,5	80	66,7
188	23	26,7	57	I хорошая	294	5,0	76	64,3
186	23	24,7	50	II удовл. крепкая	294	6,0	84	63,2
152	24	25,1	54	I хорошая	270	10,5	90	66,4
196	24	27,4	58	I хорошая	335	6,5	70	66,6
189	25	29,7	50	II удовл. крепкая	285	8,0	102	67,3
187	26	27,6	40	II удовл. крепкая	280	10,0	120	66,2
185	27	26,9	46	II удовл. крепкая	282	8,0	120	66,4
Среднее значение Mean	24	26,4	51		299	8,5	91	65,4

* UCD – единица повреждённого крахмала с учётом влажности и белка

* UCD – unit of damaged starch, taking into account moisture and protein

* UCD – единица повреждённого крахмала с учётом влажности и белка

* UCD – unit of damaged starch, taking into account moisture and protein

Таблица 3.

Коэффициенты корреляции между показателями количества и качества клейковины, числом падения, реологическими показателями теста и количеством повреждённого крахмала в муке лабораторного и производственного помолов (значимый коэффициент корреляции 0,576 и более)

Table 3.

Correlation coefficients between indicators of quantity and quality of gluten, falling number, rheological indicators of dough and the amount of damaged starch in flour of laboratory and industrial grinding (significant correlation coefficient of 0.576 and more)

Показатели Indicators	Количество клейковины, % Gluten quantity, %	Качество клейковины, ед. ИДК Качество клейковины Gluten quality, units IDK	Число падения, с Fall-number, s	Устойчивость теста, мин Stability, min	Разжижение теста, ЕВ Degree liquefaction EV	Водо- поглощение, % Water absorption, %
Мука лабораторного помола Laboratory ground flour						
*UCD	-0,052	-0,011	-0,267	0,137	-0,207	-0,229
Мука производственного помола Flour of production grinding						
*UCD	0,298	-0,570	0,632	-0,132	0,781	0,690

Заключение

Сравнительный анализ двух видов муки (лабораторного и производственного помолов) показал, что мука производственного помола содержала повышенное количество повреждённого крахмала, что согласуется с литературными данными. У всех проб муки производственного помола показатель UCD был выше 19 единиц, по целевому назначению такую муку используют для производства формового хлеба. Мука лабораторного помола имела более широкий предел значений показателя UCD, три пробы (16–21, 6–21 и 8–21) из 10-ти имели количество повреждённого крахмала от 15 до 16 UCD, что говорит о возможности использования этих проб на изготовление печенья, в том числе крекера; четыре пробы со значением UCD от 17 до 19 – на изготовление французского типа хлеба (багет)

и лапши и три пробы муки со значением UCD выше 20 единиц – на изготовление формового хлеба. Т.е. мука лабораторного помола имеет более широкое целевое назначение.

Увеличение количества повреждённого крахмала приводит к увеличению водопоглощения; снижению устойчивости теста, увеличению разжижения. Повреждённый крахмал воздействует на весь технологический процесс, что очень важно при производстве хлеба.

Работа по изучению количества повреждённого крахмала в муке нуждается в дальнейшей проработке на большем количестве проб муки с широким диапазоном качества для установления уточнённых его норм по целевому использованию, т. к. данных недостаточно, а имеющиеся данные несколько разнятся, данный вопрос в России в настоящее время изучен недостаточно.

Литература

- 1 Большой энциклопедический словарь Сельское хозяйство. М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. 656 с.
- 2 Barrera G.N., Bustos M.C., Iturriaga L., Flores S.K. et al. Effect of damaged starch on the rheological properties of wheat starch suspensions // *Journal of Food Engineering*. 2013. V. 116. №. 1. P. 233-239. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2012.11.020
- 3 Ma S., Li L., Wang X.X., Zheng X.L. et al. Effect of mechanically damaged starch from wheat flour on the quality of frozen dough and steamed bread // *Food Chemistry*. 2016. V. 202. P. 120-124. doi:10.1016/j.foodchem.2016.01.075
- 4 Asmeda R., Noorlaila A., Norziah M.H. Relationships of damaged starch granules and particle size distribution with pasting and thermal profiles of milled MR263 rice flour // *Food chemistry*. 2016. V. 191. P. 45-51. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.05.095
- 5 Равшанов С.С., Мирзаев Д.Д. Влияние размера частиц муки, мелких и механически поврежденных зерен крахмала на функциональные свойства муки пшеничной хлебопекарной // *Universum: технические науки*. 2023. №. 1-3 (106). С. 42-46.
- 6 Struyf N., Laurent J., Lefevre B., Verspreet J. et al. Establishing the relative importance of damaged starch and fructan as sources of fermentable sugars in wheat flour and whole meal bread dough fermentations // *Food chemistry*. 2017. V. 218. P. 89-98. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.09.004
- 7 Анализ повреждённого крахмала с помощью прибора SD-A. URL: <https://erkaya.ru/analiz-krahmala/>
- 8 Секреты европейских мукомолов. URL: <https://enzoway.ru/articles/sekrety-evropeyskikh-mukomolov/>
- 9 ГОСТ ISO 17715–2015. Мука из мягкой пшеницы. Амперометрический метод определения повреждённого крахмала. Москва: Стандартинформ, 2016. 11 с.
- 10 Русяков В.А. Влияние поврежденности крахмальных гранул и бактериальной альфа-амилазы на хлебопекарные показатели муки // *Актуальные исследования*. 2023. № 5 (135). С. 39–44. URL: <https://apni.ru/article/5537-vliyanie-povrezhdennosti-krakhmalkh-granul>
- 11 Кузьмина С.С., Козубаева Л.А. Реологическое поведение теста из смеси пшеничной и ореховой муки // *Ползуновский вестник*. 2022. № 1. С. 7–14.
- 12 Кузьмина С.С., Козубаева Л.А., Егорова Е.Ю. Эффективность применения дезинтегратора в мукомольном производстве // *Ползуновский вестник*. 2022. № 3. С. 43–49.
- 13 Дремучева Г.Ф., Носова М.В. Результаты исследований хлебопекарных свойств пшеничной муки с использованием реоферментометра // *ХИПС*. 2021. № 3. С. 105–114.
- 14 Петриченко В.В., Путилина С.А., Strubbe B. Вся правда о свежести // *Хлебопродукты*. 2021. № 1. С. 22–25.
- 15 Vogel C., Scherf K. A., Koehler P. Effects of thermal and mechanical treatments on the physicochemical properties of wheat flour // *European Food Research and Technology*. 2018. V. 244. №. 8. P. 1367-1379. doi: 10.1007/s00217-018-3050-3
- 16 Horstmann S.W., Lynch K.M., Arendt E.K. Starch characteristics linked to gluten-free products // *Foods*. 2017. V. 6. №. 4. P. 29. doi: 10.3390/foods6040029
- 17 Sakhare S.D., Inamdar A.A., Indrani D., Madhu Kiran M.H. et al. Physicochemical and microstructure analysis of flour mill streams and milled products // *Journal of Food Science and Technology*. 2015. V. 52. P. 407-414. doi: 10.1007/s13197-013-1029-4.
- 18 Tapan N.A., Günay M.E., Yıldırım N. Application of Machine Learning for the Determination of Damaged Starch Ratio as an Alternative to Medcalf and Gilles Principle // *Food Analytical Methods*. 2023. V. 16. №. 3. P. 604-614. doi: 10.1007/s12161-022-02442-9
- 19 Barrera G.N., Tadini C.C., León A.E., Ribotta P.D. Use of alpha-amylase and amyloglucosidase combinations to minimize the bread quality problems caused by high levels of damaged starch // *Journal of food science and technology*. 2016. V. 53. P. 3675-3684. doi: 10.1007/s13197-016-2337-2

- 20 Rosell C.M. Georgios Angelidis, Styliani Protonotariou, Ioanna Mandala & // J Food Sci Technol. 2016. V. 53. P. 784-791. doi: 10.1007/s13197-015-1990-1
- 21 Barrera G.N. Pérez, G.T., Ribotta P.D., León A.E. Influence of damaged starch on cookie and bread-making quality // European Food Research and Technology. 2007. V. 225. P. 1-7. doi: 10.1007/s00217-006-0374-1
- 22 Barak S., Mudgil D., Khatkar B.S. Effect of flour particle size and damaged starch on the quality of cookies // Journal of food science and technology. 2014. V. 51. P. 1342-1348. doi: 10.1007/s13197-012-0627-x
- 23 Классификация и ассортимент крахмала. URL: <https://studfile.net/preview/4618441/page:50/>
- 24 Петриченко В.В., Strubbe B, Шаззо А.Ю. Клейковина или протеин? 2021. URL: <https://enzoway.ru/articles/kleykovina-ili-protein/>

References

- 1 Large encyclopedic dictionary Agriculture. M.: Great Russian Encyclopedia, 1998. 656 p.(in Russian).
- 2 Barrera G.N., Bustos M.C., Iturriaga L., Flores S.K. et al. Effect of damaged starch on the rheological properties of wheat starch suspensions. Journal of Food Engineering. 2013. vol. 116. no. 1. pp. 233-239. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2012.11.020
- 3 Ma S., Li L., Wang X.X., Zheng X.L. et al. Effect of mechanically damaged starch from wheat flour on the quality of frozen dough and steamed bread. Food Chemistry. 2016. vol. 202. pp. 120-124. doi:10.1016/j.foodchem.2016.01.075
- 4 Asmeda R., Noorlaila A., Norziah M.H. Relationships of damaged starch granules and particle size distribution with pasting and thermal profiles of milled MR263 rice flour. Food chemistry. 2016. vol. 191. pp. 45-51. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.05.095
- 5 Ravshanov S.S., Mirzaev D.D. The influence of flour particle size, small and mechanically damaged starch grains on the functional properties of wheat baking flour. Universum: technical sciences. 2023. no. 1-3 (106). pp. 42-46. (in Russian).
- 6 Struyf N., Laurent J., Lefevre B., Verspreet J. et al. Establishing the relative importance of damaged starch and fructan as sources of fermentable sugars in wheat flour and whole meal bread dough fermentations. Food chemistry. 2017. vol. 218. pp. 89-98. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.09.004
- 7 Analysis of damaged starch using the SD-A device. Available at: <https://erkaya.ru/analyz-krahmala/> (in Russian).
- 8 Secrets of European flour millers. Available at: <https://enzoway.ru/articles/sekrety-evropeyskikh-mukomolov/> (in Russian).
- 9 GOST ISO 17715-2015. Soft wheat flour. Amperometric method for determining damaged starch. Moscow, Standartinform, 2016. 11 p. (in Russian).
- 10 Ruslyakov V.A. The influence of damage to starch granules and bacterial alpha-amylase on the baking performance of flour. Current research. 2023. no. 5 (135). pp. 39-44. Available at: https://apni.ru/article/5537_vliyanie-povrezhdennosti-krakhmalki-granul (in Russian).
- 11 Kuzmina S.S., Kozubaeva L.A. Rheological behavior of dough from a mixture of wheat and nut flour. Polzunovsky Bulletin. 2022. no. 1. pp. 7-14. (in Russian).
- 12 Kuzmina S.S., Kozubaeva L.A., Egorova E.Yu. Efficiency of using a disintegrator in flour milling production. Polzunovsky Bulletin. 2022. no. 3. pp. 43-49. (in Russian).
- 13 Dremucheva G.F., Nosova M.V. Results of studies of the baking properties of wheat flour using a rheoenzyme meter. HIPS. 2021. no. 3. pp. 105-114. (in Russian).
- 14 Petrichenko V.V., Putilina S.A., Strubbe B. The whole truth about freshness. Bread products. 2021. no. 1. pp. 22-25. (in Russian).
- 15 Vogel C., Scherf K. A., Koehler P. Effects of thermal and mechanical treatments on the physicochemical properties of wheat flour. European Food Research and Technology. 2018. vol. 244. no. 8. pp. 1367-1379. doi: 10.1007/s00217-018-3050-3
- 16 Horstmann S.W., Lynch K.M., Arendt E.K. Starch characteristics linked to gluten-free products. Foods. 2017. vol. 6. no. 4. pp. 29. doi: 10.3390/foods6040029
- 17 Sakhare S.D., Inamdar A.A., Indrani D., Madhu Kiran M.H. et al. Physicochemical and microstructure analysis of flour mill streams and milled products. Journal of Food Science and Technology. 2015. vol. 52. pp. 407-414. doi: 10.1007/s13197-013-1029-4
- 18 Tapan N.A., Günay M.E., Yıldırım N. Application of Machine Learning for the Determination of Damaged Starch Ratio as an Alternative to Medcalf and Gilles Principle. Food Analytical Methods. 2023. vol. 16. no. 3. pp. 604-614. Doi 10.1007/s12161-022-02442-9
- 19 Barrera G.N., Tadini C.C., León A.E., Ribotta P.D. Use of alpha-amylase and amyloglucosidase combinations to minimize the bread quality problems caused by high levels of damaged starch. Journal of food science and technology. 2016. vol. 53. pp. 3675-3684. doi: 10.1007/s13197-016-2337-2
- 20 Rosell C.M. Georgios Angelidis, Styliani Protonotariou, Ioanna Mandala &. J Food Sci Technol. 2016. vol. 53. pp. 784-791. doi: 10.1007/s13197-015-1990-1
- 21 Barrera G.N. Pérez, G.T., Ribotta P.D., León A.E. Influence of damaged starch on cookie and bread-making quality. European Food Research and Technology. 2007. vol. 225. pp. 1-7. doi: 10.1007/s00217-006-0374-1
- 22 Barak S., Mudgil D., Khatkar B.S. Effect of flour particle size and damaged starch on the quality of cookies. Journal of food science and technology. 2014. vol. 51. pp. 1342-1348. doi: 10.1007/s13197-012-0627 x
- 23 Classification and assortment of starch. Available at: <https://studfile.net/preview/4618441/page:50/> (in Russian).
- 24 Petrichenko V.V., Strubbe B, Shazzo A.Yu. Gluten or protein? 2021. Available at: <https://enzoway.ru/articles/kleykovina-ili-protein/> (in Russian).

Сведения об авторах

Елена П. Мелешкина д.т.н., директор, ВНИИЗ – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Дмитровское шоссе, 11, г. Москва, 127434, Россия, e.meleshkina@fncps.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-1339-7150>

Светлана Н. Коломиец к.с.-х.н., отдел безопасности и качества зерна и зернопродуктов, ВНИИЗ – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Дмитровское шоссе, 11, г. Москва, 127434, Россия, s.kolomiets@fncps.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3130-2285>

Наталья С. Жильцова ведущий инженер-исследователь, отдел безопасности и качества зерна и зернопродуктов, ВНИИЗ – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Дмитровское шоссе, 11, г. Москва, 127434, Россия, n.zhiltsova@fncps.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3436-6049>

Вклад авторов

Елена П. Мелешкина консультация в ходе исследования
Светлана Н. Коломиец написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Наталья С. Жильцова предложила методику проведения эксперимента

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Elena P. Meleshkina Dr. Sci. (Engin.), director, VNIIZ branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbatova RAS, 11 Dmitrovskoe highway, Moscow, 127434, Russia, e.meleshkina@fncps.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-1339-7150>

Svetlana N. Kolomiets Cand. Sci. (Agric.), safety and quality of grain and grain products department, VNIIZ branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbatova RAS, 11 Dmitrovskoe highway, Moscow, 127434, Russia, s.kolomiets@fncps.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3130-2285>

Natalya S. Zhiltsova lead research engineer, safety and quality of grain and grain products department, VNIIZ branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbatova RAS, 11 Dmitrovskoe highway, Moscow, 127434, Russia, n.zhiltsova@fncps.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3436-6049>

Contribution

Elena P. Meleshkina consultation during the study
Svetlana N. Kolomiets wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Natalya S. Zhiltsova proposed a scheme of the experiment

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 26/06/2023	После редакции 21/07/2023	Принята в печать 16/08/2023
Received 26/06/2023	Accepted in revised 21/07/2023	Accepted 16/08/2023

Механоактивация водных растворов как способ улучшения перемешивания и структурообразования в дисперсных системах

Виктор В. Иванов	1	v-ivanow2013@ya.ru	 0000-0002-4711-9821
Сергей Д. Руднев	2	sdrudnev@yandex.ru	 0000-0003-2506-6121
Дмитрий М. Бородулин	3	borodulin_dmitri@list.ru	 0000-0003-3035-0354
Александра И. Крикун	4	krikun.ai@dgtru.ru	 0000-0002-9330-2555

1 ОАО "КемеровоХлеб", пр-т Кузнецкий, 105, г. Кемерово, 650055, Россия

2 Кемеровский государственный медицинский университет, ул. Ворошилова, д. 22А, г. Кемерово, Кемеровская область, 650056, Россия

3 Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Орликов переулок, д. 1/11, г.Москва, 107139, Россия

4 Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, ул. Луговая, 52 Б, г. Владивосток, 690087, Россия

Аннотация. Процесс приготовления теста – один из самых сложных в технологии производства хлеба. Перемешивание муки с жидкими компонентами (водой, водными растворами) представляет собой сложный процесс поверхностного взаимодействия, связанный с преодолением поверхностной энергии на границе взаимодействия фаз. Интенсивность образования однородной смеси муки и жидких компонентов, в последующем превращаемая в тесто, определяет его структурно-механические свойства. Цель работы – теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение влияния предварительной механической обработки жидких компонентов на процесс перемешивания теста и структурообразования воднодисперсной системы. Проведен теоретический анализ процесса адгезионного взаимодействия сыпучего материала с жидкостью. Показано, что поверхностную энергию на границе взаимодействия с фаз необходимо снижать. Экспериментально установлено, что механическое воздействие на воду и водные растворы снижает поверхностное натяжение на 20–30 %. Установлено, что при перемешивании муки и жидких компонентов теста предварительная механическая обработка дает эффект улучшения смачивания, повышения эластичности и сокращения времени структурообразования в тесте. Удельная мощность при замесе снижается на 15–20 %. При помощи средств реометрии («Rheotest», Структурометр СТ-2, конический пластометр Ребиндера) показано улучшение структурно-механических свойств теста: повышение предельного напряжения сдвига на 20–25 %, снижение адгезии на 30–40 %, возрастание упругих свойств после замеса до 10 %, повышение водосвязывающей способности. Исследования проводились на лабораторном оборудовании и в производственных условиях на предприятиях ОАО «КемеровоХлеб».

Ключевые слова: перемешивание, однородная смесь, структурообразование, механоактивация, водные растворы, поверхностная энергия, адгезия, вязкость, предельное напряжение сдвига, поверхностное натяжение.

Mechanical activation of aqueous solutions as a way to improve mixing and structure formation in dispersed systems

Victor V. Ivanov	1	v-ivanow2013@ya.ru	 0000-0002-4711-9821
Sergey D. Rudnev	2	sdrudnev@yandex.ru	 0000-0003-2506-6121
Dmitry M. Borodulin	3	borodulin_dmitri@list.ru	 0000-0003-3035-0354
Alexandra I. Krikun	4	krikun.ai@dgtru.ru	 0000-0002-9330-2555

1 ОАО KemerovokhleB, 105 Kuznetskiy Ave., Kemerovo, 650055, Russia

2 Kemerovo State Medical University, st. Voroshilova, 22A, Kemerovo, Kemerovo region, 650056, Russia

3 Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Orlikov Lane, 1/11, Moscow, 107139, Russia

4 Far Eastern State Technical Fisheries University, st. Lugovaya, 52 B, Vladivostok, 690087, Russia

Abstract. The process of dough preparation is one of the most complex in bread production technology. Stirring of flour with liquid components (water, aqueous solutions) is a complex process of surface interaction associated with overcoming the surface energy at the interface between phases. The intensity of formation of a homogeneous mixture of flour and liquid components, subsequently transformed into dough, determines its structural and mechanical properties. The aim of the work is theoretical substantiation and experimental confirmation of the influence of preliminary mechanical treatment of liquid components on the process of dough mixing and structure formation of water disperse system. Theoretical analysis of the process of adhesive interaction of bulk material with liquid has been carried out. It is shown that the surface energy at the boundary of interaction with phases should be reduced. It is experimentally established that mechanical action on water and aqueous solutions reduces surface tension by 20-30 %. It is established that at mixing of flour and liquid components of dough the preliminary mechanical treatment gives the effect of improvement of wetting, increase of elasticity and reduction of time of structure formation in dough. The specific power during kneading is reduced by 15-20 %. With the help of rheometry means («Rheotest», Struclurometer ST 2, conical Rebindet plastometer) improvement of structural and mechanical properties of the dough is shown: increase of ultimate shear stress by 20-25 %, decrease of adhesion by 30-40 %, increase of elastic properties after kneading up to 10 %, increase of water-binding capacity. The studies were carried out on laboratory equipment and in production conditions at the enterprises of JSC "KemerovokhleB".

Keywords: mixing, homogeneous mixture, structure formation, mechanoactivation, aqueous solutions, surface energy, adhesion, viscosity, ultimate shear stress, surface tension.

Введение

Хлеб в России – это не просто продукт питания, хлеб стал частью идентичности россиян, определяющей качество жизни. Традиции производства хлеба обоснованы требованиями к постоянству качества готовых изделий, стабильности его потребительских свойств, обусловленных пищевыми предпочтениями человека и национальными особенностями потребления.

Для цитирования

Иванов В.В., Руднев С.Д., Бородулин Д.М., Крикун А.И. Механоактивация водных растворов как способ улучшения перемешивания и структурообразования в дисперсных системах // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 74–83. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-74-83

В настоящее время всё большее значение приобретает идея «бережливого производства», сформулированная еще Генри Фордом и развитая сотрудником компании Toyota Тайити Оно (работал в компании с 1943 года). Важнейшая характерная черта «бережливого производства» – снижение стоимости производства при сохранении стоимости и качества продукта для потребителя.

For citation

Ivanov V.V., Rudnev S.D., Borodulin D.M., Krikun A.I. Mechanical activation of aqueous solutions as a way to improve mixing and structure formation in dispersed systems. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 74–83. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-74-83

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

Процесс приготовления теста – один из самых сложных в технологии производства хлеба. Перемешивание муки, удельная поверхность которой составляет 280–350 м²/кг, с жидкими компонентами (водой, водными растворами), когда количество вносимой влаги составляет менее 700 мл на 1 кг муки, представляет собой сложный процесс поверхностного взаимодействия, связанный с преодолением поверхностной энергии на границе взаимодействия фаз. Интенсивность образования однородной смеси муки и жидких компонентов, в последующем превращаемая в тесто, определяет его структурно-механические свойства. Исследователями (И.В. Матвеева, Л.Ю. Лаврова, Н.В. Сокол, Е.Ю. Егорова, Е.И. Пономарева и другие) [1–6] изучалось влияние добавок на структурно-механические свойства теста и качество хлеба. Применяли поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые влияли на процесс перемешивания и образования однородной смеси. Тесто с добавками отличается улучшенными деформационными характеристиками (эластичность, газодерживающая способность и пр.), но экономически не выгодно и могут использоваться преимущественно для специальных видов продукции. В качестве улучшителей теста применяли ферменты, которые воздействовали на белково-углеводный комплекс теста, что повышало не только пищевые, но и структурно-механические показатели. Современным направлением можно считать электроактивирование водных растворов.

Однако вышеперечисленные методы либо изменяют состав продукта, либо изменяют его традиционное качество. Влияние предварительных механических воздействий на компоненты теста и, в первую очередь, на водные растворы, перед их механическим соединением с мукой, изучено, на наш взгляд, недостаточно.

В научно-технической литературе широко освещены особенности процесса механохимической активации твердофазных дисперсных систем [7–10]. Активация выражается в значительном повышении кинетики массообменных процессов на границе взаимодействия фаз, особенно в системах Т-Ж. Происходит ускорение процессов адсорбции, растворения, экстракции и прочих. Сущность механоактивации твердых тел заключается в разрыве некоторого количества межмолекулярных связей как внутри материала, так и на его поверхности при образовании новой поверхности при разрушении (или образовании трещин), сдвиге в объеме материала, деформаций поверхности (как упругих, так и пластических), трении о поверхность тел и прочее. Для материалов, относящихся к неньютоновским жидкостям

и проявляющим тиксотропию (обратимую и необратимую) при сдвиге в их слоях также можно применить термин «механохимическая активация», поскольку ускоряются массообменные процессы в таких средах [11–13]. Известно также, что время, когда материал механоактивирован, ограничено и зависит от многих факторов.

В последнее время исследователи обратили внимание на характерные изменения структуры воды и водных растворов под воздействием механических воздействий – перемешивания [14–17]. Изучались изменения в структуре дистиллированной воды, [18, 19] суспензий с цементным вяжущим, [20] эмульсии технологических жидкостей и буровых растворов [21, 22] и пр. Процесс взаимодействия механоактивированной воды и сыпучего материала, а также влияние предварительной механической подготовки воды и ее растворов, на наш взгляд, изучены недостаточно.

Цель работы – теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение влияния предварительной механической обработки жидких компонентов на процесс перемешивания теста и структурообразование воднодисперсной системы.

Методы

В аналитической части проведены теоретические исследования процесса поверхностных контактов «жидкость–твердое (сыпучее) тело» с применением основных уравнений термодинамики. Процесс поверхностного взаимодействия описывает равенство Юнга:

$$\sigma_T = \sigma_{ТЖ} + \sigma_{Ж} \cos \varphi, \text{ Дж} \quad (1)$$

где σ_T – поверхностная энергия твердого тела, Дж; $\sigma_{Ж}$ – поверхностная энергия жидкости, Дж; $\sigma_{ТЖ}$ – поверхностная энергия на межфазной границе Т-Ж, Дж; $\cos \varphi$ – косинус видимого угла смачивания. Работу поверхностного взаимодействия (адгезия) на границе Т-Ж показывает уравнение Дюпре:

$$W_A = \sigma_T + \sigma_{Ж} - \sigma_{ТЖ}, \text{ Дж} \quad (2)$$

где W_A – работа адгезии в обратимом процессе, Дж.

Соотношение (1) и (2) дает зависимость для работы адгезии:

$$W_A = \sigma_{Ж} (1 + \cos \varphi), \text{ Дж} \quad (3)$$

Удельная обратимая работа когезии W_K :

$$W_K = 2\sigma_{Ж}, \text{ Дж} \quad (4)$$

Отношение работ адгезии и когезии

$$W_A/W_K = (\cos \varphi + 1)/2, \quad (5)$$

откуда следует, что стремление φ к нулю обеспечит максимальное смачивание, а значения энергий W_A и W_K должны стремиться друг к другу.

Разница между W_A и W_K дает коэффициент растекания S :

$$S = W_A - W_K = \sigma_{ж} (\cos \varphi + 1) 2\sigma_{жГ}, \text{ Дж} \quad (6)$$

Энергия взаимодействия на границе «твердое тело – жидкость» иллюстрируется рисунком 1.

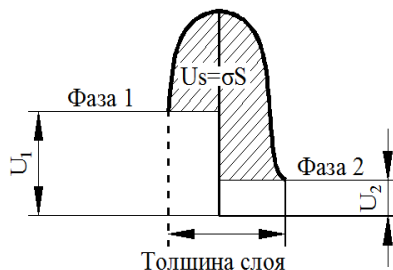


Рисунок 1. Сгущение энергии на границе взаимодействия «твердое тело – жидкость»

Figure 1. Energy densification at the boundary of solid-liquid interaction

Из вышеизложенного следует, что поверхностную энергию взаимодействия $\sigma_{ТЖ}$ необходимо снижать каким-либо способом и при этом:

$$\sigma_T > \sigma_{ж}, \text{ Дж} \quad (7)$$

Если же силы отталкивания на поверхности взаимодействия «субстрат–адгезив» высоки, то простейшим способом может быть повышение механической энергии перемешивания компонентов для преодоления этих сил. Но есть другой подход – снижение поверхностной энергии жидкости механоактивацией. Исследователями показано, что любое внешнее воздействие на жидкость приводит к изменению ее свойств. Сдвиг в слоях жидкости приводит к разрушению внутренних связей, накоплению внутренней энергии. Такой процесс можно идентифицировать как механоактивацию, поскольку происходит изменение как внутренней энергии в дисперсной системе, так и поверхностного натяжения на границе Ж-Г. Таким образом, энергия активации жидкости – это энергия, затраченная на сдвиговые деформации в ней.

Основываясь на этом предположении, можно записать:

$$E_a = E - E_o, \text{ Дж} \quad (8)$$

где E_a – энергия механоактивации жидкости, Дж; E_o – внутренняя энергия до механоактивации, Дж; E – внутренняя энергия механоактивированной жидкости, Дж.

Рассмотрим сдвиговое течение жидкости с постоянной (ньютоновской) вязкостью. Линейный закон вязкого течения Ньютона можно записать в виде

$$dF = \eta \frac{dv}{dx} dS, \quad (9)$$

где dF – сила внутреннего трения на элементарной площадке, Н; η – коэффициент динамической вязкости, Па·с; dv/dx – градиент скорости движения слоев в направлении, перпендикулярном к поверхности слоев (скорость сдвига); dS – площадь элементарной площадки, м².

Представим через кинематическую вязкость силу внутреннего трения в жидкости:

$$dF = \frac{\eta}{\rho} \cdot \frac{d(v)}{dx} dS = \nu \frac{d(v)}{dx} dS, \text{ Н} \quad (10)$$

где ρ – плотность вещества, кг/м³; ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с.

В термодинамическом аспекте коэффициент вязкости есть мера диссипации механической энергии или мера рассеяния в тепло механической энергии движущейся жидкости. Эту энергию можно трактовать как работу механоактивации жидкости, представим её выражением:

$$A_{ma} = \frac{dFR_{np}}{\omega} = \frac{\eta}{\rho} \frac{d(v)}{\omega dx} dS = \nu \frac{d(v)}{\omega dx} dS, \text{ Дж} \quad (11)$$

где ω – угловая скорость вращения механоактиватора, с⁻¹.

Определение удельной обратимой работы когезии W_K (выражение 4) и (11) дают в совокупности математическую модель работы механоактивации воды.

Работа dA по изменению поверхности когезионного взаимодействия в жидкости на dS совершается за счет изменения потенциальной энергии dW_{ps} :

$$dA = dW_{ps} = \sigma_{жс} dS, \quad (12)$$

Таким образом, работа, затрачиваемая на перемешивание, тождественна работе механоактивации и по своей природе является работой преодоления сил когезии в материале (выражение 4).

В экспериментальной части работы использовались следующие материалы: мука пшеничная первого сорта с показателями по ГОСТ 26574–2017; вода питьевая по СанПиН 2.1.4.107–01.

Для экспериментальных исследований применялись: структурометр СТ-2, анализатор влажности МХ-50, прибор измерения вязкости «Реотест», конический пластометр Ребиндера, метод капиллярного поднятия для определения поверхностного натяжения жидкости с использованием капилляра диаметром 0,6 мм. Перемешивание водных растворов и теста проводили в экспериментальной установке, включающей миксер бытовой Gemlux с процессной емкостью

3 литра и дискретным переключением скоростей вращения мешалки. В качестве мешалки для водных растворов использовали венчиковую насадку, применяемую для взбивания. При перемешивании теста применяли якорную мешалку с планетарным движением. Мощность перемешивания регистрировалась ваттметром и показания которого фиксировались видеосъемкой и оформлялись в таблицах.

Результаты и обсуждение

Проведена серия экспериментов по изучению влияния перемешивания на поверхностную энергию воды и водных растворов. Получали зависимости параметров от времени перемешивания воды и при разной частоте перемешивания (100 и 180 оборотов в минуту).

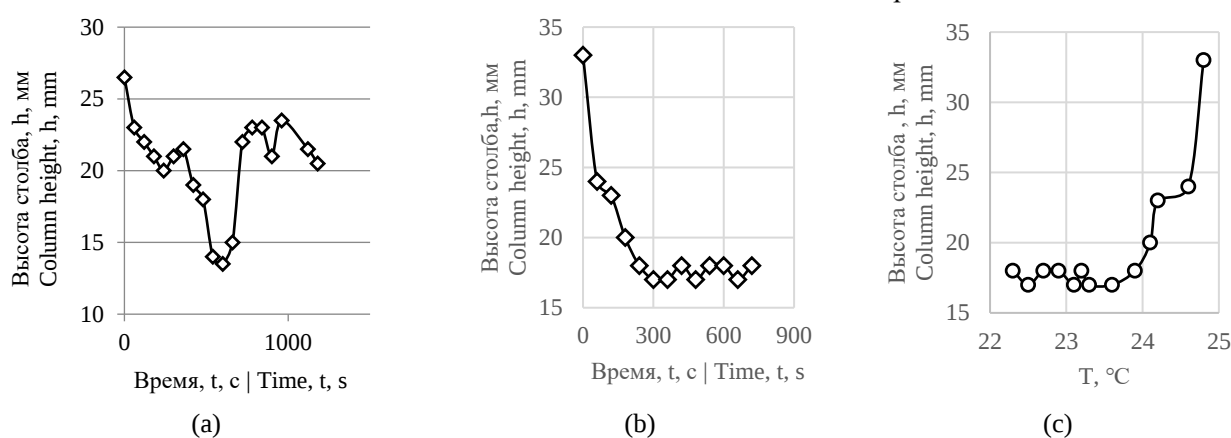


Рисунок 2. Зависимости высоты (h) столба воды в капилляре 0,6 мм от времени перемешивания: (а) – перемешивание дистиллированной воды при частоте 100 мин⁻¹; (б) – перемешивание питьевой бутилированной воды при частоте 100 мин⁻¹; (с) – зависимость высоты подъема воды в капилляре от ее температуры при перемешивании, мм

Figure 2. Dependences of height (h) of water column in 0.6 mm capillary on stirring time: (a) - stirring of distilled water at frequency 100 min⁻¹; (b) - stirring of drinking bottled water at frequency 100 min⁻¹; (c) - dependence of height of water rise in capillary on its temperature during stirring, mm

На графике (рисунок 2 в) показана зависимость высоты столба в капилляре от температуры воды, изменяющейся при перемешивании. Как видно, для механоактивированной воды понижение температуры не дает эффект повышения поверхностного натяжения. Как долго сохраняется пониженная поверхностная энергия воды после механической активации показывает график на рисунке 3. Для дистиллированной воды достаточно одной минуты для восстановления свойств, характерных состоянию покоя.

Сделан вывод, что использовать механоактивированную воду для технологических процессов нужно в течение ближайших 60 с. Время, достаточное для механоактивации – до 120 с.

Исследовались поверхностные свойства растворов воды, применяемых при замесе теста в производстве. Для составления растворов использовались соотношения, соответствующие хлебопекарному тесту для производства хлеба «Кемеровский».

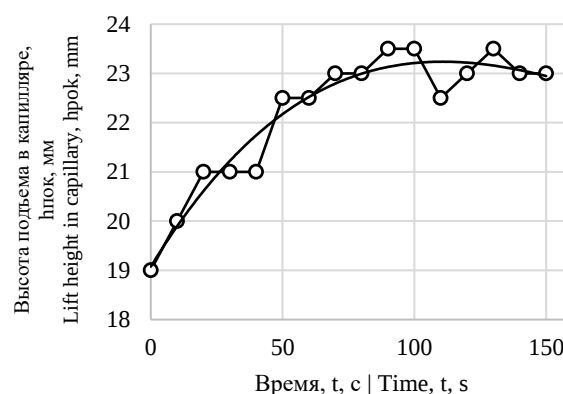


Рисунок 3. Зависимость высоты столба воды дистиллированной в капилляре 0,6 мм от времени после механоактивации в состоянии покоя

Figure 3. Dependence of distilled water column height in a 0.6 mm capillary on time after mechanoactivation in the resting state

На рисунке 4а представлены результаты измерений высоты подъема раствора NaCl в капилляре диаметром 0,6 мм. Поверхностное натяжение для раствора соли падает значительно быстрее по сравнению с водой дистиллированной. Минимум достигается через 120–180 с перемешивания. А через 120 с поверхностная энергия снижается уже на 30%.

Исследовали поверхностные свойства 1%-го раствора муки при перемешивании. Результаты измерений показаны на рисунке 4б. Высота столба раствора в капилляре в начале процесса резко падает, снижаясь в первые 60 с

на 40%, затем немного увеличивается, но сохраняет пониженное значение. Повышение концентрации муки в воде не дало эффекта снижения поверхностного натяжения. Но при увеличении времени перемешивания поверхностная энергия росла в большей мере, чем для 1%-го раствора.

В практике при замесе теста применяют подготовленные солевые растворы. В связи с этим были проведены эксперименты по измерению поверхностной энергии при перемешивании 3,3%-го раствора NaCl с 1% муки. Результаты представлены на рисунке 4в.

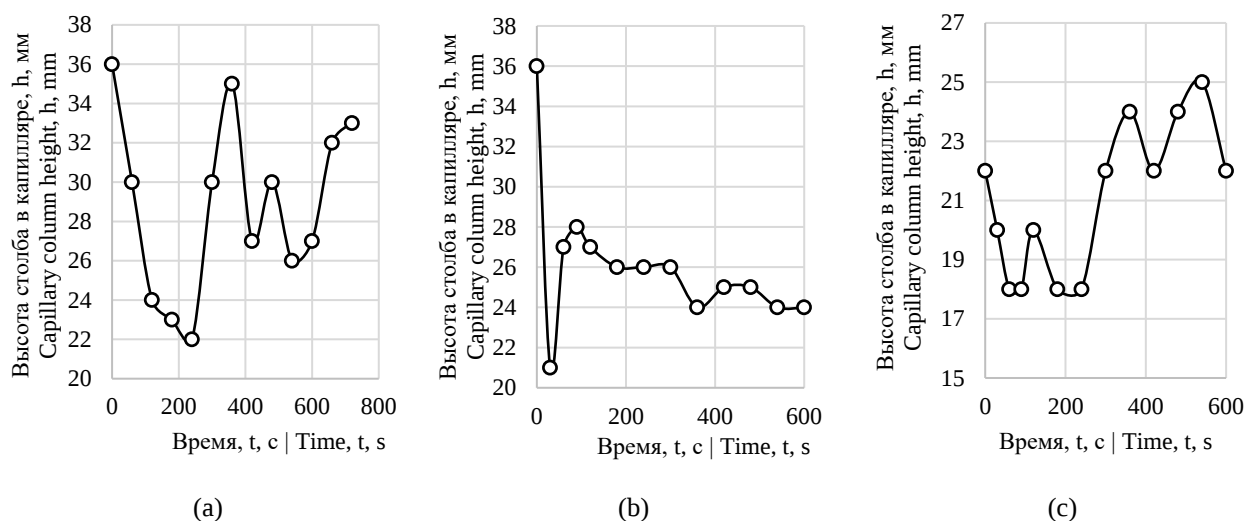


Рисунок 4. Зависимости высоты подъема водных растворов в капилляре диаметром 0,6 мм от времени перемешивания: (а) – раствор 3,3% NaCl; (б) – водно-мучная суспензия с концентрацией муки 1%; (с) – водный соляно-мучной раствор в указанной концентрации

Figure 4. Dependences of the height of rise of aqueous solutions in a capillary with a diameter of 0.6 mm on the mixing time: (a) - solution of 3.3% NaCl; (b) - water-flour suspension with flour concentration of 1%; (c) - aqueous salt-flour solution in the specified concentration

Минимальное значение высоты столба раствора в капилляре соответствовало времени перемешивания 60–100 с. Снижение поверхностной энергии раствора составило около 20%.

В лабораторных исследованиях мука и вода перемешивались в соотношении, принятом для хлебопекарного теста, соответствующего технологии хлеба формового «Кемеровский» из пшеничной муки первого сорта, производимого безопасным способом. При замесе использовались мука пшеничная первого сорта и вода водопроводная. Выбрана постоянная скорость вращения мешалки 100 об/мин. Механоактивация воды производилась в емкости для замеса при числе оборотов мешалки 100 об/мин в течение 100 с. Графики зависимостей представлены на рисунке 5.

Для смеси с механоактивированной водой мощность в начальном этапе не падает, активно проявляется поверхностное взаимодействие воды с частицами муки и с 30 с по 50 с происходит стабилизация. Мощность не растет, наблюдается повышенная эластичность смеси. Дальнейшее перемешивание не приводит к снижению мощности, что свидетельствует о сформированности каркасной клейковинной структуры теста и его повышенной эластичности. Очевидно, что замес теста с механоактивированной водой надо заканчивать через 50–60 с. Перемешивали муку с предварительно подготовленной водно-дисперсной 1%-й смесью муки и воды. В начальной стадии замеса мощность возрастает незначительно, кривая на графике выходит на плато.

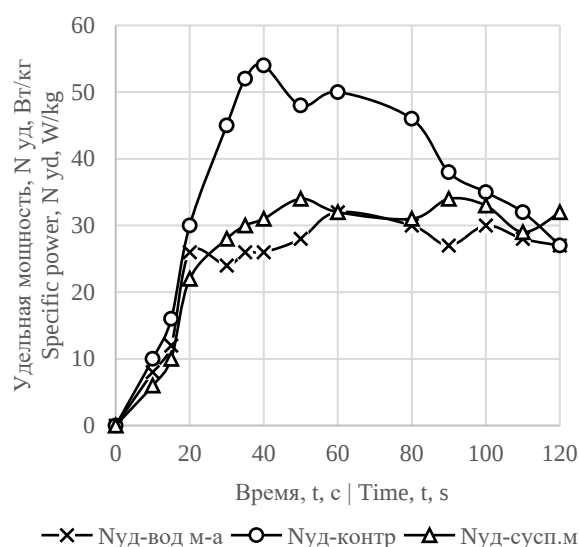


Рисунок 5. Зависимости удельной мощности на перемешивание от времени для контрольного образца (Нуд-к), образца с механоактивированной водой (Нуд-вод-м-а) и образца с механоактивированной мучной суспензией (Нуд-сусп. м)

Figure 5. Time dependences of specific stirring power for control sample (Nud-k), sample with mechanically activated water (Nud-water-m-a) and sample with mechanically activated flour suspension (Nud-susp. m)

Затем мощность на перемешивание несколько превышает мощность при замесе с механоактивированной водой, что говорит о формировании более прочной структуры теста, при этом повышенная эластичность сохраняется, разрушения структуры не наблюдается. Мощность перемешивания ниже контрольной на 30–40%. Анализ графика говорит о том, что замес должен быть остановлен через 40 с.

Оценивали качество теста после замеса. Пределное напряжение сдвига (ПНС) теста измеряли коническим пластометром и рассчитывали по известной методике. Исследование ПНС проводили сразу же после замеса и через временной промежуток в 600 секунд.

Анализ результатов эксперимента (рисунок 6) подтверждает факт повышения структурной прочности теста экспериментального. Причем для экспериментального образца ПНС со временем снижается, что можно объяснить релаксацией напряжений во времени. Для контрольного же образца ПНС сразу же после замеса был ниже почти в два раза, а затем шло его нарастание, причем через 600 секунд разница в ПНС составила не более 20%. Это говорит о том, что структура теста формировалась в состоянии покоя после перемешивания, что говорит о необходимости своевременного прекращения механического воздействия на смесь.

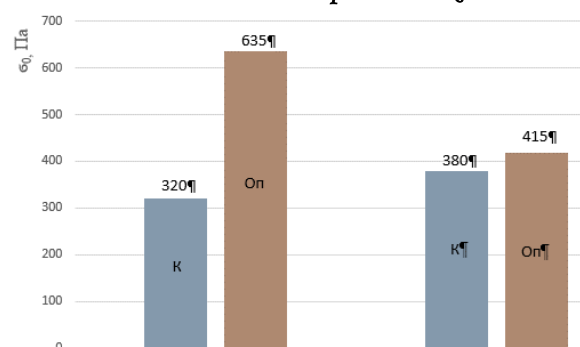


Рисунок 6. Результаты измерений предельного напряжения сдвига σ_0 (Па) теста сразу после замеса и через 600 с после замеса (К – контроль; Оп – опытный замес)

Figure 6. Measurement results of shear stress σ_0 (Pa) of dough immediately after kneading and 600 s after kneading (K - control; Op - experimental kneading)

Результаты эксперимента (рисунок 6) позволяют сделать вывод о том, что при контрольном перемешивании структура теста не сформировалась в полной мере и со временем происходит её упрочнение (увеличение ПНС за время наблюдений до 20%). В пробе экспериментального образца ПНС сразу же после замеса превышало контрольный в два раза и при отлёжке несколько снижалось, что свидетельствует о протекании релаксации напряжений после сдвиговых деформаций в процессе замеса. В пробе экспериментального образца ПНС сразу же после замеса превышало контрольный в два раза и при отлёжке несколько снизилось, что свидетельствует о протекании релаксации напряжений после деформации. Следовательно, белковый каркас теста упрочняется. На структурометре СТ-2 изучали адгезию теста и релаксацию напряжений в тесте (рисунки 7 и 8) показало снижение адгезии и повышение модуля упругости до 20%.

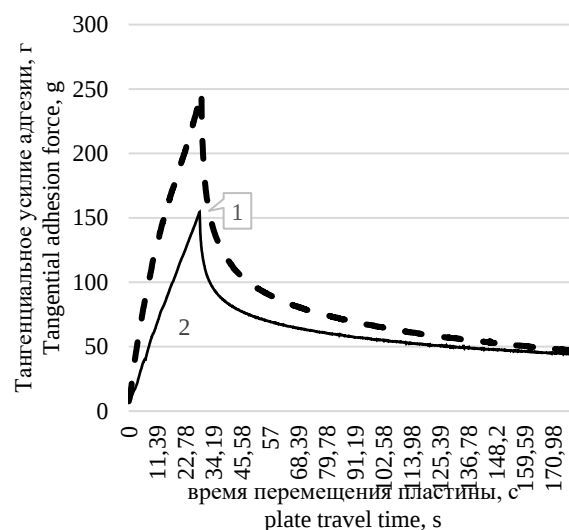


Рисунок 7. Зависимости тангенциального усилия адгезии контрольного (1) и экспериментального (2) образцов

Figure 7. Dependences of tangential adhesion force of control (1) and experimental (2) samples

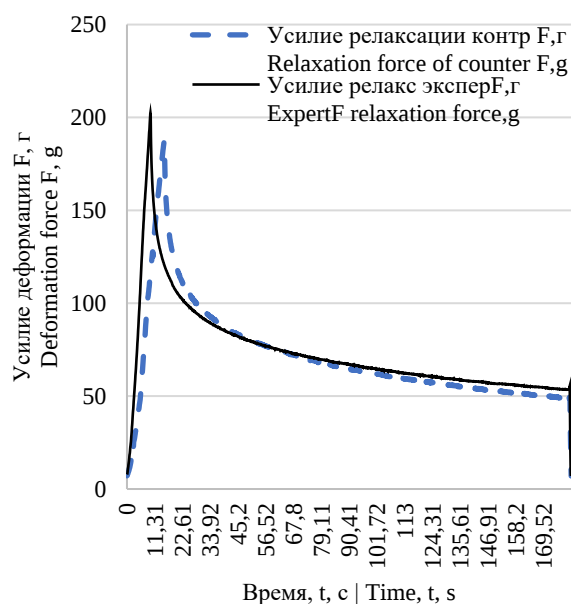


Рисунок 8. Зависимости релаксации напряжений в тесте контрольного и экспериментального образцов
Figure 8. Dependences of stress relaxation in the test of control and experimental specimens

Исследовалось влияние механоактивации воды на водосвязывающую способность (ВСС) теста. Образцы подвергали высушиванию с температурой ($103^{\circ}\pm 2$). Эксперименты проводились с помощью анализатора влажности МХ-50.

Высушивание образцов производилось непосредственно после замеса и по истечении 45 минут (рисунок 9). Построены графики кинетики сушки $dW/dt = f(dW)$ (рисунок 10). Установлено, что механоактивация воды перед перемешиванием повышает влагосвязывающую способность на 10–12%, причем ВСС, находящегося в покое после замеса на 7–10% выше после выдержки теста.

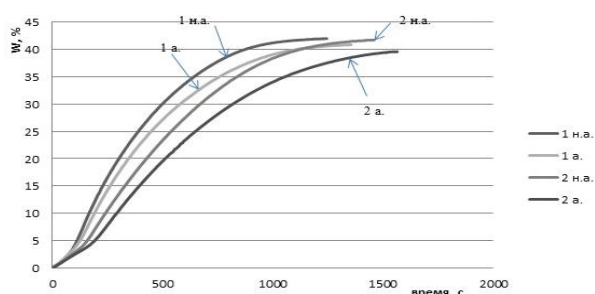


Рисунок 9. Зависимости влагоудаления при сушке теста с температурой 103°C : 1 н.а. и 2 н.а. – для теста с неактивированной водой непосредственно после замеса и через 45 минут; 1 а. и 2 а. – с активированной водой и с интервалом времени в 45 мин
Figure 9. Dependences of moisture removal during dough drying at 103°C : 1 a. and 2 a. - for dough with unactivated water immediately after kneading and after 45 min; 1 a. and 2 a. - with activated water and at 45 min intervals

Рисунок 10. Кинетика сушки теста пшеничного при температуре 103°C : 1 н.а. и 2 н.а. – для теста с неактивированной водой непосредственно после замеса и через 45 мин.; 1 а. и 2 а. – с активированной водой и с интервалом времени в 45 мин

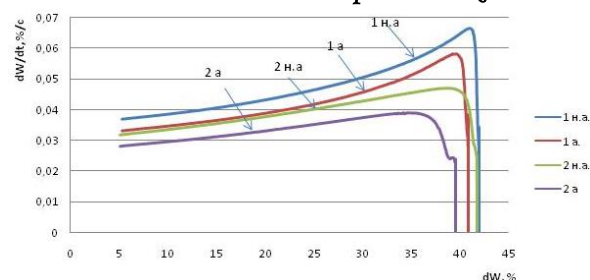


Рисунок 10. Кинетика сушки теста пшеничного при температуре 103°C : 1 н.а. и 2 н.а. – для теста с неактивированной водой непосредственно после замеса и через 45 мин.; 1 а. и 2 а. – с активированной водой и с интервалом времени в 45 мин

Figure 10. Drying kinetics of wheat dough at 103°C : 1 n.a. and 2 n.a. - for dough with unactivated water immediately after kneading and after 45 min; 1 a. and 2 a. - with activated water and at 45 min intervals.

Исследования перемешивания в производственных условиях проводились на тестомесильном оборудовании 1-го и 4-го хлебозаводов ООО «Кузбассхлеб» в технологических линиях производства хлеба «Кемеровский» и сушки «Кемеровская». Результаты измерения затрат мощности при перемешивании теста в тестомесильной машине Г4-МТМ-330–01 представлены на рисунке 11.

Практически сразу мощность перемешивания в экспериментальном замесе стала превышать мощность при контрольном замесе. Это говорит о значительном опережении формирования однородной структуры теста и начала гидролитического взаимодействия воды и частиц муки. Уже после 120 с мощность перемешивания стабилизировалась. А по истечении 240 с произошло значительное нарастание мощности более чем на 1,5 кВт, что можно объяснить возросшей прочностью клейковинного каркаса теста. В контрольном перемешивании третья стадия замеса наступила после 300 с, и после 500 с мощность перемешивания стала падать, что говорит о начале разрушения клейковинного каркаса.

Исследования теста на приборе «Rheotest» (рисунок 12) показало, что при сдвиговом течении напряжения в экспериментальном образце превышают на 20% напряжения контрольного образца.

По результатам можно сделать вывод, что предварительная механоактивация воды повышает эластичность теста при перемешивании, мощность при этом снижается до 20% за счет снижения удельной мощности на перемешивание и сокращения времени процесса.

Определение влияния механоактивации воды на свойства маловлажного теста проведены в тестомесильной машине ТМ-63 на 4-м хлебозаводе г. Кемерово в линии производства сушки «Кемеровская». Результаты представлены на рисунке 13.

Наблюдается заметное снижение мощности перемешивания для образца с механоактивированной водой. А после пересечения графиков сопротивление перемешиванию начинает нарастать. Это говорит о сформированности структуры теста и необходимости прекратить процесс

механического воздействия. Измеряли ПНС теста после замеса (рисунок 14) коническим пластометром Ребиндера. Установлено, что структура экспериментального образца формируется лучше и при меньших затратах энергии, а прочность её выше, чем у контрольного образца, на 20%.

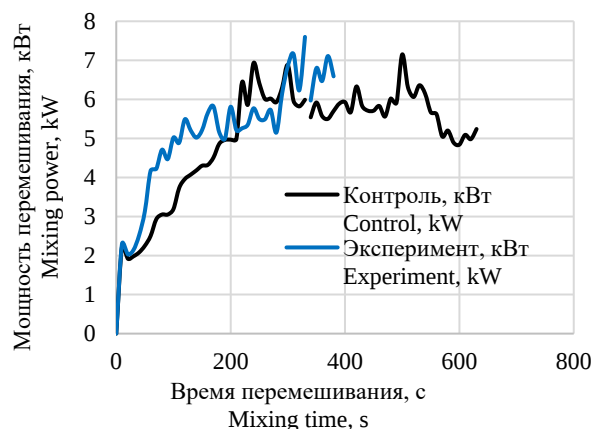


Рисунок 11. Зависимости мощности на перемешивание теста контрольного и экспериментального образцов в тестомесильной машине Г4-МТМ-330-01

Figure 11. Power dependences for dough mixing of control and experimental samples in the dough mixer G4 MTM 330-01

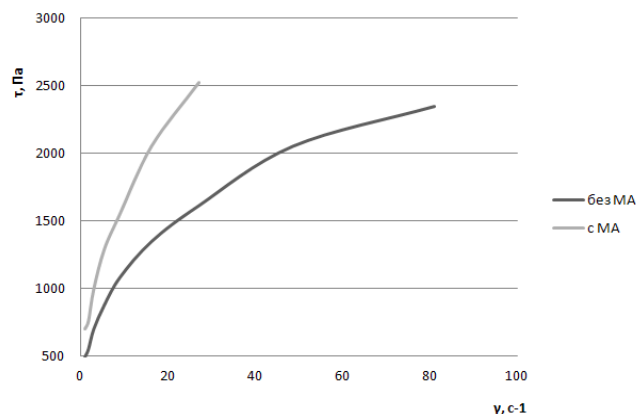


Рисунок 12. Зависимости напряжения τ (Па) сдвигового течения от скорости сдвига $\dot{\gamma}$ (с⁻¹) для теста контрольного (без МА) и экспериментального образца (с МА)

Figure 12. Dependences of shear flow stress τ (Pa) on shear rate (s^{-1}) for the test of control (without MA) and experimental sample (with MA)

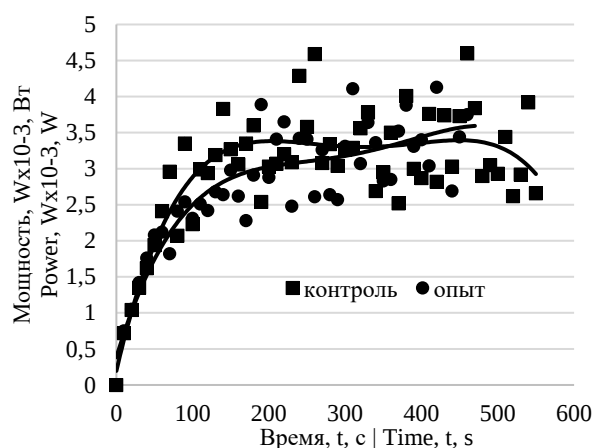


Рисунок 13. Зависимости мощности W (Вт) от времени t (с) при перемешивании теста сушки «Кемеровская»

Figure 13. Dependences of power W (W) on time t (с) during mixing of "Kemerovskaya" drying dough

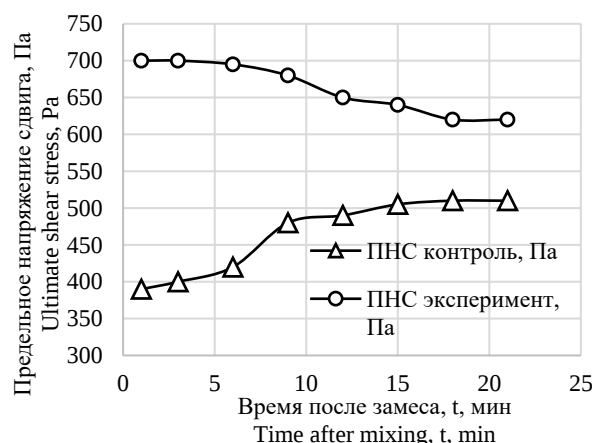


Рисунок 14. Зависимости изменения предельного напряжения сдвига (ПНС) теста сушки «Кемеровская» после перемешивания во времени

Figure 14. Dependences of change of shear stress limit (SST) of "Kemerovskaya" drying dough after mixing in time

Заключение

Аналитически установлено, что важнейшей стадией перемешивания теста является начальная, когда происходит смачивание поверхности частиц муки водными растворами. Показана необходимость снижения поверхностной энергии водных растворов перед их перемешиванием с мукой, сделан вывод о тождественности работы когезии в жидкости работе её механоактивации, и получены выражения для ее определения.

Экспериментально установлено снижение поверхностной энергии воды и водных растворов (NaCl 3,3%, мука 1%) до 20% при перемешивании.

Показано, что для механоактивации воды и водных растворов в исследованном диапазоне скоростей достаточно 60–120 °С.

Показано влияние механоактивации водных растворов на качество теста: структурообразование происходит быстрее, тесто проявляет повышенную эластичность при замесе, после замеса предельное напряжение сдвига теста

увеличивается до 20%, вязкость теста повышается до 20%, модуль упругости теста повысился более чем на 20%, адгезия теста уменьшилась на 20%, влагоудерживающая способность повышается на 10–12%. При замесе тугого маловлажного теста для сушки «Кемеровская» в начале перемешивания мощность снижается на 15–20%,

а предельное напряжение сдвига после перемешивания и выстойки в течение 20 минут превышает контрольный на 20–25%.

Рекомендовано применять предварительную механоактивацию водных растворов в промышленности в процессе подготовки к замесу и опары, и теста.

Литература

- 1 Матвеева И.В., Дремучева Г.Ф., Нечаев А.П. и др. Концепция и технологические решения в области применения улучшителей для хлебобулочных и мучных кондитерских изделий // *Пищевые ингредиенты в производстве хлебобулочных и мучных кондитерских изделий*. Москва: ДеЛи плюс, 2013. С. 259–276.
- 2 Лаврова Л.Ю., Лесникова Н.А., Борцова Е.Л., Балакина А.И. Использование нетрадиционных видов муки в производстве бездрожжевых кексов // *Хлебопродукты*. 2018. № 6. С. 58–60.
- 3 Сокол Н.В., Атрощенко Е.А. Исследование влияния электрохимически активированной воды на реологические свойства теста и качество хлеба // *Новые технологии*. 2019. № 1. С. 170–177.
- 4 Минаков Д.В., Минаков Д.В., Козубаева Л.А., Кузьмина С.С. и др. Особенности созревания теста и формирования качества хлеба с биомассой мицелия *Armillaria mellea* // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2022. № 1. С. 145–156.
- 5 Алехина Н.Н., Пономарева Е.И., Жаркова И.М., Желтикова А.С. Исследование функциональных свойств зернового хлеба на основе хлебопекарных смесей с белковым обогатителем // *Пищевая промышленность*. 2020. № 5. С. 8–11.
- 6 Лукина С.И., Пономарева Е.И., Павловская С.М., Алексеев А.Е. Новые нетрадиционные ингредиенты в производстве хлеба из пшеничной муки // *Научные труды КубГТУ*. 2019. № S9. С. 146–153.
- 7 Болдырев В.В. Механохимия и механическая активация твердых веществ // *Успехи химии*. 2006. Т. 75. С. 203–216.
- 8 Золотовский Б.П. и др. Закономерности механохимической активации тригидроксидов алюминия и их водных суспензий // *Известия Сибирского отделения Академии наук СССР. Серия химических наук*. 1987. № 5. С. 80–84.
- 9 Wu Z., Wang D., Sun A. Preparation of MoS₂ nanoflakes by a novel mechanical activation method // *Journal of crystal growth*. 2010. V. 312. № 2. P. 340–343.
- 10 Kosova N.V., Devyatkina E.T., Slobodyuk A.B., Petrov S.A. Submicron LiFe_{1–y}Mn_yPO₄ solid solutions prepared by mechanochemically assisted carbothermal reduction: The structure and properties // *Electrochimica acta*. 2012. V. 59. P. 404–411. doi: 10.1016/j.electacta.2011.10.082
- 11 Ибрагимов Р.А., Пименов С.И., Изотов В.С. Влияние механохимической активации вяжущего на свойства мелкозернистого бетона // *Инженерно-строительный журнал*. 2015. № 2(54). С. 63–69.
- 12 Батыршин Э.С., Шарипов Р.Р., Волков М.Г., Жонин А.В. и др. Особенности реологии сшитых гуаровых гелей, применяемых для гидроразрыва пласта // *Нефтяное хозяйство*. 2022. № 11. С. 127–131.
- 13 Крупская Т.В., Гулько В.М., Процак И.С., Картель Н.Т. и др. Управление тиксотропными свойствами водных суспензий, содержащих гидрофильные и гидрофобные компоненты // *Химия, физика и технология поверхности*. 2020. Т. 11. № 1. С. 38–57.
- 14 Гуюмджян П.П., Роменская И.Т., Зиновьева Е.В. Физико-механические особенности обработки воды // *Ученые записки инж.-строит факультета ИГАСУ. Иваново*, 2008. № 4. С. 92–95.
- 15 Зиновьева Е.В. Особенности механоактивационных процессов в дистиллированной воде // *Разработка машин и агрегатов, исследование тепломассообменных процессов в технологиях производства и эксплуатации строительных материалов и изделий: Сб. науч. тр. по материалам круглого стола, посвященного науч. шк. Акад. РААСН, д-ра техн. наук, проф. С.В. Федосова*. Иваново: ПресСто, 2013. С. 128–131.
- 16 Кравцов С.А., Гайдаров М.М.Р. Дезинтеграторная обработка эмульсионных и углеводородных растворов // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. 2010. № 9. С. 38–43.
- 17 Федосов С.В., Акулова М.В., Слизнева Т.Е. Изучение закономерностей структурообразования в цементном камне на механо-магнитоактивированной воде с добавкой ПВА // *Academia. Архитектура и строительство*. 2017. № 2. С. 117–122.
- 18 Федосов С.В., Акулова М.В., Зиновьева Е.В. Особенности механической активации дистиллированной воды различными насадками роторной мешалки // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2016. № 1(361). С. 153–157.
- 19 Гуюмджян П.П., Роменская И.Т., Зиновьева Е.В. Физико-механические особенности обработки воды // *Ученые записки инж.-строит факультета ИГАСУ. Иваново*, 2008. № 4. С. 92–95.
- 20 Федосов С.В., Акулова М.В., Слизнева Т.Е. Особенности структурообразования в мелкозернистом бетоне на механоактивированном водном растворе силиката натрия // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2013. № 31–2 (50). С. 199–206.
- 21 Гайдаров М. М.-Р., Кравцов С.А. Дезинтеграторная технология приготовления буровых растворов и технологических жидкостей // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. 2007. № 10. С. 29–33.
- 22 Федосов С.В., Акулова М.В., Слизнева Т.Е. Изучение закономерностей структурообразования в цементном камне на механомагнитоактивированной воде с добавкой ПВА // *Academia. Архитектура и строительство*. 2016. № 3. С. 136–142.

References

- 1 Matveeva I.V., Dremucheva G.F., Nechaev A.P. et al. Concept and technological solutions in the field of application of improvers for bakery and flour confectionery products. Food ingredients in the production of bakery and flour confectionery products. Moscow, DeLi plus, 2013. pp. 259–276. (in Russian).
- 2 Lavrova L.Yu., Lesnikova N.A., Bortsova E.L., Balakina A.I. The use of non-traditional types of flour in the production of yeast-free cakes. Bread products. 2018. no. 6. pp. 58–60. (in Russian).
- 3 Sokol N.V., Atroschenko E.A. Study of the influence of electrochemically activated water on the rheological properties of dough and the quality of bread. New technologies. 2019. no. 1. pp. 170–177. (in Russian).
- 4 Minakov D.V., Minakov D.V., Kozubaeva L.A., Kuzmina S.S. et al. Features of dough ripening and formation of bread quality with biomass of *Armillaria mellea* mycelium. Storage and processing of agricultural raw materials. 2022. no. 1. pp. 145–156. (in Russian).
- 5 Alekhina N.N., Ponomareva E.I., Zharkova I.M., Zheltikova A.S. Study of the functional properties of grain bread based on baking mixtures with a protein fortifier. Food industry. 2020. no. 5. pp. 8–11. (in Russian).

- 6 Lukina S.I., Ponomareva E.I., Pavlovskaya S.M., Alekseev A.E. New non-traditional ingredients in the production of bread from wheat flour. Scientific works of Kuban State Technical University. 2019. no. S9. pp. 146–153. (in Russian).
- 7 Boldyrev V.V. Mechanochemistry and mechanical activation of solids. Advances in Chemistry. 2006. vol. 75. pp. 203–216. (in Russian).
- 8 Zolotovskiy B.P. and others. Regularities of mechanochemical activation of aluminum trihydroxides and their aqueous suspensions. News of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. Chemical Sciences Series. 1987. no. 5. pp. 80–84. (in Russian).
- 9 Wu Z., Wang D., Sun A. Preparation of MoS₂ nanoflakes by a novel mechanical activation method. Journal of crystal growth. 2010. vol. 312. no. 2. pp. 340–343. (in Russian).
- 10 Kosova N.V., Devyatkina E.T., Slobodyuk A.B., Petrov S.A. Submicron LiFe_{1-x}Mn_yPO₄ solid solutions prepared by mechanochemically assisted carbothermal reduction: The structure and properties. Electrochimica acta. 2012. vol. 59. pp. 404–411. doi: 10.1016/j.electacta.2011.10.082
- 11 Ibragimov R.A., Pimenov S.I., Izotov V.S. The influence of mechanochemical activation of the binder on the properties of fine-grained concrete. Engineering and Construction Journal. 2015. no. 2(54). pp. 63–69. (in Russian).
- 12 Batyrshin E.S., Sharipov R.R., Volkov M.G., Zhonin A.V. et al. Features of the rheology of cross-linked guar gels used for hydraulic fracturing. Oil industry. 2022. no. 11. pp. 127–131. (in Russian).
- 13 Krupskaya T.V., Gunko V.M., Protsak I.S., Kartel N.T. et al. Control of thixotropic properties of aqueous suspensions containing hydrophilic and hydrophobic components. Chemistry, physics and surface technology. 2020. vol. 11. no. 1. pp. 38–57. (in Russian).
- 14 Guyumdzhyan P.P., Romenskaya I.T., Zinoviyeva E.V. Physico-mechanical features of water treatment. Scientific notes of civil engineering faculty of IGASU. Ivanovo, 2008. no. 4. pp. 92–95. (in Russian).
- 15 Zinoviyeva E.V. Features of mechanical activation processes in distilled water. Development of machines and units, research of heat and mass transfer processes in technologies for the production and operation of building materials and products. Ivanovo, PresSto, 2013. pp. 128–131. (in Russian).
- 16 Kravtsov S.A., Gaidarov M.M.R. Disintegrator processing of emulsion and hydrocarbon solutions. Construction of oil and gas wells on land and at sea. 2010. no. 9. pp. 38–43. (in Russian).
- 17 Fedosov S.V., Akulova M.V., Slizneva T.E. Study of the patterns of structure formation in cement stone on mechanically magnetically activated water with the addition of PVA. Academia. Architecture and construction. 2017. no. 2. pp. 117–122. (in Russian).
- 18 Fedosov S.V., Akulova M.V., Zinoviyeva E.V. Features of mechanical activation of distilled water with various attachments of a rotary mixer. News of higher educational institutions. Textile industry technology. 2016. no. 1(361). pp. 153–157. (in Russian).
- 19 Guyumdzhyan P.P., Romenskaya I.T., Zinoviyeva E.V. Physico-mechanical features of water treatment. Scientific notes of civil engineering faculty of IGASU. Ivanovo, 2008. no. 4. pp. 92–95. (in Russian).
- 20 Fedosov S.V., Akulova M.V., Slizneva T.E. Features of structure formation in fine-grained concrete on a mechanically activated aqueous solution of sodium silicate. Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and architecture. 2013. no. 31–2 (50). pp. 199–206. (in Russian).
- 21 Gaidarov M.M.R., Kravtsov S.A. Disintegrator technology for preparing drilling fluids and process fluids. Construction of oil and gas wells on land and at sea. 2007. no. 10. pp. 29–33. (in Russian).
- 22 Fedosov S.V., Akulova M.V., Slizneva T.E. Study of the patterns of structure formation in cement stone on mechanically magnetically activated water with the addition of PVA. Academia. Architecture and construction. 2016. no. 3. pp. 136–142. (in Russian).

Сведения об авторах

Виктор В. Иванов технический директор, ОАО КемеровоХлеб, пр-т Кузнецкий, 105, г. Кемерово, 650055, Россия, v-ivanow2013@ya.ru

Сергей Д. Руднев профессор, кафедра медицинской и биологической физики и высшей математики, Кемеровский государственный медицинский университет, ул. Ворошилова, д. 22А, г. Кемерово, Кемеровская область, 650056, Россия, sdrudnev@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2506-6121>

Дмитрий М. Бородулин д.т.н., профессор, кафедра технологии хранения и переработки плодовоовощной и растениеводческой, Российский государственный аграрный университет МСХА им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Россия, borodulin_dmitri@list.ru

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

Александра И. Крикун к.т.н., доцент, кафедра технологические машины и оборудование, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, ул. Луговая, 52 Б, г. Владивосток, 690087, Россия, krikun.ai@dgtru.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9330-2555>

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

Victor V. Ivanov technical director, ОАО Kemerovokhleb, 105 Kuznetskiy Ave., Kemerovo, 650055, Russia, v-ivanow2013@ya.ru

Sergey D. Rudnev professor, medical and biological physics and higher mathematics department, Kemerovo State Medical University, st. Voroshilova, 22A, Kemerovo, Kemerovo region, 650056, Russia, sdrudnev@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2506-6121>

Dmitry M. Borodulin Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of storage and processing of fruits department, Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 127434, Moscow, st. Timiryazevskaya, 49, borodulin_dmitri@list.ru

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

Alexandra I. Krikun Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, technological machines and equipment department, Far Eastern State Technical Fisheries University, st. Lugovaya, 52 B, Vladivostok, 690087, Russia, krikun.ai@dgtru.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9330-2555>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 12/07/2023	После редакции 31/07/2023	Принята в печать 18/08/2023
Received 12/07/2023	Accepted in revised 31/07/2023	Accepted 18/08/2023

Анализ водопотребления в технологических процессах переработки зерна на спирт

Михаил В. Туршатов	¹	lab78@mail.ru	 0000-0003-1277-5498
Валентин В. Кононенко	¹	lab78@mail.ru	 0000-0002-7568-5193
Владимир П. Леденев	¹	lab78@mail.ru	 0000-0003-3628-0289
Вера А. Кривченко	¹	lab78@mail.ru	 0000-0003-2951-9802
Александр О. Соловьев	¹	lab78@mail.ru	 0000-0003-2666-6890
Виктория Д. Никитенко	¹	lab78@mail.ru	 0000-0001-5314-3513

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы потребления воды при производстве этилового спирта из зернового сырья. Приведены данные о ее потребности на технологические нужды (для приготовления замеса), в качестве хладагента, для парообразования, на хозяйственно-бытовые нужды. Показано, что вода в удельном исчислении является самым объемным сырьевым ресурсом (до 1600 м³/1000 декалитров), но при этом практически не расходуется в качестве реагента на технологические цели. Проведен анализ вариантов многократного использования воды и показана возможность сокращения ее расхода до 200 м³/1000 декалитров, за счет многократного использования охлаждающей воды, путем внедрения системы оборотного водоснабжения, постоянной циркуляции воды через градирни, где происходит ее охлаждение. Отмечается также возможность полного исключения воды в процессах охлаждения путем применения «сухих» градирен. При этом циркуляция хладагента (например, этиленгликоля) осуществляется в замкнутом цикле. Также показана актуальность использования одного потока воды для последовательного охлаждения полупродуктов: бродающее и осахаренное сусло, разваренная масса с применением эффективных теплообменных аппаратов спирального, пластинчатого типа. Приведен пример сокращения расхода воды для парообразования путем повторного использования «условно чистого» конденсата пара, образуемого в системах «глухого» нагрева полупродуктов. Проведен анализ сокращения потребления воды для приготовления замеса за счет переработки сырья в условиях высоких концентраций и повторного использования фильтрата барды. Помимо экономии тепло – энергоресурсов это снижает объемы образуемой барды и производственных стоков. Как следствие уменьшаются затраты на их переработку и очистку. Предложен перечень мероприятий, который позволит снизить водопотребление в 10 и более раз и повысит рентабельность производства спирта на 2–2,5%.

Ключевые слова: водопотребление, хладагент, оборотное водоснабжение, конденсат, многократное использование, технологические траты.

Analysis of water consumption in technological processes of grain processing for alcohol

Mikhail V. Turshatov	¹	lab78@mail.ru	 0000-0003-1277-5498
Valentin V. Kononenko	¹	lab78@mail.ru	 0000-0002-7568-5193
Vladimir P. Ledenev	¹	lab78@mail.ru	 0000-0003-3628-0289
Vera A. Krivchenko	¹	lab78@mail.ru	 0000-0003-2951-9802
Aleksandr O. Solovyev	¹	lab78@mail.ru	 0000-0003-2666-6890
Viktoria D. Nikitenko	¹	lab78@mail.ru	 0000-0001-5314-3513

¹ All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, st. Samokatnaya, 4B, Moscow, 111033, Russia

Abstract. The article deals with the issues of water consumption in the production of ethyl alcohol from grain raw materials. The data on its demand for technological needs (for preparing a batch), as a refrigerant, for steam generation, for household needs are given. It is shown that water in specific terms is the most voluminous raw material resource (up to 1600 m³/1000 decaliters), but at the same time it is practically not consumed as a reagent for technological purposes. The analysis of options for the reuse of water was carried out and the possibility of reducing its consumption to 200 m³/1000 decaliters was shown, due to the repeated use of cooling water, by introducing a circulating water supply system, constant circulation of water through the cooling towers, where it is cooled. It is also noted the possibility of complete exclusion of water in the cooling processes through the use of "dry" cooling towers. In this case, the circulation of the refrigerant (for example, ethylene glycol) is carried out in a closed cycle. The relevance of using a single water flow for sequential cooling of semi-products is also shown: fermenting and saccharified wort, boiled mass using efficient heat exchangers of a spiral, plate type. An example is given of reducing water consumption for steam generation by reusing "conditionally clean" steam condensate formed in systems of "dull" heating of semi-finished products. An analysis was made of reducing the consumption of water for the preparation of the mixture due to the processing of raw materials in conditions of high concentrations and the reuse of the stillage filtrate. In addition to saving heat and energy resources, this reduces the volumes of formed stillage and industrial effluents. As a result, the costs of their processing and purification are reduced. A list of measures has been proposed that will reduce water consumption by 10 or more times and increase the profitability of alcohol production by 2–2.5%.

Keywords: water consumption, refrigerant, recycled water supply, condensate, multiple uses, technological expenses.

Для цитирования

Туршатов М.В., Кононенко В.В., Леденев В.П., Кривченко В.А., Соловьев А.О., Никитенко В.Д. Анализ водопотребления в технологических процессах переработки зерна на спирт // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 84–89. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-84-89

For citation

Turshatov M.V., Kononenko V.V., Ledenev V.P., Krivchenko V.A., Solovyev A.O., Nikitenko V.D. Analysis of water consumption in technological processes of grain processing for alcohol. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 84–89. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-84-89

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

Введение

Из всех сырьевых ресурсов, используемых для проведения технологических процессов переработки зерна на спирт, вода является основным составляющим материальных потоков. Основное ее предназначение – обеспечение условий для ведения биокаталитических процессов: растворение крахмала, его ферментативный гидролиз, дрожжегенерация, брожение. На эти цели, в пересчете на 1 000 дал спирта, требуется 70–90 м³ воды, что составляет порядка 10% от ее общего потребления.

Основное ее количество 950–1600 м³ применяется в качестве хладагента для охлаждения полупродуктов спиртового производства: разваренная масса, осахаренное и бродящее сусло, в процессах брагоректификации, при переработке барды на стадии вакуум-упаривания. Кроме того, вода используется в котельной для получения пара (до 100 т/1000 дал спирта), на мойку и дезинфекцию оборудования, хозяйственные нужды [1–3].

Во ВНИИПБТ созданы нормативные документы [4, 5] регламентирующие потребление воды на различных стадиях спиртового производства и количество образуемых жидких стоков, требующих очистки, однако, в силу развития технологий и оборудования в области ресурсосбережения, некоторые положения указанных документов и требуют актуализации. В статье приводится обобщенный анализ водопотребления с учетом современных (инновационных) исследований, обеспечивающих ее сокращение.

Качество воды для технологических, питьевых и хозяйственно-бытовых нужд, должно соответствовать требованиям СанПиН 2.1.3684–21 [6]. Потребление воды спиртзаводами осуществляется в основном из поверхностных и подземных источников. Вода из коммунальных сетей используется лишь небольшим числом заводов, в связи с удаленностью большинства спиртовых производств от крупных населенных пунктов и лишь в незначительных количествах (например для хозяйственных нужд), так как при существующих тарифах на водопотребление и водоотведение затраты спиртзаводов на воду составили бы порядка 100 рублей за 1 дал, что эквивалентно 20% себестоимости спирта [7].

Анализ структуры водопотребления на спиртзаводах показал, что использование современных технологий и оборудования позволяет максимально сократить водопотребление с одновременным снижением количества жидких производственных стоков [8].

Снижение потребления воды на спиртовых заводах может быть достигнуто несколькими способами. Во-первых, за счет сокращения потребления технологической воды (для приготовления замеса) путем переработки сырья при повышенных концентрациях и многократного повторного использования жидких потоков (фильтрата барды, кислого конденсата с вакуум-выпарной установки) взамен свежей воды [9–11]. Так повышение концентрации сусла (растворимых сухих веществ) с 16–18% до 22–24% за счет снижения гидромодуля позволит сократить 20–25% воды для приготовления замеса.

Методика

В ходе работы проводили анализ существующей нормативной базы, регламентирующей производство спирта, анализировали фактическое потребление воды на действующих предприятиях отрасли в пересчете на производство 1 000 дал спирта. Обозревали современные технологии ресурсосберегающей технологии для получения комплекса рекомендаций по рациональному использованию водных ресурсов, которые потенциально могут снизить водопотребление до 10 раз.

Результаты и обсуждение

Во ВНИИПБТ с целью повторного использования жидких сред были проведены исследования [12–15] в которых в качестве жидкой фазы на стадии получения зернового замеса использовали 20% фильтрата барды и до 80% конденсата, образуемого при вакуум-выпаривании фильтрата барды. Полученные результаты по выходу спирта, образованию примесей в бражке, показали перспективность такого приема.

Примером замкнутого водообеспечения также может быть технология «Биостил» [16], разработанная компанией Chematur (Швеция). Ее особенность – практически 100%-я циркуляция жидкой фазы основного продуктового потока на всех стадиях производства. Началом является получение водно-зернового замеса, затем она участвует в процессах водно-тепловой ферментативной обработки и после отгонки спирта, в виде тонкого фильтрата барды, возвращается на головную стадию производства. В данной технологии предусмотрен сокращенный срок брожения, обеспечивающий минимальное накопление побочных примесей. Остаточные несброженные углеводы возвращаются с фильтратом барды на повторную переработку.

Дополнительным примером повторного использования технологической воды является применение водно-спиртовой жидкости, образуемой после спиртоловушки для заполаскивания бродильных чанов взамен воды при их освобождении

от зрелой бражки. Помимо экономии чистой воды это исключает разбавление бражки и сокращает затраты пара на ее перегонку.

Как уже отмечалось, основное количество воды, необходимое спиртовым заводам, используется для охлаждения и конденсации продуктового потока на различных этапах технологического процесса. Так, в пересчете на 1000 дал спирта для охлаждения разваренной массы по нормативам требуется 150–300 м³ воды, для охлаждения бродильных чанов 600–800 м³, на бргоректификацию до 500 м³, на вакуум-упаривание фильтрата барды до 1000 м³. Современное теплообменное оборудование, а также современные системы охлаждения и рецир-

куляции хладагента позволяют снизить расход воды для охлаждения в 10 и более раз. Такие системы обеспечивают постоянную циркуляцию воды в системах охлаждения с подпиткой, компенсирующей ее частичное испарение в количествах, не превышающих 5–10% от общего потока.

Также в спиртовом производстве существует техническая возможность значительного снижения водопотребления в котельной на производство пара. Достигается это путем возврата в котельную «чистого» конденсата пара, образующегося в системах «глухого» нагрева полупродуктов. Особенно это актуально в процессах брагоректификации и переработки барды в сухие продукты (рисунок 1).

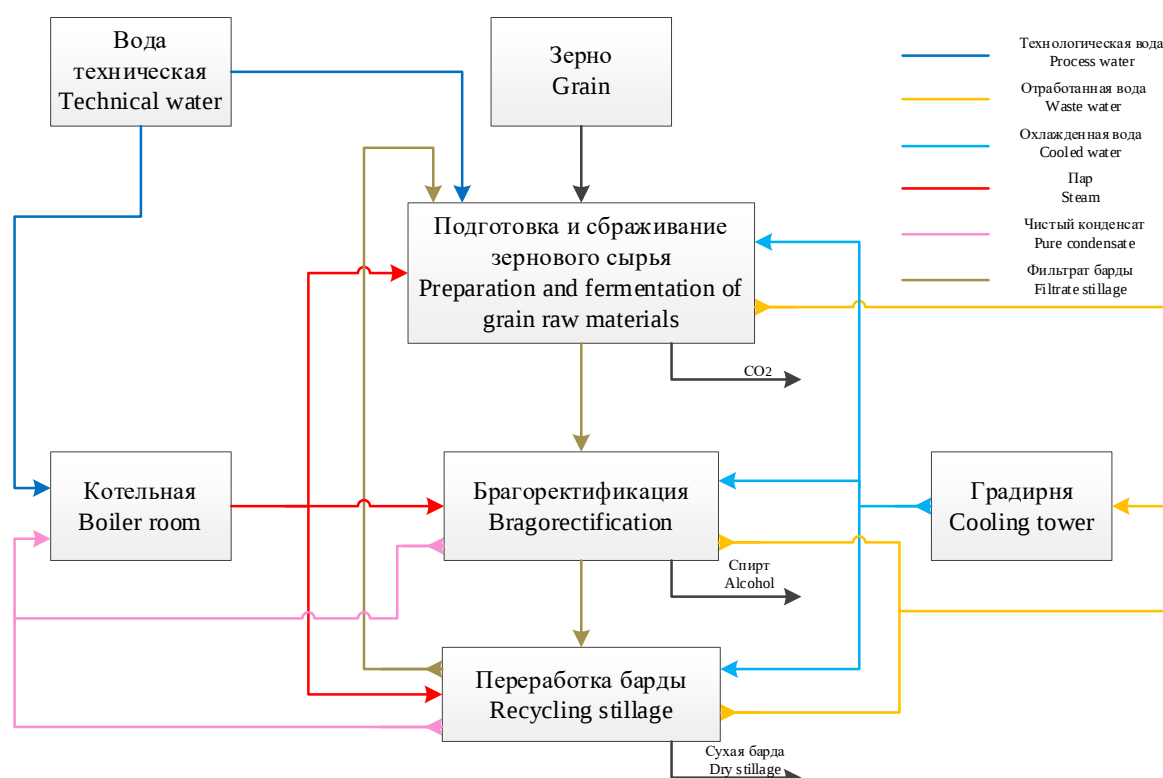


Рисунок 1. Схема оборотного водоснабжения спиртового производства

Figure 1. Scheme of recycling water supply of alcohol production

Так, на стадии брагоректификации требуется до 70 т пара на 1000 дал спирта, а в процессе сушки до 50 т острого пара. Внедрение энергосберегающих технологий также позволяет снизить расход пара на производство спирта [17, 18]. Современные «Мягкие» схемы тепловой обработки замесов потребляют 7–8 кг пара на 1 дал спирта вместо 20–22 кг по «жестким» схемам разваривания. Энергосберегающие БРУ, в которых колонны работают под разным давлением, а пар используется последовательно в нескольких

колоннах потребляют 28–35 кг пара на 1 дал спирта вместо 60–70 кг в «классических» аппаратах [19, 20].

Рассмотренные способы сокращения водопотребления на различных стадиях получения спирта могут быть, без значительных инвестиций, реализованы на действующих спиртзаводах с одновременным снижением количества производственных стоков, требующих очистки. В таблице 1 приведены усредненные данные водопотребления при прямоточной и оборотной схемах.

Таблица 1.

Потребление воды при производстве спирта, м³/1000 дал

Table 1.

Water consumption in the production of alcohol, m³/1000 decaliters

Назначение Purpose	Водопотребление Water consumption	
	Прямоточное Direct-flow	Оборотное Negotiable
<i>Спиртовое производство Alcohol production</i>		
На технологические цели: получение замеса, промывка CO ₂ , и т. д. For technological purposes: mixing, washing with CO ₂ , etc.	90±6	40±3
Котельная Boiler room	70±4	30±3
На охлаждение For cooling: – разваренной массы, осахаренного сусла boiled mass, saccharified wort – дрожжегенерации, брожения yeast generation, fermentation – брагоректификации bragorectification	225±6 650±18 400±11	60±7
Мойка, дезинфекция оборудования Washing, disinfection of equipment	22±4	20±3
Питьевая и хоз. бытовые нужды Drinking and household needs	8±1	8±1
Итого Total:	1455±50	158±18
<i>Переработка барды Recycling stillage</i>		
Конденсация паров при вакуум выпаривании барды Vapor condensation during vacuum evaporation of stillage	900±21	45±5
Мойка, дезинфекция оборудования, хоз. бытовые нужды Washing, disinfection of equipment, household needs	2±1	2±1
Итого Total:	902±22	47±6

Заключение

Вышеописанные примеры и приведенные данные свидетельствуют о возможности переработки зерна на спирт с минимальным водопотреблением. Для этого необходима реализация следующих мероприятий:

- переработка сырья при повышенных концентрациях, что достигается гидромодулем (соотношением зерно/ода) не выше, чем «1/2,5», при этом концентрация спирта в зрелой бражке должна быть не менее 12% об.;
- применение низкотемпературных режимов водно-тепловой обработки сырья;
- «глухой» обогрев бражных колонн с рекуперацией тепла в процессах брагоректификации;
- повторное использование жидких стоков: (фильтрат и конденсат барды, лютерная вода, водноспиртовая жидкость после спиртоловушки, и т. д.);
- обратное водоснабжение условно чистой охлаждающей воды с использованием градирен;
- последовательное использование воды в процессах охлаждения: брожения, осахаривания;

• повторное использование «чистого» конденсата пара, образуемого в процессах «глухого обогрева» при брагоректификации, вакуум-упаривании и сушки барды и др.;

• применение теплообменных аппаратов с высоким коэффициентом теплопередачи: спиральные, пластинчатые;

• автоматизация контуров регулирования температуры, расхода воды, давления, и т. д.;

• применения «сухих» градирен с использованием в качестве хладагента – этиленгликоля.

Внедрение вышеуказанных мероприятий позволяет максимально (в 10 и более раз) минимизировать потребление воды из внешних источников, сократить производственные стоки. Это в свою очередь снижает эксплуатационные затраты, которые при оптимальном варианте в себестоимости спирта могут составлять не более 2,0–2,5%.

Благодарности

Научно-исследовательская работа проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания (тема № FGMF-2022-0006).

Литература

- 1 Jiang H. et al. A novel thermoelectric distiller integrated with water cooling circulation for alcohol distillation // Applied Thermal Engineering. 2023. V. 219. P. 119392.
- 2 Thomas K.C., Hynes S.H., Ingledew W.M. Practical and theoretical considerations in the production of high concentrations of alcohol by fermentation // Process Biochemistry. 1996. V. 31. №. 4. P. 321-331.
- 3 Collura M.A., Luyben W.L. Energy-saving distillation designs in ethanol production // Industrial & engineering chemistry research. 1988. V. 27. №. 9. P. 1686-1696.
- 4 Регламент производства спирта из крахмалистого сырья. Часть 1. ВНИИПрБ, Москва, 1979. 270 с.
- 5 Технологические и укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для спиртовых заводов, перерабатывающих крахмалистое сырье. М.: ЦНИИТЭИ Пищепром, 2002. 28 с.

- 6 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий". М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 2021. 75 с.
- 7 Производство спирта этилового ректифицированного и ликероводочных изделий: Санитарные правила и нормы. М.: «ИНТЕРСЭН», 1998. 39 с.
- 8 Guo H.C. et al. Assessment of cleaner production options for alcohol industry of China: a study in the Shouguang Alcohol Factory // *Journal of Cleaner Production*. 2006. V. 14. №. 1. P. 94-103.
- 9 Сушкова В.И. Основные принципы создания замкнутых систем водопотребления на предприятиях // *Кронос: естественные и технические науки*. 2019. №6 (28).
- 10 Schestak I. et al. Heat recovery and water reuse in micro-distilleries improves eco-efficiency of alcohol production // *Journal of Environmental Management*. 2023. V. 325. P. 116468.
- 11 Schestak I. et al. Circular use of feed by-products from alcohol production mitigates water scarcity // *Sustainable Production and Consumption*. 2022. V. 30. P. 158-170.
- 12 Туршатов М.В., Леденев В.П., Кривченко В.А., Соловьев А.О. и др. Энергосберегающие аспекты технологии переработки зерна в этиловый спирт // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. № 7. С. 92–96. doi: 10.53859/02352451_2022_36_7_92
- 13 Дыганова Р.Я., Беляева Ю.С. Экологизация спиртовой промышленности путем переработки отходов производства в биоэнергетических установках // *Сборник научных трудов SWorld*. 2012. Т. 31. № 1. С. 69–70.
- 14 Попов В.П., Ганин Е.В., Рахумова С.Ж., Боронина Ю.С., Мартынов Н.Н. Оптимизация технологического процесса производства синтетического и гидролизного этиловых спиртов // *Нефтегазовое дело*. 2019. № 3. С. 195–210. doi: 10.17122/ogbus-2019–3–195–210
- 15 Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Звягинцев П.С., Мандрыка Е.А. и др. Инновации – ключ к ускорению развития аграрного сектора экономики // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2015. № 7. С. 5–11.
- 16 Chematur Engineering. Biostil/Ethanol. URL: <https://chematur.se/technologies/bio-chemicals/biostil-ethanol/>
- 17 Прищепов М.А., Расолько Л.А., Бренч М.В., Рублик П.В. Ресурсоэффективность бродительного производства // *Агропанорама*. 2012. № 3(91). С. 27–29.
- 18 Быков А.В., Рахумова С.Ж. Оптимизация технологического процесса производства синтетического этилового спирта // *Промышленность: новые экономические реалии и перспективы развития: сборник статей I Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием): в 2-х частях, Оренбург, 17 мая 2017 года. Часть 2. Оренбург: Агентство Пресса, 2017. С. 160–164.*
- 19 Кириллов Е.А., Туршатов М.В., Кононенко В.В., Соловьев А.О. и др. Современные тенденции при организации процесса брагоректификации при производстве спирта из пищевого сырья // *Пищевая промышленность*. 2022. № 8. С. 54–56. doi: 10.52653/PPI.2022.8.8.011
- 20 Кузнецов Е.В., Хаджиди А.Е., Полторак Я.А. Технология утилизации отходов сырья спирта // *Устойчивое развитие науки и образования*. 2019. № 2. С. 203–207.

References

- 1 Jiang H. et al. A novel thermoelectric distiller integrated with water cooling circulation for alcohol distillation. *Applied Thermal Engineering*. 2023. vol. 219. pp. 119392.
- 2 Thomas K.C., Hynes S.H., Ingledew W.M. Practical and theoretical considerations in the production of high concentrations of alcohol by fermentation. *Process Biochemistry*. 1996. vol. 31. no. 4. pp. 321-331.
- 3 Collura M.A., Luyben W.L. Energy-saving distillation designs in ethanol production. *Industrial & engineering chemistry research*. 1988. vol. 27. no. 9. pp. 1686-1696.
- 4 Regulations for the production of alcohol from starchy raw materials. Part 1. VNIIPrB, Moscow, 1979. 270 p. (in Russian).
- 5 Technological and integrated standards for water consumption and wastewater disposal for distilleries processing starchy raw materials. M., TsNIITEI Food Industry, 2002. 28 p. (in Russian).
- 6 Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of territories of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking water supply, atmospheric air, soil, residential premises, operation of industrial and public premises, organization and implementation of sanitary and anti-epidemic (preventive) measures." M., Information and Publishing Center of the State Committee for Sanitary and Epidemiological Supervision of Russia, 2021. 75 p. (in Russian).
- 7 Production of rectified ethyl alcohol and liquor products: Sanitary rules and regulations. M., "INTERSEN", 1998. 39 p. (in Russian).
- 8 Guo H.C. et al. Assessment of cleaner production options for the alcohol industry of China: a study in the Shouguang Alcohol Factory. *Journal of Cleaner Production*. 2006. vol. 14. no. 1. pp. 94-103.
- 9 Sushkova V.I. Basic principles of creating closed water consumption systems at enterprises. *Kronos: natural and technical sciences*. 2019. no. 6 (28). (in Russian).
- 10 Schestak I. et al. Heat recovery and water reuse in micro-distilleries improves eco-efficiency of alcohol production. *Journal of Environmental Management*. 2023. vol. 325. pp. 116468.
- 11 Schestak I. et al. Circular use of feed by-products from alcohol production mitigates water scarcity. *Sustainable Production and Consumption*. 2022. vol. 30. pp. 158-170.
12. Turshatov M.V., Ledenev V.P., Krivchenko V.A., Soloviev A.O. et al. Energy-saving aspects of the technology for processing grain into ethyl alcohol. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2022. vol. 36. no. 7. pp. 92–96. doi: 10.53859/02352451_2022_36_7_92 (in Russian).
- 13 Dyganova R.Ya., Belyaeva Yu.S. Greening the alcohol industry by recycling production waste in bioenergy plants. *Collection of scientific papers SWorld*. 2012. vol. 31. no. 1. pp. 69–70. (in Russian).
- 14 Popov V.P., Ganin E.V., Rakhumova S.Zh., Boronina Yu.S., Martynov N.N. Optimization of the technological process for the production of synthetic and hydrolytic ethyl alcohols. *Oil and Gas Business*. 2019. no. 3. pp. 195–210. doi: 10.17122/ogbus 2019–3–195–210 (in Russian).

15 Starovoitov V.I., Starovoitova O.A., Zvyagintsev P.S., Mandryka E.A. et al. Innovation is the key to accelerating the development of the agricultural sector of the economy. Storage and processing of agricultural raw materials. 2015. no. 7. pp. 5–11. (in Russian).

16 Chematur Engineering. Biostil/Ethanol. Available at: <https://chematur.se/technologies/bio-chemicals/biostil-ethanol/>

17 Prishchepov M.A., Rasolko L.A., Branch M.V., Rublik P.V. Resource efficiency of fermentation production. Agropanorama. 2012. no. 3(91). pp. 27–29. (in Russian).

18 Bykov A.V., Rakhumova S.Zh. Optimization of the technological process for the production of synthetic ethyl alcohol. Industry: new economic realities and development prospects: collection of articles of the I All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation): in 2 parts, Orenburg, May 17, 2017. Part 2. Orenburg, Press Agency, 2017. pp. 160–164. (in Russian).

19 Kirillov E.A., Turshatov M.V., Kononenko V.V., Solovyov A.O. et al. Modern trends in organizing the process of distillation in the production of alcohol from food raw materials. Food industry. 2022. no. 8. pp. 54–56. doi: 10.52653/PPI.2022.8.8.011 (in Russian).

20 Kuznetsov E.V., Khadzhidi A.E., Poltorak Ya.A. Technology for recycling raw alcohol waste. Sustainable development of science and education. 2019. no. 2. pp. 203–207. (in Russian).

Сведения об авторах

Михаил В. Туршатов к.т.н., заведующий отделом технологии спирта и комплексной переработки сырья, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., 4Б, г. Москва, 111033, Россия, lab78@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1277-5498>

Валентин В. Кононенко к.т.н., заведующий лабораторией технологии спирта, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., 4Б, г. Москва, 111033, Россия, lab78@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7568-5193>

Владимир П. Леденев к.т.н., заведующий лабораторией комплексной переработки сырья, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, lab78@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3628-0289>

Вера А. Кривченко к.т.н., в.н.с., лаборатория комплексной переработки сырья, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, lab78@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2951-9802>

Александр О. Соловьев м.н.с., лаборатория комплексной переработки сырья, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, lab78@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2666-6890>

Виктория Д. Никитенко инженер-технолог, лаборатория комплексной переработки сырья, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, lab78@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5314-3513>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Mikhail V. Turshatov Cand. Sci. (Engin.), head of the department of alcohol technology and complex processing of raw materials, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology - branch of the Federal State Budgetary Institution "Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety", Samokatnaya st., 4B, Moscow, 111033, Russia, lab78@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1277-5498>

Valentin V. Kononenko Cand. Sci. (Engin.), head of alcohol technology laboratory, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology - branch of the Federal State Budgetary Institution "Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety", Samokatnaya st., 4B, Moscow, 111033, Russia, lab78@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7568-5193>

Vladimir P. Ledenev Cand. Sci. (Engin.), head of the laboratory of complex processing of raw materials, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology - branch of the Federal State Budgetary Institution "Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety", Samokatnaya st., 4B, Moscow, 111033, Russia, lab78@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3628-0289>

Vera A. Krivchenko Cand. Sci. (Engin.), laboratory of complex processing of raw materials, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology - branch of the Federal State Budgetary Institution "Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety", Samokatnaya st., 4B, Moscow, 111033, Russia, lab78@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2951-9802>

Aleksandr O. Solovyev junior researcher, laboratory of complex processing of raw materials, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology - branch of the Federal State Budgetary Institution "Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety", Samokatnaya st., 4B, Moscow, 111033, Russia, lab78@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2666-6890>

Viktoriya D. Nikitenko process engineer, laboratory of complex processing of raw materials, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology - branch of the Federal State Budgetary Institution "Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety", Samokatnaya st., 4B, Moscow, 111033, Russia, lab78@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5314-3513>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 10/07/2023	После редакции 08/08/2023	Принята в печать 31/08/2023
Received 10/07/2023	Accepted in revised 08/08/2023	Accepted 31/08/2023

Особенности организации рационального питания студентов при занятиях массовой физической культурой и спортом

Виктор А. Питкин¹ irvik25@mail.ru  0000-0001-6356-6501
Анна Е. Симонова¹ annasimonova06@gmail.com

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

Аннотация. В данной статье исследуется проблема правильного питания в жизни современного студента ведущего активный образ жизни. Эта проблема особенно актуальна в настоящее время, ведь современный студент стал еще более целеустремленным и активным. А это значит, что на данный момент правильное питание молодежи является важнейшей проблемой, которую необходимо решать. Рассмотрим основы питания при занятиях физической культурой и спортом, а также проанализируем требования к питанию студентов, занимающихся физической культурой и спортом. В статье также обоснована необходимость сбалансированного питания при занятиях спортом, и раскрыты особенности организации рациона, в зависимости от интенсивности физической нагрузки. На основе оценивания частоты потребления жизненно-необходимых продуктов питания, анализируется рацион студентов КубГТУ. В исследовании приняли участие 60 студентов в возрасте от 20 до 22 лет. Были получены следующие результаты: питание большинства студентов нерационально, с недостаточным потреблением здоровой пищи. В большинстве случаев пользуются популярностью продукты быстрого питания. Проведенное исследование взаимосвязи между питанием, работоспособностью и особенностями образа жизни студентов убеждает нас в том, что нарушения особенностей здорового питания негативно сказывается на степени работоспособности и увеличивает вероятность появления вредных привычек. Все это говорит о низкой культуре правильного питания и необходимости проведения специальных мероприятий, освещающих данный вопрос. Правильное питание является неотъемлемой частью здорового образа жизни, и особенно важно для людей, ведущих активный образ жизни и занимающихся спортом. Несоблюдение правильного режима питания может привести к снижению физической выносливости, ослаблению иммунной системы и даже травмам во время тренировок. Важно понимать, что каждый спортсмен имеет свои индивидуальные потребности в питании, зависящие от его физиологических особенностей, вида спорта, уровня тренировок и других факторов. Поэтому необходимо разработать индивидуальный рацион питания, учитывая все эти факторы. Для спортсменов-студентов особенно важно соблюдать правильный режим питания, чтобы поддерживать свой умственный и физический тонус и достигать высоких результатов как в учебе, так и в спорте. Для этого необходимо уделить должное внимание составу пищи, выбору продуктов и режиму приема пищи. Кроме того, важно помнить о необходимости употребления достаточного количества воды, поскольку спортсмены теряют много жидкости во время тренировок, и дефицит воды может привести к дегидратации, снижению физической выносливости и другим проблемам со здоровьем. Наше исследование определило режим питания спортсменов-студентов на основе данных, полученных из опроса.

Ключевые слова: питание, спорт, физическая культура, студент, белки, жиры, углеводы, рацион питания.

Features of the organization of rational nutrition of students during mass physical culture and sports

Viktor A. Pitkin¹ irvik25@mail.ru  0000-0001-6356-6501
Anna E. Simonova¹ annasimonova06@gmail.com

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

Abstract. This article explores the problem of proper nutrition in the life of a modern student leading an active lifestyle. This problem is especially relevant at the present time, because the modern student has become even more purposeful and active. And this means that at the moment, proper nutrition of young people is the most important problem that needs to be addressed. Consider the basics of nutrition in physical education and sports, and analyze the nutritional requirements of students involved in physical education and sports. The article also substantiates the need for a balanced diet when playing sports, and reveals the features of the organization of the diet, depending on the intensity of physical activity. Based on the assessment of the frequency of consumption of vital foodstuffs, the diet of KubGTU students is analyzed. The study involved 60 students aged 20 to 22 years. The following results were obtained: the nutrition of the majority of students is irrational, with insufficient consumption of healthy food. In most cases, fast food products are popular. The conducted study of the relationship between nutrition, working capacity and lifestyle characteristics of students convinces us that violations of healthy eating habits negatively affect the degree of working capacity and increase the likelihood of bad habits. All this indicates a low culture of proper nutrition and the need for special events that highlight this issue. Proper nutrition is an integral part of a healthy lifestyle, and is especially important for people who lead an active lifestyle and play sports. Failure to follow a proper diet can lead to reduced physical endurance, a weakened immune system, and even injury during exercise. It is important to understand that each athlete has their own individual nutritional needs, depending on their physiological characteristics, sport, training level and other factors. Therefore, it is necessary to develop an individual diet, taking into account all these factors. For student athletes, it is especially important to follow the right diet in order to maintain their mental and physical tone and achieve high results both in school and in sports. To do this, it is necessary to pay due attention to the composition of food, the choice of products and the mode of eating. In addition, it is important to remember to drink enough water, as athletes lose a lot of fluid during training, and water deficiency can lead to dehydration, reduced physical endurance and other health problems. Our study determined the diet of student athletes based on data obtained from the survey.

Keywords: nutrition, sports, physical culture, student, proteins, fats, carbohydrates, diet.

Для цитирования

Питкин В.А., Симонова А.Е.. Особенности организации рационального питания студентов при занятиях массовой физической культурой и спортом // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 90–97. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-90-97

For citation

Pitkin V.A., Simonova A.E. Features of the organization of rational nutrition of students during mass physical culture and sports. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 90–97. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-90-97

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

Введение

Правильное питание является неотъемлемой частью жизни любого студента ведущего активный образ жизни. Каждый человек занимающийся физическими нагрузками, уделяет особое внимание своему ежедневному рациону и поддержанию здоровья во время тренировок. В реальных условиях подготовки большинству спортсменов, особенно студентам приходится самостоятельно выстраивать рацион и устанавливать график приёма пищи в соответствии с графиком тренировок и учебы. Объяснение особенностей рациона питания при активных тренировках позволяет обосновать необходимые и профилактические мероприятия, что повысит уровень понимания важности своего здоровья среди студентов [1, 3, 4].

Питание также является важным фактором повышения работоспособности спортсменов, устойчивости их организма к экстремальным воздействиям, адаптации к различным условиям внешней среды, служит сохранению и укреплению здоровья на всех этапах круглогодичной тренировки [6, 18]. Крайне важно при этом снабжение организма необходимым количеством энергии, соответствующим её расходованию в процессе учебной и особенно спортивной работы. Энерготраты в этих условиях зависят от характера, интенсивности и объёма физических нагрузок, от уровня мастерства студента-спортсмена, от его антропометрических характеристик ит. д. [5, 12]. По мнению преподавателей физкультуры и тренеров: «Полноценный рацион является ключом к спортивному росту и достижениям, кроме того, он обеспечивает быстрое восстановление сил спортсмена и предотвращает развитие многих заболеваний, связанных с истощением организма тренировками» [2, 20]. Объяснение особенностей рациона питания при активных тренировках позволяет обосновать необходимые и профилактические мероприятия, что повысит уровень понимания важности своего здоровья среди студентов [3, 11, 19].

Цель работы – исследование специфики питания студентов и установление связи работоспособности с образом жизни и поддержание здоровья студентов ведущих активный образ жизни с помощью полноценного рациона питания, учитывая особенности организма при индивидуальных заболеваниях и непереносимости пищи. Также описать элементы правильного питания: их состав, уникальность и как они влияют при физических нагрузках на здоровье человека.

Материалы и методы

В последние годы общество все больше обращает внимание на здоровый образ жизни студентов, так как возникает озабоченность

по поводу здоровья выпускаемых высшими учебными заведениями специалистов. Это связано с ростом заболеваемости в процессе профессиональной подготовки и последующим снижением работоспособности. Однако важно понимать, что здоровый образ жизни не является отдельной формой жизни, а представляет собой результат сложного взаимодействия различных социальных, средовых, внешних и внутренних факторов, включая биологические.

Здоровье любого человека – есть результат сложного взаимодействия социальных, средовых, внешних и внутренних и биологических факторов. Считается, что вклад различных влияний в состояние здоровья следующий:

- наследственность – 30%;
- окружающая среда – 15%;
- уровень медицинской помощи – 15%;
- образ жизни – 60%.
- человеческий фактор – 30% (физическое здоровье – 15%, психическое здоровье – 10%);
- экологический фактор – 25% (экзо-экология – 10%, эндоэкология – 15%);
- социально-педагогический фактор – 40% (образ жизни: материальные условия труда и быта – 15%, поведение, режим и образ жизни, выработанные привычки – 25%);
- медицинский фактор – 10%

Академик И.П. Павлов считал, что питание – это настоящее искусство, которое требует соблюдения определенных правил, установленных физиологией и народной мудростью. Неправильный рацион, неправильный выбор и сочетание продуктов, а также неправильный прием пищи могут вызывать многие заболевания, такие как язвенная болезнь, гастриты, энтероколиты, панкреатиты, некоторые формы гепатита, атеросклероз, ишемическая болезнь сердца и т. д., а также плохое самочувствие и бессонницу [9].

Поэтому, умение питаться считается настоящей наукой, которую необходимо изучать и воспитывать с детства. Важно пропагандировать культуру питания и занятия спортом не только в высших учебных заведениях, но и в детских садах, школах, на производстве и в других учреждениях, чтобы сделать их знаниями необходимыми для здорового образа жизни. Конечной целью здорового образа жизни является продление жизни человека [21].

Для ориентировочного представления о средних величинах энерготрат студентов в процессе занятий физической культурой и спортом в таблице 1 приводится условное распределение данного контингента на четыре группы, отличающиеся разным уровнем энерготрат.

Таблица 1.

Средние величины энерготрат студентов-спортсменов, ккал в сутки

Table 1.

Average energy consumption of student-athletes, kcal per day

Группы Groups	Общие энерготраты группы Group's total energy consumption	Энерготраты Energy consumption	
		Мужчины Men	Женщины Women
Студенты, занимающиеся физическим воспитанием по вузовской программе. Students involved in physical education under the university program.	2800–3000	3000–3200	2800–3000
Студенты-спортсмены, занимающиеся в отделениях спортивного совершенствования. Student-athletes engaged in sports improvement departments.	3200–4000	3500–4000	3200–3500
Студенты-спортсмены старших разрядов, занимающиеся в отделениях спортивного совершенствования, а также студенты вузов физкультурного профиля. Students-athletes of the senior categories, engaged in the departments of sports improvement, as well as students of universities of physical education	3500–4500	4000–4500	3500–4000
Студенты-спортсмены старших разрядов, занимающиеся в объединённых (межвузовских) учебных отделениях по спортивному совершенствованию. Student-athletes of the senior levels, engaged in the united (interuniversity) educational departments for sports improvement.	4500–6000	5000–6000	4500–5000

Разумеется, в рамках каждой группы энерготраты могут быть и более высокими, особенно у представителей отдельных видов спорта, в зависимости от объёма и интенсивности выполняемой работы, периодов спортивной деятельности, а также в условиях исключительно напряжённого тренировочного режима. Совершенно очевидно, что калорийность рационов студентов, отнесённых к рассмотренным выше группам, должна соответствовать затратам их энергии. С общей калорийностью рационов тесно связана и потребность в основных пищевых веществах. Она рассчитывается с учётом процента калорийности, обеспечиваемой каждым пищевым веществом в общей калорийности рациона. При этом оптимальное процентное соотношение между белками, жирами и углеводами должно быть следующим: 14:30:56. Такое соотношение правильное при калорийности рациона до 4500 ккал, при более высокой калорийности доля белка в калорийном обеспечении рациона снижается: при калорийности 4500 ккал – до 13,5%, 5000 ккал – до 13%, 6000 ккал – до 12%. Обусловлено это тем, что при чрезмерном потреблении белков в связи с ростом расхода энергии и,

следовательно, общей калорийности питания возможно неполное их усвоение, что приводит к усилению процессов гниения в кишечнике и, кроме того, к возникновению экзогенного имбаланса аминокислот. Наряду с этим процент калорийности, обеспечиваемый углеводами, возрастает до 57–58, когда как потребление жира остаётся прежним. В то же время при обеспечении скорости наращивания мышечной массы и увеличения силы содержание белков в питании студентов-спортсменов необходимо повысить до 16% по калорийности. На основании приведённых величин рассчитывается энергетическая ценность каждого из пищевых веществ в рационе, и с помощью уточнённых энергетических коэффициентов (для белков – 4,00 ккал/г, для жиров – 9,00 ккал/г, для углеводов – 4,00 ккал/г) легко вычисляется содержание основных ингредиентов пищи в весовых единицах. Потребности студентов, занимающихся физической культурой и спортом в энергии и основных веществах в зависимости от энерготрат приводятся в таблице 2. В ней же отражены и количественные соотношения между разными по происхождению и составу белками, жирами и углеводами.

Таблица 2.

Потребность в основных пищевых веществах и энергии

Table 2.

Requirements for essential nutrients and energy

Калорийность, ккал Calorie content, kcal	Белки, гр. Proteins, gr.		Жиры, гр. Fats, gr.		Углеводы, гр. Carbohydrates, gr.	Полисахариды Polysaccharides
	Всего Total	Животные Animals	Всего Total	Животные Animals		
		Растительные Vegetable		Растительные Vegetable	Всего Total	Моно Дисахариды Mono Disaccharides
2800	98	61/38	93	70/23	418	279/139
3000	102	63/42	100	75/25	447	298/149
3200	112	67/45	98	74/24	480	320/160
3500	122	72/50	117	88/29	522	348/174
4000	140	84/56	133	100/33	597	398/199
4500	151	90/61	150	137/13	674	450/224
5000	162	97/65	169	127/42	722	515/257
5500	179	107/72	183	137/46	836	558/278
6000	180	108/72	200	150/50	898	599/299

Так, хорошо известно, что для оптимального обеспечения организма взрослого человека белком необходимо, чтобы животный белок составлял не менее 50% от общего количества белка в рационе. Однако, учитывая возраст студентов, соответствующий периоду завершения их роста и физического формирования, а также значительные физические и нервно-психические напряжения, обусловленные влиянием учебных и спортивных нагрузок, количество белка животного происхождения целесообразно увеличить до 55–60% от общего количества белка в рационе [5, 13].

В питании студентов-спортсменов следует обратить особое внимание на биологическую ценность жира, которая определяется не только его высокой калорийностью, но и наличием отдельных полиненасыщенных жирных кислот (главным образом в составе растительных жиров), которые не могут быть синтезированы организмом. Считается целесообразным включать в рацион студентов-спортсменов 20–25% растительных масел от общего количества жира.

Наряду с этим углеводная часть рациона должна состоять на две трети из крахмала в виде полисахаридов, содержащихся в большом количестве в крупах, хлебобулочных и макаронных изделиях, картофеле и других продуктах, и на треть из простых сахаров – моно- и дисахаридов, представленных обычным сахаром, вареньем, глюкозой, мёдом, кондитерскими изделиями и пр. При таком распределении создаются наиболее благоприятные условия для использования углеводов [4, 6].

Немалое место в питании студентов-спортсменов занимают витамины. Наиболее необходимыми следует считать витамины А, Е, В1, В2, В6, РР, С и Р. Они играют важную роль в нормализации обменных процессов при физических нагрузках, активно влияют на умственную и спортивную работоспособность, оказывают благоприятное воздействие на организм в целом. Их количество при обеспечении питания студентов-спортсменов, необходимо рассчитывать с учётом энерготрат. Результаты наших многолетних исследований показали, что в питании студентов-спортсменов необходимо руководствоваться следующими витаминно-калорийными коэффициентами: витамина А – 0,75 мг, витамина Е – 5,0 мг, витамина В1 – 0,65 мг, витамина В2 – 0,65 мг, витамина В6 – 1,2 мг, витамина РР – 11,0 мг, витамина С – 40,0 мг на каждые 1000 калорий.

Установлена также ориентировочная потребность в витамине Р (в виде пурина), составляющая 50 мг в день. На основании суточной потребности в калориях и разработанных витаминно-калорийных коэффициентов

легко рассчитать суточные нормы витаминов для студентов II, III и IV групп, отличающихся разным уровнем энерготрат (см. таблица 1).

Минеральные вещества в рационе студентов-спортсменов представляют интерес с точки зрения поддержания кислотно-щелочного равновесия в организме и лучшей возбудимости нервной и мышечной ткани, адаптации к кислородной недостаточности, повышения силы и выносливости и т. д.

Минеральные вещества являются одним из ключевых элементов, необходимых для поддержания жизнедеятельности организма. Они участвуют в множестве процессов, начиная от поддержания структуры костей и зубов, и заканчивая участием в метаболизме и энергетических процессах организма. Некоторые минеральные вещества, такие как кальций, фосфор и магний, являются строительными блоками костей и зубов, а также участвуют в регуляции нервной системы и мышечных сокращений. Железо и цинк являются ключевыми элементами, необходимыми для образования гемоглобина и эритроцитов, которые несут кислород по всему организму. Некоторые минеральные вещества также играют важную роль в метаболизме и энергетических процессах организма. Например, калий, натрий и хлор являются электролитами, которые помогают поддерживать баланс воды и электролитов в организме, регулируют кровяное давление и участвуют в передаче нервных импульсов. Недостаток минеральных веществ может привести к различным проблемам со здоровьем, таким как остеопороз, анемия, дефицит витаминов, нарушение работы сердечно-сосудистой и нервной системы, а также замедление метаболизма и снижение иммунной защиты организма. Поэтому важно уделять внимание составу питания, чтобы обеспечить достаточное количество минеральных веществ, необходимых для поддержания здоровья и оптимальной работоспособности организма. У студентов-спортсменов потребность в калии и натрии должна быть на 20–25%, в кальции – на 20–40%, в железе (главным образом у женщин) – на 30%, в фосфоре и магнии почти в 1,5 раза выше, чем это определено для не занимающихся спортом людей.

Большое значение для студентов-спортсменов имеет также выбор адекватных форм питания (продуктов, пищевых веществ и их комбинаций) и приёмов пищи, приходящихся на периоды интенсивных нагрузок, подготовки к соревнованиям и восстановительный период. Например, работа с максимальной и субмаксимальной мощностью при недостаточном кислородном обеспечении организма (спринтеры, прыгуны в длину, баскетболисты, хоккеисты и др.)

вызывает необходимость увеличения в пище углеводов за счёт снижения количества жира и дополнительного приёма витаминов С, В1, В2, В12, В15.

Ещё один пример того, как адекватное питание может повысить результаты спортсменов-студентов, связан с интенсивными силовыми тренировками. При динамических или статических усилиях, сопровождающихся напряжением мышц и развитием силы (гимнасты, тяжелоатлеты, легкоатлеты метатели, борцы и др.) для успешной тренировки и улучшения результатов необходимо увеличивать потребление белковой пищи для поддержания и роста мышечной массы, а также углеводов для энергетического снабжения организма. Помимо этого, важно также контролировать прием жиров, чтобы не допустить их избытка в организме. Также необходимо употреблять в достаточном количестве продукты, содержащие витамины группы Е и В. Определенный баланс питательных веществ в пище и контролируемый прием пищи могут помочь спортсменам-студентам достичь лучших результатов в спорте и повысить свою работоспособность в учебе.

Велико значение рационального питания и для поддержания оптимального веса студента-спортсмена. Хорошо известно, что как потеря веса, так и прибавка его сверх свойственного каждому спортсмену так называемого рабочего веса, характерного для состояния спортивной формы, отрицательно сказывается на результатах участия в соревнованиях. Однако программа контроля веса тела требует от спортсмена не только известных ограничений и волевых усилий, но и специальных основ рационального питания.

Основы рационального питания для студентов-спортсменов включают в себя несколько ключевых аспектов. Во-первых, студент-спортсмен должен получать достаточное количество белков, так как они являются основным строительным материалом мышц и необходимы для их роста и восстановления после тренировок. Во-вторых, важно обеспечивать организм

энергией, которая получается из углеводов. Они являются источником быстрой энергии и необходимы для поддержания уровня глюкозы в крови. В-третьих, для правильной работы организма необходимо потреблять достаточное количество жиров, включая полезные ненасыщенные жиры, которые важны для обмена веществ и синтеза гормонов. В-четвертых, следует употреблять достаточное количество витаминов и минералов, которые играют важную роль в регуляции метаболических процессов в организме. Наконец, важно следить за режимом приема пищи, чтобы обеспечить организм питательными веществами в нужное время и в нужном количестве. Рациональное питание должно быть адаптировано к индивидуальным потребностям каждого спортсмена, учитывая его вид спорта, физические нагрузки, режим тренировок и общее состояние здоровья.

Существенный интерес для студентов спортсменов приобретает разработка принципов индивидуализации питания. Принципы индивидуального питания являются важной составляющей для достижения наилучших результатов в спорте и общей поддержки здоровья. Они заключаются в учете индивидуальных особенностей каждого человека, таких как возраст, пол, уровень активности, состояние здоровья и т. д. Основой индивидуального питания является правильное распределение белков, жиров и углеводов в рационе, а также включение необходимых витаминов, минералов и микроэлементов. Кроме того, в индивидуальном питании учитывается также суточный режим, режим тренировок и сна, а также возможные проблемы со здоровьем и индивидуальные предпочтения в пище. Все эти факторы позволяют создать оптимальный рацион, удовлетворяющий потребности каждого человека и способствующий достижению лучших результатов в спорте и поддержанию здоровья. С учётом отмеченных особенностей при составлении меню для спортсмена целесообразно использовать продукты шести основных групп (таблица 3).

Таблица 3.

Основные группы продуктов питания

Table 3.

Main food groups

Группы Groups	Продукты питания Food	Частота употребления в течении дня Frequency of use during the day
1	Молоко и молочные продукты Milk and dairy products	3–4 раза 3–4 times
2	Мясо, рыба, птица и продукты, приготовленные из них Meat, fish, poultry and products prepared incl.	3 раза 3 times
3	Мука, хлебобулочные изделия, крупы, сахар, макаронные и конд. изделия, картофель Flour, baked goods, cereals, sugar, pasta and confectionery, potatoes	3–4 раза 3–4 times
4	Жиры Fats	3–4 раза 3–4 times
5	Овощи Vegetables	3 раза 3 times
6	Фрукты и ягоды Fruits and berries	3 раза 3 times

Особое внимание следует обратить на среднесуточный набор продуктов. На него можно ориентироваться при составлении рационов питания для студентов спортсменов, предварительно оценив затраты их энергии. Например, если общая калорийность такого рациона составляет 3500 ккал при содержании 122 г. белков, 117 г. жиров и 522 углеводов, то он включает (в граммах рыночного продукта):

1. Мясо и мясопродукты – 250 г.
2. Рыба и рыбопродукты – 100 г.
3. Творог – 75 г.
4. Молочные продукты (молоко, кефир, ряженка и др.) – 400 г.
5. Масло сливочное – 55 г.
6. Сыр – 30 г.
7. Яйца – 1 шт. – 50 г.
8. Масло растительное – 15 г.
9. Сметана – 10 г.
10. Крупы (все виды) – 80–90 г.
11. Картофель – 400 г.
12. Овощи – 400 г.
13. Фрукты – 200 г. и более.
14. Соки – 200 г. и более.
15. Сухофрукты – 20 г.
16. Сахар, мёд, конфеты, кондитерские изделия – 100 г.

17. Хлеб (чёрный и белый) – 200/200 г.

Некоторые из компонентов набора являются обобщёнными представителями одноименной группы продуктов: мясо – все мясопродукты, т. е. говядина, свинина, колбаса, птица, субпродукты и др., овощи – все виды овощей; крупы – все виды

круп и т. д. Очень важно, чтобы ассортимент этих продуктов внутри каждой группы был по возможности более разнообразным. Разнообразное питание является важным аспектом здорового образа жизни и питания, особенно для студентов-спортсменов, которые испытывают повышенную потребность в питательных веществах. Разнообразные продукты содержат различные витамины, минералы и другие питательные вещества, которые необходимы для поддержания здоровья и физической формы. Кроме того, разнообразное питание помогает предотвратить дефицит каких-либо питательных веществ, который может возникнуть при ограничении потребления определенных продуктов. Наконец, разнообразное питание может предотвратить привыкание к однообразной пище, что может привести к утомлению от пищевых продуктов и недостатку энергии в организме. Поэтому, для достижения наилучших результатов, студенты-спортсмены должны следить за тем, чтобы их рацион был максимально разнообразным и полноценным. При составлении рациона и выборе продуктов для студентов-спортсменов необходимо учитывать также неодинаковую скорость эвакуации продуктов из желудка в кишечник (таблица 4). Это особенно важно для соблюдения правильных интервалов времени между приёмами пищи, началом тренировочных занятий и соревнований, при многократных тренировках, когда усвоение больших количеств пищи в 3–4 приёма затруднено.

Таблица 4.

Продолжительность задержки пищевых продуктов в желудке (порции 150–250 г.)

Table 4.

The duration of food retention in the stomach (servings 150–250 g)

1–2 ч. 1–2 hours	2–3 ч. 2–3 hours	3–4 ч 3–4 hours	4–5 ч 4–5 hours
Вода, чай, какао, кофе без примесей, молоко, бульон, яйца всмятку. Water, tea, cocoa, coffee without impurities, milk, broth, soft-boiled eggs.	Кофе, какао с молоком, сливками, яйца вкрутую, рыба отварная, телятина отварная, свежая вишня. Coffee, cocoa with milk, cream, hard-boiled eggs, boiled fish, boiled veal, fresh cherries.	Жаренная курица, говядина, хлеб, яблоки, рис, отварной картофель, капуста. Fried chicken, beef, bread, apples, rice, boiled potatoes, cabbage.	Жаркое (мясо, дичь), селедка, пюре гороховое, тушенные бобы, жир бараний и свиной. Roast (meat, game), herring, mashed peas, stewed beans, mutton and pork fat.

У студентов – представителей видов спорта, связанных с длительными физическими нагрузками на выносливость, от момента основного приёма пищи до тренировки должно проходить не менее 1,5–2 ч., а у представителей видов спорта, относящихся к скоростно-силовым, около 3 ч. В период соревнований последний приём пищи целесообразен за 3–4 ч до старта. Благодаря этому устраняется отрицательное влияние предстартовых эмоций на пищеварение, которое осуществляет подготовку организма к работе [15,16]. Выступать на соревнованиях натощак крайне недопустимо, так как организм не получает необходимое количество энергии, необходимой

для обеспечения высокой физической активности. Это может привести к быстрому истощению запасов гликогена и снижению уровня сахара в крови, что в свою очередь может вызвать серьезные проблемы со здоровьем. Кроме того, отсутствие питания перед соревнованием может снизить концентрацию, повлиять на координацию движений, увеличить риск получения травмы и снизить способность к быстрому восстановлению после соревнования. Поэтому важно питаться правильно и регулярно, особенно в периоды интенсивных тренировок и перед соревнованиями.

Кроме того, распределение рациона должно строго согласовываться с режимом тренировок и соревнований. В период учебных занятий в вузе при обычных вечерних тренировках можно придерживаться 3–4-разового питания. На тренировочных сборах рекомендуется 4–5 – кратный приём пищи в день.

Заключение

Особенности тренировок и современного образа жизни студентов заставляют поднимать вопрос о необходимости сочетания небольших объёмов биологически полноценной пищи с высокой её калорийностью. Специализированное питание студентов-спортсменов с использованием продуктов повышенной биологической ценности оказывает направленное влияние на обмен веществ в организме как во время выполнения физических нагрузок, так и в период отдыха между ними и после них. Благодаря этому

создаются лучшие условия для пластического и энергетического обеспечения мышечной деятельности. Однако в каждом конкретном случае применение продуктов повышенной биологической ценности определяется задачами тренировки и выступления на соревнованиях, служит целям корректировки рациона и осуществляется при строгом контроле со стороны врача и диетолога. Таковы сведения и современные представления об основных требованиях к построению питания студентов спортсменов. Точное их выполнение повышает эффективность тренировки, соревновательной и учебной деятельности студентов, отвечает интересам сохранения и укрепления здоровья рассматриваемого контингента.

Необходимо помнить, что правильное и сбалансированное питание обойдется значительно дешевле и позволит достичь желаемых результатов [17].

Литература

- 1 Черных Е.В. Практика спортивной школы по формированию социальной активности спортсменов // Развитие физической культуры и спорта в контексте самореализации человека в современных социально-экономических условиях: материалы XI Всероссийской научно-практической конференции. Липецк, 2018. С. 104–108.
- 2 Никитина А.С., Быков А.В. Питание спортсменов как необходимое условие достижения высоких результатов // Молодой ученый. 2016. № 23 (127). С. 560–562.
- 3 Питкин В.А., Шабельный А.П. Особенности питания тяжелоатлетов // Вестник Воронежского государственного университета. 2022. Т. 84. № 2 (92). С. 122–127.
- 4 Питкин В.А., Синько О.В., Хрипко И.А. Роль правильного питания в жизни студента // Вестник Воронежского государственного университета. 2022. Т. 84. № 2 (92). С. 110–114.
- 5 Jeukendrup A.E. Periodized nutrition for athletes // Sports medicine. 2017. V. 47. №. 1. P. 51-63.
- 6 Парастаев С. Питание спортсменов. Рекомендации для практического применения (на примере футбола). М.: Спорт, 2018. 102 с.
- 7 Фицджеральд М. Диета чемпионов. 5 принципов питания лучших спортсменов. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2017. С. 320.
- 8 Чувилин В.В., Гущина И.А. Методы восстановления физической работоспособности студентов Электронный журнал: наука, техника и образование. 2018. № СВ1 (18). С. 203–208.
- 9 Питкин В.А., Холодная Л.А. Питание студентов в режиме рабочего дня // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 2. С. 67–71.
- 10 Thomas D.T., Erdman K.A., Burke L.M. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: nutrition and athletic performance // Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. 2016. V. 116. №. 3. P. 501-528. doi:10.1016/j.jand.2015.12.006
- 11 Кайшева А.И., Питкин В.А., Лысенко Н.В., Ерёмченко В.Н. и др. Влияние питания на функциональное состояние человека занимающегося физической культурой // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2021. № 2. С. 243–247.
- 12 Борисова О.О. Питание спортсменов: зарубежный опыт и практические рекомендации (учебно-методическое пособие) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2010. №. 6. С. 21-22.
- 13 Purcell L.K., Canadian Paediatric Society, Paediatric Sports and Exercise Medicine Section. Sport nutrition for young athletes // Paediatrics & child health. 2013. V. 18. №. 4. P. 200-202.
- 14 Смирнов В.М., Дубровский В.И. Физиология физического воспитания и спорта. М.: ФиС, 2002. 608 с.
- 15 Andrews A. et al. Sports nutrition knowledge among mid-major division I university student-athletes // Journal of nutrition and metabolism. 2016. V. 2016. doi:10.1155/2016/3172460
- 16 Doherty R., Madigan S., Warrington G., Ellis J. Sleep and nutrition interactions: implications for athletes // Nutrients. 2019. V. 11. №. 4. P. 822.
- 17 Помогаева Н.С., Каменский Д.А. Использование спортивных добавок для наращивания мышечной массы в процессе физического совершенствования обучающихся // Научное обозрение. Биологические науки. 2022. № 2. С. 19–23.
- 18 Лосев Ю.Н., Руденко Г.В., Батурин А.Е. Изучение мотивации к занятиям физической подготовкой у студентов Санкт-Петербургской академии Следственного комитета // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2018. № 3 (157). С. 199–203
- 19 Давлетова Н.Х., Тафеева Е.А. Анализ готовности студентов спортивного вуза вести здоровый образ жизни // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2021. Т. 15. №. 6. С. 56-62.
- 20 Захарова Е.А. Ориентирование студентов на здоровый образ жизни // Педагогика и современное образование: традиции, опыт и инновации. 2020. № 2. С. 124–126.
- 21 Кирьянова Л.А., Морозова Л.В. Формирование мотивационных установок на здоровый образ жизни студентов Северо-Западного института управления // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2020. № 3(181). С. 213–219.
- 22 Виленский М.Я., Горшков А.Г. Физическая культура и здоровый образ жизни студента. Москва: Кнорус, 2015. 240 с.

References

- 1 Chernykh E.V. Practice of a sports school on the formation of social activity of athletes. Development of physical culture and sports in the context of human self-realization in modern socio-economic conditions: materials of the XI All-Russian scientific and practical conference. Lipetsk, 2018. pp. 104–108. (in Russian).
- 2 Nikitina A.S., Bykov A.V. Nutrition of athletes as a necessary condition for achieving high results. Young scientist. 2016. no. 23 (127). pp. 560–562. (in Russian).
- 3 Pitkin V.A., Shabelny A.P. Features of nutrition of weightlifters. Bulletin of Voronezh State University. 2022. vol. 84. no. 2 (92). pp. 122–127. (in Russian).
- 4 Pitkin V.A., Sinko O.V., Khripko I.A. The role of proper nutrition in the life of a student. Bulletin of Voronezh State University. 2022. vol. 84. no. 2 (92). pp. 110–114. (in Russian).
- 5 Jeukendrup A.E. Periodized nutrition for athletes. Sports medicine. 2017. vol. 47. no. 1. pp. 51–63.
- 6 Parastaev S. Nutrition for athletes. Recommendations for practical application (using the example of football). M., Sport, 2018. 102 p. (in Russian).
- 7 Fitzgerald M. Diet of Champions. 5 principles of nutrition for the best athletes. M., Mann, Ivanov and Ferber, 2017. pp. 320. (in Russian).
- 8 Chuvilin V.V., Gushchina I.A. Methods for restoring physical performance of students Electronic journal: science, technology and education. 2018. no. SV1 (18). pp. 203–208. (in Russian).
- 9 Pitkin V.A., Kholodnaya L.A. Meals for students during the working day. Proceedings of VSUET. 2021. vol. 83. no. 2. pp. 67–71. (in Russian).
- 10 Thomas D.T., Erdman K.A., Burke L.M. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: nutrition and athletic performance. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. 2016. vol. 116. no. 3. pp. 501–528. doi: 10.1016/j.jand.2015.12.006
- 11 Kaisheva A.I., Pitkin V.A., Lysenko N.V., Eremenko V.N. et al. The influence of nutrition on the functional state of a person engaged in physical culture. Science. Technique. Technologies (Polytechnic Bulletin). 2021. no. 2. pp. 243–247. (in Russian).
- 12 Borisova O.O. Nutrition for athletes: foreign experience and practical recommendations (educational manual). International Journal of Applied and Fundamental Research. 2010. no. 6. pp. 21–22. (in Russian).
- 13 Purcell L.K., Canadian Paediatric Society, Paediatric Sports and Exercise Medicine Section. Sport nutrition for young athletes. Paediatrics & child health. 2013. vol. 18. no. 4. pp. 200–202.
- 14 Smirnov V.M., Dubrovsky V.I. Physiology of physical education and sports. M., FiS, 2002. 608 p. (in Russian).
- 15 Andrews A. et al. Sports nutrition knowledge among mid-major division I university student-athletes. Journal of nutrition and metabolism. 2016. vol. 2016. doi:10.1155/2016/3172460
- 16 Doherty R., Madigan S., Warrington G., Ellis J. Sleep and nutrition interactions: implications for athletes. Nutrients. 2019. vol. 11. no. 4. pp. 822.
- 17 Pomogaeva N.S., Kamensky D.A. The use of sports supplements to build muscle mass in the process of physical improvement of students. Scientific Review. Biological Sciences. 2022. no. 2. pp. 19–23. (in Russian).
- 18 Losev Yu.N., Rudenko G.V., Baturin A.E. Studying the motivation for physical training among students of the St. Petersburg Academy of the Investigative Committee. Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta. 2018. no. 3 (157). pp. 199–203. (in Russian).
- 19 Davletova N.Kh., Tafeeva E.A. Analysis of the readiness of sports university students to lead a healthy lifestyle. Bulletin of new medical technologies. Electronic edition. 2021. vol. 15. no. 6. pp. 56–62. (in Russian).
- 20 Zakharova E.A. Orienting students to a healthy lifestyle. Pedagogy and modern education: traditions, experience and innovations. 2020. no. 2. pp. 124–126. (in Russian).
- 21 Kiryanova L.A., Morozova L.V. Formation of motivational attitudes for a healthy lifestyle among students of the North-Western Institute of Management. Scientific Notes of the University named after. P.F. Lesgafta. 2020. no. 3(181). pp. 213–219. (in Russian).
- 22 Vilensky M.Ya., Gorshkov A.G. Physical culture and healthy lifestyle of a student. Moscow, Knorus, 2015. 240 p. (in Russian).

Сведения об авторах

Виктор А. Питкин старший преподаватель, кафедра физического воспитания и спорта, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, irvik25@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6356-6501>

Анна Е. Симонова студент, институт компьютерных систем и информационной безопасности, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, annasimonova06@gmail.com

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Viktor A. Pitkin senior lecturer, physical education and sports department, Kuban State Technological University, st. Moskovskaya, 2, Krasnodar, 350072, Russia, irvik25@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6356-6501>

Anna E. Simonova student, Institute of Computer Systems and Information Security, Kuban State Technological University, st. Moskovskaya, 2, Krasnodar, 350072, Russia, annasimonova06@gmail.com

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 14/07/2023	После редакции 08/08/2023	Принята в печать 01/09/2023
Received 14/07/2023	Accepted in revised 08/08/2023	Accepted 01/09/2023

Многокритериальная оптимизация процессов Cook&Chill для сетевых предприятий питания

Александр Е. Еремин¹ ae_eremin@yahoo.com
Марина А. Беляева² belyaeva.ma@rea.ru

¹ Food Consulting Group, Москва, Россия

² Российский экономический университет им. Г.В.Плеханова, Стремянный переулок, 36, 117997, Москва, Россия

Аннотация. В статье приведены инновационные технологии Cook&Chill, описаны этапы технологического производства продукции. Особенности технологических процессов в индустрии питания это те ключевые параметры, от которых зависит, какие классы и виды роботизированного и автоматизированного теплового оборудования необходимо применять на конкретной точке питания, в конкретном горячем цехе, чтобы повысить экономическую эффективность его использования, освободить от ручного труда работников и облегчить эксплуатацию, обеспечить высокий уровень автоматизации труда, показана оптимизация процессов Cook and Chill связана с большим количеством критериев выбора эффективной версии или варианта, который включает критерии минимальной погрешности от стандартного состава рецептур, набора аминокислот в продуктах, жирнокислотного состава; наличие витаминов; наличие микроэлементов, а также меру переваримости пищи, биологической, питательной и энергетической ценности или калорийности продукта. Cook&Chill в данном ключе соответствует в полной мере всем критериям и показателям, позволяя рационально управлять ценообразованием продукта за счет снижения затрат на производство блюда. Эффективность метода апробирована мировым опытом и практикой. Технология Cook and Chill дает возможность повысить выход партий в несколько раз. Технология приготовления блюд не требует никаких новшеств и трансформации рецептур и могут быть использованы стандартные нормативно-технологические документы. Технологию Cook and Chill можно эффективно применять на предприятиях с разным ассортиментным составом и выпускаемой продукции, до самого широкого, и любой мощности. Данная технология предполагает применение типового аппаратов и устройств, таких как пароконвектомат, СВЧ- и ИК-печи, системы интенсивного охлаждения воздушного типа (blast-chiller) или водяного типа (tumbler-chiller или turbojet-chiller).

Ключевые слова: оптимизация, Cook and Chill, критерии, инновационные технологии.

Multi-criteria optimization of Cook&Chill processes for network catering establishments

Alexander E. Eremin¹ ae_eremin@yahoo.com
Marina A. Belyaeva² belyaeva.ma@rea.ru

¹ Food Consulting Group, Moscow, Russia

² Russian University of Economics. G.V.Plekhanov, 36, Stremyanny Pereulok, 117997, Moscow, Russia

Abstract. The article presents innovative Cook&Chill technologies, describes the stages of technological production of products. The nature of the technological processes of a catering company is the main factor that determines which types of automated thermal equipment should be used at this enterprise in order to ensure high economic efficiency of its use, facilitate the work of workers engaged in its operation, increase the level of labor automation, the optimization of Cook and Chill processes is shown to be associated with a variety of criteria for choosing the optimal option includes criteria for min deviations from the reference structures: amino acid composition of the product; fatty acid composition; vitamin content; composition of trace elements, as well as criteria for food digestibility, nutritional, biological and energy value of the product. Cook&Chill meets absolutely all the requirements in this regard, allowing you to rationally manage the cost of the product by reducing the cost of producing a dish. The effectiveness of the method has been proven by practical world experience. Cook and Chill technology allows you to increase the yield of batches by three or four times. When preparing dishes, no changes in recipes are required and the current technological standards can be used. Cook and Chill technology can be effectively applied at enterprises with any range of products, up to the widest, and of any capacity. This technology provides for the use of fairly familiar pieces of equipment, such as a convector or microwave oven, air-type intensive cooling systems (blast-chiller) or water-type (tumbler-chiller or turbojet-chiller).

Keywords: optimization, Cook and Chill, criteria, innovative technologies.

Введение

Внедрение технологических инноваций в индустрии питания и реализация научно-технического прогресса трансформирует функциональность и деятельность компаний, способствует высвобождению ручного труда при автоматизации и роботизации, облегчению тяжелых и трудоемких производственных процессов и материальных потоков и улучшению условий труда обслуживающего персонала.

Для цитирования

Еремин А.Е., Беляева М.А. Многокритериальная оптимизация процессов Cook&Chill для сетевых предприятий питания // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 98–105. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-98-105

Характер технологических процессов предприятий питания определяется ключевыми факторами и показателями, от которого коррелируют какие-либо типы автоматизированного теплового оборудования возможного использования на конкретном предприятии, чтобы вырабатывать самый высокий экономический эффект его применения, освободить ручной труд, а также облегчить труд работников, участвующих в его обслуживании и эксплуатации, поднять уровень роботизации и автоматизации труда [1, 2].

For citation

Eremin A.E., Belyaeva M.A. Multi-criteria optimization of Cook&Chill processes for network catering establishments. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 98–105. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-98-105

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

Внедрение новых современных технологий, в частности технологии Cook&Chill, ведут к созданию и эксплуатации нового инновационного оборудования. Процессе его внедрения на предприятиях питания реализуется в двух аспектах: конструирование машин и проектирование автоматов, к которым предъявляются необходимые требования в определенных положениях минимальные расходы в рабочей среде и средств на их обслуживание; установление таких систем обслуживания торгово-технологического оборудования, которые были бы оптимальны для конкретных условий эксплуатации.

С технико-технологических и экономических позиций можно утверждать также и о молекулярной кухне – результатом современных научных достижений и разработок, которой внедряется в пищевые технологии и индустрию питания, можно коммерциализировать в качестве интеллектуальной собственности, создав патенты; изучение корреляции в процессах, происходящих на химическом, механическом уровнях, термического и криогенного воздействия на сырье и продукты, а также добавление всевозможных инновационных ингредиентов в рецептуру и формирование проектирование продуктов питания с заданными свойствами.

Инновационные способы и методы, применяемые в технологиях приготовления пищевой продукции и кулинарных блюд:

1. Инновационные технологии и ингредиенты структурируем на такие как Sous-vide, vacuum&MAP, cook&hold, cook&chill, aroma-cuisine, accelerated cooking, nitro – cooking, in-cooking.

2. Инновационные методы повышения продолжительности хранения продукции. Термодинамические, реологические, химические и физические процессы, кинетические и микробиологические процессы гниения продуктов, установление температуры обработки, хранения, охлаждения.

3. Определение активности воды и контроль над изменением влагосодержания пищевых продуктов.

4. Принципы моделирования или проектирование таких показателей как цвет, запах, текстура, структурно-механические, реологические свойства, рецептура, ингредиентный состав.

5. Современные методы и способы механического воздействия на продукты питания, такие как тендеризинг, шприцевание натуральными маринадами мясной продукции и птицы.

6. Современные способы тепловых процессов обработки продуктов питания, такие технологии как sous-vide; capkold; cook&hold;

Современный горячий цех предприятий питания – это инновационный конструктор с машинами, автоматами, универсальными приводами, печами и устройствами, в которых реализуют тепловые процессы, к примеру, варку под давлением и в вакууме, бесбойлерные паровары – могут быть экономически выгодной заменой пароконвектоматам, котлы с паровыми рубашками, аксилированное приготовление пищи, низкотемпературные танкеры, обработка в вакуумных пакетах, варка в герметичных пакетах, новые виды опрокидывающихся сковород и жарка на антипригарных одноразовых покрытиях.

7. Новые способы охлаждения полуфабрикатов и готовой продукции, такие как cook&chill, могут проходить в одностадийных и двухстадийных бласт – чиллерах, скоростное охлаждение происходит в ледяной воде, новые био-шокаеры, центрифугирование напитков и морсов, новые среднетемпературные технологии.

8. К новым способам химической обработки продуктов питания можно отнести арома – кухня, нитро – кухня, применение химических агентов, биологических добавок.

9. Технологии повышения продолжительности хранения полуфабрикатов и готовой продукции: технология MAP, вакуумирование в упаковку, варка в пакетах, упаковка в герметичные гастроемкости, использование процесса условной пастеризации, автоматическое фасование салатов, обертывание в стретч-пленку и пр.

10. Способы организации специальных видов обслуживания, такие как выездное обслуживание и кейтеринг с использованием cook&hold, cook&serve, cook&chill, cook&rethermize и широкого арсенала всевозможных устройств (доготовка, приготовление на местах проведения мероприятий, регенерирование и т. д.).

11. Использование новых видов сырья, научные разработки, лабораторные проработки нового класса и типа сырья (меланж, порошки, смеси, заморозка, сублимация), новое сырье в хлебопечении и кондитерском производстве: кондитерские смеси, дрожжи, добавки, красители, эмульгаторы.

10. Управление качественными показателями готовой продукции, понятие качества и менеджмента качества, технологии бракеража, выборочный и поточный контроль с использованием для этого процесса различные методы автоматизации и роботизации, а также внедрение цифровизации и информационных технологий, программных и технических решений для отслеживания качественных показателей продукции и технологических процессов производства по оптимальным параметрам, при которых готовая продукция имеет высокие качественные показатели.

Концепция HACCP, стандарты менеджмента качества ISO 9001, достаточно глубоко проработанный технико-технологический аспект приводит к управлению качеством и повышению конкурентоспособности точек питания.

Cook and Chill (в переводе означает приготовление и охлаждение (анг.)) – сочетающий процессы приготовления огромное число блюд и их интенсивного охлаждения. Продукты питания и пища, прошедшая термическую обработку, не замораживается, а подвергается охлаждению до +1... +4 градусов. Вредная микрофлора не успевает развиваться, поэтому есть необходимость интенсивно охлаждать. Хранение продуктов в таких температурных условиях продлевает срок их годности до 5 суток минимум, а в отдельных случаях до 21 суток до подачи на стол.

Истоки вышеуказанных кулинарных технологий находятся в Германии, еще в конце 70-х-80-е годы были сделаны попытки использовать их в государственных лазаретах. Предназначение этих технологий – готовка огромных запасов охлажденной пищи, которые используют по мере необходимости в установленном временном диапазоне [3,4].

Направление развития инновационных технологий Cook&Chill – это сокращение затрат по времени, по расходу электроэнергии, по трудовым ресурсам, дает возможность грамотно и оптимально управлять ценообразованием кулинарной продукцией за счет понижения издержек на производство блюд. Эффективность данного метода подтверждена мировыми принципами и опытом.

Ключевые ступени технологии приготовления способом Cook and Chill:

- Приобретение и хранение сырья. Требование к сырью и продуктам заключаются в высоком качестве, при обязательном наличии необходимых нормативно-технических и сопроводительных материалов. Исходное поступившее сырье на предприятия обеспечивается оптимальными условиями хранения, именно в складских помещениях, согласно СНИП, имеющие в составе охлаждаемые, морозильные и неохлаждаемые кладовые при условии реализации санитарных норм и правил, технологических режимов, сроков реализации и товарном соприкосновении.

- Формирование и подготовка продуктов, производство полуфабрикатов и полуфабрикатов высокой степени готовности. Механическая кулинарная обработка сырья и полуфабрикатов, согласно требованиям к организации процессов на предприятиях питания проводится в заготовочных цехах, а именно в овощных, мясных, рыбных, птицебельных цехах, в которых весь производственный цикл и процесс организован в соответствии с технологическим процессом и

с соблюдением всех санитарно-гигиенических норм и правил. В случае отсутствия локальных цехов организуют отдельные рабочие места, их размещение не должно допустить пересечение потоков сырья, полуфабрикатов и готовой продукции.

Большой интерес вызывает производство полуфабрикатов из мяса. Куски мяса не должны превышать 2,5 кг. и толщина должна быть не более 6 см.

Замороженные продукты при использовании этой технологии подвергают процессу оттаивания в холодильнике, если проводить процесс размораживания при комнатной температуре или в микроволновой печи, то при таких способах подвергает сырье воздействию температур, при этом может произойти рост бактерий и продукт может разморозиться неравномерно, оставляя места холодные участки внутри, что может привести к не равномерному распределению температуры и некачественному готовому продукту.

3. Технология приготовления при температуре 90, 150 °С., предполагает использование пароконвектомата, а также может быть применен традиционный вид теплового оборудование.

Технология Cook and Chill способствует увеличению выхода партий в несколько раз, при этом нет необходимости изменять рецептуру и могут быть использованы действующие нормативно – технологические стандарты.

При температурном воздействии от 90 до 160 °С, независимо от того, какую продукцию производим необходимо, чтобы температура внутри продукта достигла 70–80 °С и сохранялась на этом уровне минимум две минуты для разрушения болезнетворных бактерий и микроорганизмов, которые могут присутствовать в продукте. Температуру внутри продукта контролируют термометром или температурным щупом.

Охлаждение или комбинированный способ охлаждения и заморозка

5. Процесс охлаждения необходимо осуществлять через 30 минут после завершения тепловой обработки кулинарной продукции. При использовании системы Cook and Chill необходимо делить пищу на порции до или после охлаждения. При предварительной подготовке перед охлаждением используют гостроемкости глубиной не более 40–65 мм, размером 265 или 325 на 530 мм (при охлаждении без предварительного порционирования), а также покрывают пищу пленкой или фольгой (после порционирования).

Подготовленную продукцию подвергают интенсивному охлаждению (или шоковой заморозке). Быстрое охлаждение – это процесс снижения температуры в центре продукта с +65 до +4 °С в течение 90 минут. Продукту

обеспечивают срок хранения при температуре 2–3 °С до 6 дней и будет доведен до температуры потребления +65 °С в течение часа перед сервировкой. Шоковая заморозка – процесс снижения температуры в центре продукта от +65 до -18 °С в течение 240 минут. Такому продукту обеспечивают хранение при температуре -20 °С до 8–12 месяцев.

- Обеспечение передачи и транспортировки готовой продукции осуществляется в рефрижераторах и на изотермическом транспорте: охлажденная продукция – при температуре +2 °С, замороженная – при – 20 °С. Продолжительность транспортировки входит в общее время хранения охлажденной и быстрозамороженной продукции.

- Процесс разогрева (регенерации). Регенерацию продукции можно проводить в пароконвектоматах до температуры +65 °С внутри продукта. В условиях низкотемпературной конвекции в диапазоне температуры 70–80 °С, влажность при этом должна быть 60–90 % можно проводить разогрев продукции.

- После регенерации, в зависимости от формы и вида готовой продукции в которой осуществляется процесс охлаждения, производится порционирование, полная или частичная сервировка и реализация.

Технологию Cook and Chill можно достаточно эффективно использовать на предприятиях, имеющих любой ассортимент выпускаемой продукции. Данная технология предусматривает использование достаточно традиционных видов оборудования, таких как пароконвектомат или микроволновая печь, а также системы интенсивного охлаждения воздушного типа (blast-chiller) или водяного типа (tumbler-chiller или turbojet-chiller). Все бласт-чиллеры делятся на два вида:

- для охлаждения продуктов до температуры от 0 до -2 °С используют моноциклические;
- для охлаждения продукта до температуры от 0 до -2 °С и дальнейшей заморозки до температуры -18 °С используют двухциклические.

В чиллере установлен термический щуп, с помощью которого можно контролировать действительную температуру внутри продукта в период охлаждения. Щуп помещают на ту глубину в продукт на котором необходимо осуществить замер температуры [3,4].

Для процесса охлаждения в бласт-чиллерах можно применять нержавеющие гастроемкости GN. Стандартные габариты гастрономических емкостей очень подходящая тара для интенсивного охлаждения, так и для процессов дефростации и регенерации в пароконвектоматах. Процессы дефростации и регенерации можно реализовывать с применением самого различного оборудования, опыт доказывает, что более приемлемый

вариант – это осуществлять процессы в пароконвектоматах, потому что производитель экономит временные показатели за счет минимизации функций выгрузки и загрузки.

Оптимизация процессов Cook and Chill связана с большим количеством критериев выбора оптимальных модификаций и включает критерии минимального отклонения от эталонного состава: аминокислотного состава продукта; жирокислотного состава; содержание витаминов; состава микроэлементов, а также критерии переваримости пищи, пищевой, биологической, энергетической ценности и калорийности продукта [1, 2].

Методы

Большое количество критериев q_k ; $k = 1, n$ можно дополнить другими показателями и оценками качества продуктов. Каждый рецептурный вариант (альтернатива) и процесс можно описать данными, технология процессов Cook and Chill состоит из шести этапов.

Парето-оптимальное множества решений для установленного состава начальных компонентов и процессов этапов реализации технологии Cook and Chill соответствует экстремальному значению одного из критериев при заданных ограничениях.

Решающее правило структурирования множества альтернатив и выбора наилучшей альтернативы по каждому этапу реализации технологии Cook and Chill определяется введением "взвешенного" функционала качества.

При выборе на каждом этапе реализации технологии Cook and Chill – это сохранение в максимальном количестве компонентов пищевой и биологической ценности пищевых продуктов, можно рассмотреть на примере мясной продукции.

1. Критерий эффективности по количественному составу белков, жиров, влаги в поликомпонентном гетерогенном продукте, с учетом технологических этапов реализации технологии Cook and Chill (от исходного сырья до готовой кулинарной продукции) от эталонного:

$$P(b) = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m b_{ij}^0 x_j^0 - \sum_{j=1}^m b_{ij} x_j \right)^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

где b_{ij}^0 – масса i -го элемента химического состава белка, жира, влаги в j -м рецептурном ингредиенте эталонного значения; x_j^0 – масса i -го компонента по нормам закладки рецептуры; b_{ij} – масса i -го элемента химического состава: белка, жира, влаги в j -м рецептурном компоненте в готовом продукте, прошедшего все этапы технологии Cook and Chill; x_j – масса j -го ингредиента рецептуры после прохождения всех этапов технологии Cook and Chill.

2. Критерий эффективности содержания массовой доли amino- и жирных кислот:

$$P_i(ma) = \sum_{k=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^m ma_{ki}^0 \cdot b_{ij}^0 \cdot x_j^0}{\sum_{j=1}^m b_{ij}^0 x_j^0} - \frac{\sum_{j=1}^m ma_{ki} \cdot b_{ij} \cdot x_j}{\sum_{j=1}^m b_{ij} x_j} \right)^2 \rightarrow \min; \quad (2)$$

$i = 1, 2$

где ma_{ki}^0 , ma_{ki} – масса k -го компонента в i -м элементе химического состава эталонных показателей и прошедшие все этапы технологии Cook and Chill; b_{ij}^0 , b_{ij} – масса i -го элемента химического состава (белка, жира.) в j -м рецептурном компоненте эталонных показателей и прошедшие все этапы технологии Cook and Chill; a_{ki}^0 , a_{ki} – масса k -го компонента в i -м элементе химического состава все этапы технологии Cook and Chill.

3. Критерий оптимизации содержания витаминов, углеводов в многокомпонентном продукте от эталонного показателя:

$$P_i(mv) = \sum_{k=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^m mv_{kj}^0 \cdot x_j^0}{\sum_{j=1}^m x_j^0} - \frac{\sum_{j=1}^m mv_{kj} \cdot x_j}{\sum_{j=1}^m x_j} \right)^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

где mv_{kj}^0 , mv_{kj} – удельное содержание k -го элемента химического состава в j -м исходном пищевом продукте и после прохождения всех этапов технологии Cook and Chill, x_j^0 , x_j – массовая доля j -го компонента исходной рецептуры пищевого продукта и после прохождения всех этапов Cook and Chill.

4. Критерий эффективности по массе от эталона содержания минеральных веществ, с учетом механических и тепловых потерь на всех этапах технологии Cook and Chill:

$$P_i(M) = \sum_{k=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^m b_{kj}^0 x_j^0}{\sum_{j=1}^m x_j^0} - \frac{\sum_{j=1}^m b_{kj} x_j}{\sum_{j=1}^m x_j} \right)^2 \rightarrow \min; \quad (4)$$

$i = 1, 2, 3.$

где b_{kj}^0 , b_{kj} – масса k -го элемента химического состава в j -ом рецептурном компоненте моделируемого исходного пищевого продукта и после прохождения всех этапов технологии Cook and Chill; x_j^0 – масса i -го элемента биологической значимости до прохождения всех этапов технологии Cook and Chill; x_j – масса j -го ингредиента рецептурной композиции после прохождения всех этапов технологии Cook and Chill.

Исходный диапазон факторов и показателей:

– масса j -го ингредиента рецептурной композиции:

$$x_j = \varphi_j(T, t, F...); j = 1, m; \quad (5)$$

– масса i -го компонента химического состава

$$\sum_{j=1}^m b_{ij} x_j = \varphi_i(T, t, d, q...); i = 1, 4; \quad (6)$$

– масса k -го ингредиента в i -м элементе химического состава:

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^m a_{ki} b_{ij} x_j = \varphi_k(T, t, d, q...); k = 1, m_i; \quad (7)$$

с учетом воздействия всех технологических факторов после прохождения всех этапов технологии Cook and Chill (начиная от исходного сырья и заканчивая готовым продуктом).

Результаты и обсуждение

Многокритериальная оптимизация процессов всех этапов технологии Cook and Chill по критериям пищевой и биологической ценности заключается в разработке модели по заданным параметрам адекватности и качества, выбору исходных ингредиентов в рецептуре и оптимизация процессов Cook and Chill, выявлением всех оптимальных режимных параметров, при которых готовый продукт сохраняет в наибольшем количестве калорийность и питательные компоненты.

Для этого составляется параметрическая модель процессов и исходные данные пищевого продукта, учитывающая:

– предложенный химический состав (белок, жир, влага, углеводы и т. д.); массовые доли основных продуктов, входящие в рецептурный состав;

– рецептурные и компонентные пропорции факторов биологической ценности продукта (амино- и жирокислотный составы) по различным оценкам качественных показателей.

Многокритериальная оптимизация проводится при различных вариантах и ограничениях по amino- и жирнокислотному составу, витаминам и минеральным веществам, по температурным и другим параметрам процесса, которые имеют колоссальное влияние на готовый продукт.

При этом учитывается специфика каждого этапа технологии Cook and Chill.

В выборе самого оптимального варианта процесса, включающего множества локально – оптимальных альтернатив, используется критерий оценивания качественных, органолептических и физико-химических показателей

поликомпонентного гетерогенного продукта, оцениваемое критериями многомерной суммой взвешенных нормированных отклонений параметров состояния от эталонных показателей:

$$Q = \sum_{i=1}^m a_i \left(1 - \sqrt{\sum_{j=1}^n b_{ij} \left(\frac{x_{ij}^0 - x_{ij}}{\Delta x_{ij}} \right)^2} \right) \quad (8)$$

где x_{ij}^0, x_{ij} – значение параметров j -го фактора i -й группы показателей эталона и после прохождения всех этапов технологии Cook and Chill; Δx_j – допустимое отклонение параметра от желаемого значения; b_{ij} – весовой коэффициент отклонения j -го фактора i -й группы; a_i – коэффициент значимости i -ой группы факторов.

При условии выхода параметра за установленный интервал или существовании параметров конкретной группы показателей Q функционал качества переходит в нулевое состояние. При выявлении факторов, влияющих на нормативные величины функционал изменяется, при максимальном тождественности получаемых значений со стандартными принято фиксировать наиболее лучшее качество до 0 – при достижении степени качества. Отрицательные значения функционала, выход за границы зоны определения качества, продукту присваивается плохой или отрицательный показатель качества.

Таким образом, оптимальный вариант процесса ступеней прохождения максимально отвечающий по заранее установленным свойствам и характеристикам соответствует наибольшему значению функционала Q качества. Функционала качества проектируемого продукта, прошедшего все этапы технологии Cook and Chill градуируется от 1 до 0, задается шкала желательности, по которой можно определять либо экспериментальным факторным путем, либо греко-латинскими квадратами или оцениванием экспертами ключевых альтернатив, градуирование можно представить: 1–0,8 – отлично; 0,8–0,5 – хорошо; 0,5–0,2 – удовлетворительно; 0,2–0 – плохо; при отрицательном результате функционала качества продукт непригоден к употреблению.

Заключение

Технология Cook and Chill – это доведение пищевой продукции до состояния готовности, которое характеризуется определенными органолептическими показателями готовой продукции (консистенция, вкус, запах, цвет, аромат), при этом температура готовности должна быть отражена в нормативных документах (таких как сборник рецептур, технико-технологические карты, калькуляционные карты, технические условия

и инструкции, ГОСТы, ОСТы и т. д.), пищевой и биологической ценностью, которая зависит от проходящих коагуляционных, физико-химических процессов, денатурационных процессов белков, жиров, углеводов, витаминов и другими один факторами.

Для правильного осуществления всех этапов технологии технологического процесса и обоснования параметров, качественных и количественных характеристик в готовой продукции, определяющих температуру в камере и в готовом продукте, в соответствии с техническими условиями, указанные печи целесообразно использовать на предприятиях питания.

Конкурировать на рынке и эффективно работать предприятиям питания способствует внедрение инновационных технических и технологических решений как отечественных и зарубежных ученых.

Инновационные разработки, проведенные на основе экспериментальных исследований и планированного эксперимента, конструктивный расчет оборудования позволяют разрабатывать актуальные проектные решения и формировать рекомендации по организации оптимальных процессов.

Общественное питание – это тот сектор или сегмент, где без внедрения инноваций и современных технологий можно потерять конкурентоспособность, поэтому необходимо внедрять новейшее оборудование по реализации этих технологий, передовые устройства, а также современные методы управления и автоматизация бизнес-процессов.

Базисные ориентиры развития инноваций в индустрии питания – инновации в технологии производства продукции, применение робототехнических систем, автоматизированных устройств и машин., а также новых способов обработки продукции, дают возможность минимизировать временные затраты на приготовление продукции общественного питания и повысить эффективность работы производства, одним из которых являются технологии Cook and Chill.

Есть свои плюсы и минусы при организации производственных процессов в основе которых положены передовые технологии обработки продуктов на высокопроизводительных машинах, устройствах при строгом соблюдении всех санитарных норм и контроле за качественными показателями выпускаемой продукции становятся интенсифицирующим фактором технологических процессов и становятся гарантом успешной коммерческой деятельности в ресторанном бизнесе.

Литература

- 1 Беляева М.А. Многокритериальная оптимизация тепловой обработки мясных полуфабрикатов с использованием современных электрофизических методов нагрева. М.: RuScience, 2016. 244 с.
- 2 Беляева М.А. Системный анализ технологий и бизнес-процессов в мясном производстве. М.: изд-во РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2015. 384 с.
- 3 Еремин А.Е., Беляева М.А. Базовые процессы технологии Cook&Chill для индустриального выпуска продукции категории Ready to Eat & Ready to Cook // Пищевая промышленность. 2020. № 2. С. 8–11. doi: 10.24411/0235–2486–2020–10013
- 4 Беляева М.А., Еремин А.Е., Безотосова О.К. Перспективные разработки многофункционального оборудования // Пищевая промышленность. 2022. № 4. С. 59–62.
- 5 Справочное пособие по технологии Cook&Chill (Шоковое охлаждение воздухом). URL: <https://pitportal.ru/technolog / 6594>
- 6 Технология Cook&Chill. URL: https://www.corm.ru/info/articles/tekhnologiya_cook_chill/
- 7 Технология Cook and Chill. URL: <https://restoran-service.ru/blog/innovatsii-i-tekhnologii-v-obshchepite/tekhnologiya-cook-and-chill-/>
- 8 Кулинария, рецепты. URL: <https://orbar.ru/retsepty-cook-and-chill>
- 9 Elansari A., Bekhit A.E.D.A. Processing, storage and quality of cook-chill or cook-freeze foods // Minimally Processed Foods: Technologies for Safety, Quality, and Convenience. Cham: Springer International Publishing, 2014. P. 125-150.
- 10 Bongiorno T., Tulli F., Comi G., Sensidoni A. et al. Sous vide cook-chill mussel (*Mytilus galloprovincialis*): evaluation of chemical, microbiological and sensory quality during chilled storage (3 C) // LWT. 2018. V. 91. P. 117-124. doi: 10.1016/j.lwt.2017.12.005
- 11 Clodoveo M.L., Muraglia M., Fino V., Curci F. et al. Overview on innovative packaging methods aimed to increase the shelf-life of cook-chill foods // Foods. 2021. V. 10. №. 9. P. 2086.
- 12 Serrano R., Ortuño J., Bañón S. Improving the Sensory and Oxidative Stability of Cooked and Chill-Stored Lamb Using Dietary Rosemary Diterpenes // Journal of food science. 2014. V. 79. №. 9. P. S1805-S1810. doi: 10.1111/1750-3841.12585
- 13 Hasnan N.Z.N., Ramli S.H.M. Modernizing the preparation of the Malaysian mixed rice dish (MRD) with Cook-Chill Central Kitchen and implementation of HACCP // International journal of gastronomy and food science. 2020. V. 19. P. 100193. doi: 10.1016/j.ijgfs.2019.100193
- 14 Gouveia A.R., Alves M., Silva J.A., Saraiva C. The antimicrobial effect of rosemary and thyme essential oils against *Listeria monocytogenes* in sous vide cook-chill beef during storage // Procedia Food Science. 2016. V. 7. P. 173-176. doi: 10.1016/j.profoo.2016.10.001
- 15 Moreira M.J., Oliveira I., Silva J.A., Saraiva C. Safety and quality assessment of roasted pork loin obtained BY COOK-CHILL system and packed in modified atmosphere // Lwt. 2019. V. 101. P. 711-722. doi: 10.1016/j.lwt.2018.11.060
- 16 Kim J.H., Hong G.E., Lim K.W., Park W. et al. Influence of citric acid on the pink color and characteristics of sous vide processed chicken breasts during chill storage // Korean journal for food science of animal resources. 2015. V. 35. №. 5. P. 585.
- 17 Binsi P.K., Ninan G., Zynudheen A.A., Neethu R. et al. Compositional and chill storage characteristics of microwave-blanching sutchi catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) fillets // International Journal of Food Science & Technology. 2014. V. 49. №. 2. P. 364-372. doi: 10.1111/ijfs.12308
- 18 Singh C.B., Kumari N., Senapati S.R., Lekshmi M. et al. Sous vide processed ready-to-cook seerfish steaks: Process optimization by response surface methodology and its quality evaluation // LWT. 2016. V. 74. P. 62-69. doi: 10.1016/j.lwt.2016.07.017
- 19 Sander S., Kappenstein O., Ebner I., Fritsch K.A. et al. Release of aluminium and thallium ions from uncoated food contact materials made of aluminium alloys into food and food simulant // PLoS One. 2018. V. 13. №. 7. P. e0200778. doi: 10.1371/journal.pone.0200778
20. Ganhão R., Estévez M., Armenteros M., Morcuende D. Mediterranean berries as inhibitors of lipid oxidation in porcine burger patties subjected to cooking and chilled storage // Journal of Integrative Agriculture. 2013. V. 12. №. 11. P. 1982-1992. doi: 10.1016/S2095-3119(13)60636-X

References

- 1 Belyaeva M.A. Multicriteria optimization of heat treatment of semi-finished meat products using modern electrophysical heating methods. M., RuScience, 2016. 244 p. (in Russian).
- 2 Belyaeva M.A. System analysis of technologies and business processes in meat production. M., publishing house REU im. G.V. Plekhanova, 2015. 384 p. (in Russian).
- 3 Eremin A.E., Belyaeva M.A. Basic processes of Cook&Chill technology for industrial production of Ready to Eat & Ready to Cook products. Food Industry. 2020. no. 2. pp. 8–11. doi: 10.24411/0235–2486–2020–10013 (in Russian).
- 4 Belyaeva M.A., Eremin A.E., Bezotosova O.K. Prospective developments of multifunctional equipment. Food Industry. 2022. no. 4. pp. 59–62. (in Russian).
- 5 Reference book on Cook&Chill technology (Blast air cooling). Available at: <https://pitportal.ru/technolog / 6594> (in Russian).
- 6 Cook&Chill technology. Available at: https://www.corm.ru/info/articles/tekhnologiya_cook_chill/ (in Russian).
- 7 Cook and Chill technology. Available at: <https://restoran-service.ru/blog/innovatsii-i-tekhnologii-v-obshchepite/tekhnologiya-cook-and-chill-/> (in Russian).
- 8 Cooking, recipes. Available at: <https://orbar.ru/retsepty-cook-and-chill> (in Russian).
- 9 Elansari A., Bekhit A.E.D.A. Processing, storage and quality of cook-chill or cook-freeze foods. Minimally Processed Foods: Technologies for Safety, Quality, and Convenience. Cham: Springer International Publishing, 2014. pp. 125-150.
- 10 Bongiorno T., Tulli F., Comi G., Sensidoni A. et al. Sous vide cook-chill mussel (*Mytilus galloprovincialis*): evaluation of chemical, microbiological and sensory quality during chilled storage (3 C). LWT. 2018. vol. 91. pp. 117-124. doi: 10.1016/j.lwt.2017.12.005

- 11 Clodoveo M.L., Muraglia M., Fino V., Curci F. et al. Overview on innovative packaging methods aimed to increase the shelf-life of cook-chill foods. *Foods*. 2021. vol. 10. no. 9. P. 2086.
- 12 Serrano R., Ortuño J., Bañón S. Improving the Sensory and Oxidative Stability of Cooked and Chill-Stored Lamb Using Dietary Rosemary Diterpenes. *Journal of food science*. 2014. vol. 79. no. 9. pp. S1805-S1810. doi: 10.1111/1750-3841.12585
- 13 Hasnan N.Z.N., Ramli S.H.M. Modernizing the preparation of the Malaysian mixed rice dish (MRD) with Cook-Chill Central Kitchen and implementation of HACCP. *International journal of gastronomy and food science*. 2020. vol. 19. pp. 100193. doi: 10.1016/j.ijgfs.2019.100193
- 14 Gouveia A.R., Alves M., Silva J.A., Saraiva C. The antimicrobial effect of rosemary and thyme essential oils against *Listeria monocytogenes* in sous vide cook-chill beef during storage. *Procedia Food Science*. 2016. vol. 7. pp. 173-176. doi: 10.1016/j.profoo.2016.10.001
- 15 Moreira M.J., Oliveira I., Silva J.A., Saraiva C. Safety and quality assessment of roasted pork loin obtained BY COOK-CHILL system and packed in modified atmosphere. *Lwt*. 2019. vol. 101. pp. 711-722. doi: 10.1016/j.lwt.2018.11.060
- 16 Kim J.H., Hong G.E., Lim K.W., Park W. et al. Influence of citric acid on the pink color and characteristics of sous vide processed chicken breasts during chill storage. *Korean journal for food science of animal resources*. 2015. vol. 35. no. 5. pp. 585.
- 17 Binsi P.K., Ninan G., Zynudheen A.A., Neethu R. et al. Compositional and chill storage characteristics of microwave-blanching sutchi catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) fillets. *International Journal of Food Science & Technology*. 2014. vol. 49. no. 2. pp. 364-372. doi: 10.1111/ijfs.12308
- 18 Singh C.B., Kumari N., Senapati S.R., Lekshmi M. et al. Sous vide processed ready-to-cook seerfish steaks: Process optimization by response surface methodology and its quality evaluation. *LWT*. 2016. vol. 74. pp. 62-69. doi: 10.1016/j.lwt.2016.07.017
- 19 Sander S., Kappenstein O., Ebner I., Fritsch K.A. et al. Release of aluminium and thallium ions from uncoated food contact materials made of aluminium alloys into food and food simulant. *PLoS One*. 2018. vol. 13. no. 7. pp. e0200778. doi: 10.1371/journal.pone.0200778
20. Ganhão R., Estévez M., Armenteros M., Morcuende D. Mediterranean berries as inhibitors of lipid oxidation in porcine burger patties subjected to cooking and chilled storage. *Journal of Integrative Agriculture*. 2013. vol. 12. no. 11. pp. 1982-1992. doi: 10.1016/S2095-3119(13)60636-X

Сведения об авторах

Александр Е. Еремин ИП, Food Consulting Group, Москва, Россия, ae_eremin@yahoo.com

Марина А. Беляева д.х.н., профессор, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, 117997, Москва, Россия, belyaeva.ma@rea.ru

Information about authors

Alexander E. Eremin Food Consulting Group, Moscow, Russia, ae_eremin@yahoo.com

Marina A. Belyaeva Dr. Sci. (Chem.), professor, Russian University of Economics. G.V. Plekhanov, 36, Stremyanny Pereulok, 117997, Moscow, Russia, belyaeva.ma@rea.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 10/07/2023	После редакции 02/08/2023	Принята в печать 25/08/2023
Received 10/07/2023	Accepted in revised 02/08/2023	Accepted 25/08/2023

Подбор мультиэнзимного комплекса для снижения содержания антипитательных веществ в зеленой массе амаранта

Светлана В. Образцова	¹	sveta5501pavlenkova@ya.ru	 0000-0001-9539-0168
Ольга В. Бондарева	¹	bond.vrn15@ya.ru	
Татьяна В. Свиридова	¹	sviridovatv@ya.ru	 0000-0001-9529-5005
Галина П. Шуваева	¹	gpshuv@mail.ru	 0000-0002-4294-8209
Ольга Л. Мещерякова	¹	gawshina@mail.ru	 0000-0002-7832-8220
Ольга С. Корнеева	¹	korneeva-olgas@ya.ru	 0000-0002-2863-0771

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

Аннотация. В последние годы остро стоит вопрос усовершенствования кормовой базы птицеводства с целью повышения продуктивности и устойчивости к бактериальным инфекциям. Одной из перспективных кормовых культур является амарант, имеющий уникальный химический состав богатый питательными веществами, в особенности белком. Однако наряду с этим расходятся мнения о содержании антипитательных веществ в его составе. Цель работы – определение содержания антипитательных веществ, а также подбор мультиэнзимного комплекса для их снижения. Объектом изучения являлась зеленая масса амаранта сорта Гигант (урожай 2022 г.). В работе применяли общепринятые методы исследования химического состава и содержания антипитательных веществ. Подбор ферментативного комплекса осуществляли путем проведения биоконверсии зеленой массы амаранта. Проведение биоконверсии зеленой массы амаранта ферментативным комплексом КЕМЗАЙМ® плюс Р сухой в количестве 0,5 мг/г сырья, при pH 6,5 и температуре 40 °C в течение 3 ч способствовало снижению фитиновой кислоты и ее солей на 90%.

Ключевые слова: антипитательные вещества, фитиновая кислота, танины, нитраты, нитриты, щавелевая кислота, сапонины, мультиэнзимный комплекс.

Selection of a multienzyme complex to reduce the content of anti-nutrients in the green mass of amaranth

Svetlana V. Obraztsova	¹	sveta5501pavlenkova@ya.ru	 0000-0001-9539-0168
Olga V. Bondareva	¹	bond.vrn15@ya.ru	
Tatiana V. Sviridova	¹	sviridovatv@ya.ru	 0000-0001-9529-5005
Galina P. Shuvaeva	¹	gpshuv@mail.ru	 0000-0002-4294-8209
Olga L. Meshcheryakova	¹	gawshina@mail.ru	 0000-0002-7832-8220
Olga S. Korneeva	¹	korneeva-olgas@ya.ru	 0000-0002-2863-0771

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

Abstract. In recent years, the issue of improving the poultry feed base in order to increase productivity and resistance to bacterial infections has been acute. One of the promising fodder crops is amaranth, which has a unique chemical composition rich in nutrients, especially protein. However, along with this, opinions differ about the content of anti-nutritional substances in its composition. The purpose of the work is to determine the content of anti-nutritional substances, as well as the selection of a multi-enzyme complex to reduce them. The object of study was the green mass of amaranth of the Giant variety (harvest 2022). Generally accepted methods of studying the chemical composition and content of anti-nutrients were used in the work. The selection of the enzymatic complex was carried out by bioconversion of the green mass of amaranth. The bioconversion of the green mass of amaranth with the KEMZAYM® plus P dry enzymatic complex contributed to a decrease in phytic acid and its salts by 35.3%.

Keywords: anti-nutrients, phytic acid, tannins, nitrates, nitrites, oxalic acid, saponins, multienzyme complex.

Введение

В последние годы остро стоит вопрос усовершенствования кормовой базы птицеводства с целью повышения продуктивности и устойчивости к бактериальным инфекциям [1,11,19,20]. Одной из перспективных кормовых культур является амарант, имеющий уникальный химический состав [16]. В зеленой массе амаранта

в пересчете на абсолютно сухой вес содержится, %: сырого протеина 15,6–16,75 (в листьях до 30), жира – 2,4–2,8, клетчатки – 16,0–21,7, кальция 2,1–2,6, фосфора 0,2–0,21, каротина 160–200 мг [2, 3, 14]. Включение амаранта в состав рационов птицы оказывает положительное влияние на продуктивность, сохранность и физиологическое состояние. Выштакалюк А.С., Хируг С.С. установили, что употребление

Для цитирования

Образцова С.В., Бондарева О.В., Свиридова Т.В., Шуваева Г.П., Мещерякова О.Л., Корнеева О.С. Подбор мультиэнзимного комплекса для снижения содержания антипитательных веществ в зеленой массе амаранта // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 106–112. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-106-112

For citation

Obraztsova S.V., Bondareva O.V., Sviridova T.V., Shuvaeva G.P., Meshcheryakova O.L., Korneeva O.C. Selection of a multienzyme complex to reduce the content of anti-nutrients in the green mass of amaranth. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 106–112. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-106-112

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

фитомассы амаранта в чистом виде вызывает некоторое ухудшение состояния птиц [4, 5]. Это может быть вызвано превышением уровня клетчатки, избыточным содержанием некоторых аминокислот в составе рациона или присутствием антипитательных веществ в составе растения. Однако, на сегодняшний день информация о содержании антипитательных веществ в зеленой массе амаранта противоречива. Известны различные способы деструкции антипитательных веществ: процессы мацерации, водно-и водно-спиртовой обработки, в том числе бланширования, экстракции углеводородами, или введения наполнителей, нейтрализующих их негативное действие [6]. Однако одним из приоритетных направлений в производстве кормовых добавок является биоконверсия растительного сырья с помощью ферментативного гидролиза.

Цель работы – подбор мультиэнзимного комплекса для получения высокобелковой кормовой добавки из зеленой массы амаранта с максимально сниженным содержанием антипитательных веществ.

Материалы и методы

Объектом исследования являлась зеленая масса амаранта сорта «Гигант» (*Amaranthus hypochondriacus*), урожай 2022 г.

Химический состав зеленой массы амаранта определяли: содержание первоначальной влаги методом высушивания, ГОСТ 1396.3–92; сырой золы, ГОСТ 26226–95; сырого протеина методом Кьельдаля, ГОСТ 13496.15–94; сырого жира экстрагированием бензином по Сокслету, ГОСТ 13496.95; сырой клетчатки по Геннебергу и Штоману (модификация), ГОСТ 1396.2–91, безазотистые экстрактивные вещества – расчётным методом.

Подготовку проб для определения антипитательных веществ проводили путем приготовления вытяжек используя зелёную часть амаранта. Надземную часть амаранта предварительно измельчали до размеров 2–3 мм. Взвешивали 50 г. образца, тщательно перетирали в ступке с кварцевым песком, количественно переносили

в колбу на 500 см³, заливали 450 см³ дистиллированной воды и настаивали в течение 24 ч при температуре 25 °С. Полученную смесь фильтровали и использовали для определения содержания антипитательных веществ: количество нитратов в соответствии с ГОСТ 13496.19–2015, щавелевой кислоты – МУ 1808–77, танинов – ГОСТ 19885–74. Содержание фитатов контролировали согласно методике, описанной в Патенте РФ 2018102663, ингибиторы трипсина – ГОСТ 33427–2015, сапонины – согласно методике, описанной в Патенте РФ 2413951, нитраты и нитраты – ГОСТ 13496.19–2015.

Для ферментативного гидролиза были использованы коммерчески доступные препараты, обладающие фитазной активностью:

1. ФИДБЕСТ® - Р (Ф-1) - монофосфатазный препарат, с фитазной активностью 10000 ед/г. Сохраняет активность в течение 4 часов активность в диапазоне pH 3,0–7,0.

2. ФИДБЕСТ® - WP 20000 (МЭП-1) - ферментный комплекс, имеющий ксиланазную активность не менее 20000 ед/г, β-глюканазную - не менее 7000 ед/г, фитазную - не менее 10000 ед/г. Производитель компания «Сиббиофарм».

3. «Санфайз 10 000 L фитаза» (Ф-2) - монофосфатазный препарат, с фитазной активностью не менее 10 000 ФЕ/г. Производитель компания «Wuhan Sunhy Biology».

4. Агрофит 5000 (Ф-3) – монофосфатазный препарат, фитазная активность не менее 5000 ед/г. Производитель компания «Агрофермент».

5. КЕМЗАЙМ® плюс Р сухой (МЭП-2) – мультиэнзимный препарат, проявляет ксиланазную, бета-глюканазную, целлюлазную активности, амилазную, протеазную и фитазную активности. Производитель компания «KEMIN».

Результаты и обсуждение

В ходе исследований установлено (таблица 1), что зеленая масса амаранта богата питательными веществами, отличается высоким содержанием сырого протеина 14,89%, сырой клетчатки 23,10%.

Таблица 1.

Химический состав зеленой массы амаранта

Table 1.

Chemical composition of the green mass of amaranth

Показатель Indicator	Содержание, % Content, %	Показатель Indicator	Содержание, % Content, %
Гигровлага Hygro moisture	4,80	Сырая зола Crude ash	11,15
Общий азот Total nitrogen	2,39	Кальций, мг Calcium, mg	1660,00
Сырой протеин Crude protein	14,89	Фосфор, мг Phosphorus, mg	450,00
Сырой жир Crude fat	4,33	Рибофлавин, мг Riboflavin B 2, mg	2,00
Сырая клетчатка Crude fiber	23,10	Витамин С, мг Vitamin C, mg	4,20
Безазотистые экстрактивные в-ва Nitrogen-free extractive substances	43,62	Витамин Е, мг Vitamin E, mg	1,19

Однако кроме питательных компонентов в амаранте содержатся антипитательные вещества, накапливающиеся в период роста и развития растения [15]. По литературным данным в фитомассе амаранта содержатся танины, фитиновая кислота, ингибиторы трипсина, нитраты и сапонины, которые ухудшают перевариваемость корма, снижают его конверсию, продуктивность птицы и качество продукции [6, 7, 12, 13, 17]. В связи с этим, нами был изучен состав антипитательных веществ зеленой части амаранта. В ходе наших исследований установлено (таблица 2), что в зеленой массе амаранта присутствуют: щавелевая кислота, танины, нитраты и фитаты, ингибиторы трипсина и сапонины отсутствуют.

Таблица 2.
Содержание антипитательных веществ
в фитомассе амаранта

Table 2.
The content of anti-nutritional substances
in the green mass of amaranth

Антипитательный компонент Anti-nutritional substance	Количественное содержание, мг/100 г. Quantitative content, mg/100 g
Щавелевая к-та Oxalic acid	79
Танины Tannins	75
Фитиновая кислота Phytic acid	156
Нитраты Nitrates	74
Ингибиторы трипсина Trypsin inhibitors	0
Сапонины Saponins	0

Анализ антипитательных компонентов зеленой массы амаранта показал, что содержание фитиновой кислоты и ее солей в амаранте в 1,5–2 раза выше, чем в чечевице, кормовых бобах и пшенице, но ниже по сравнению с соей, фасолью и люпином. Количество танинов, щавелевой кислоты и нитратов не значительно. Содержание щавелевой кислоты в данном сорте амаранта в 6–7 раз ниже, чем в зеленой массе вики (0,50–0,8%) и в 12 раз – овса (1%). [8, 18] Кроме того, наиболее эффективный способ ее выделения, позволяющий извлечь 83% кислоты предусматривает двукратную обработку растительного сырья СВЧ-энергией в течение 5 мин с интервалом в 3 мин, с последующей экстракцией дистиллированной водой при температуре 70–80 °С в течение 10 мин. Что может способствовать снижению питательной ценности зеленой массы амаранта за счет разрушения витаминов. Количество танинов и нитратов не превышает предельно допустимые концентрации 500 мг / 100 г. и 200 мг / 100 г. соответственно.

Поэтому разрабатывать способы их удаления из амаранта не целесообразно, кроме того присутствие танинов в небольшом количестве в кормах препятствует развитию тимпании.

Наиболее эффективным способом деструкции фитатов является ферментативная обработка. При действии фитазы снижается концентрация свободной фитиновой кислоты и её низших фосфатных эфиров – анионов ИФ₅₋₄, оказывающих негативное влияние на пищеварение и всасывание питательных веществ. Известно, что фитаты в кормах присутствуют не в чистом виде, а в виде глобул, включающих крахмал и протеин, которые ограничивают действие фитаз. Расщепление глобул протеазами и карбогидразами может облегчать доступность фитаз к субстрату, повышая эффективность их действия [9,10]. В связи с этим был проведен эксперимент определения эффективности влияния промышленных ферментных препаратов (таблица 3) на деструкцию фитиновой кислоты.

Свежескошенную массу амаранта измельчали на ножевой мельнице до размера частиц 1–2 мм, смешивали с цитратным буфером в соотношении 1:10. Ферментативный гидролиз осуществляли при температуре 30 ± 1 °С, pH 4,5 в течение 60 мин. Концентрация ферментного препарата в каждом образце составляла 0,1 мг/г сырья. В процессе гидролиза контролировали остаточное содержание фитиновой кислоты.

Таблица 3.
Влияние ферментных препаратов фитазы
на степень деструкции фитиновой кислоты
и ее солей в зеленой массе амаранта

Table 3.
The effect of enzyme preparations of phytase
on the degree of destruction of phytic acid and
its salts in the green mass of amaranth

Ферментный препарат Enzyme preparation	Остаточное содержание фитиновой кислоты и ее солей, % от максимального Residual content of phytic acid and its salts, % of the maximum
ФИДБЕСТ® – Р – 10000 (Ф-1) FEEDBEST® – Р – 10000	83,96
ФИДБЕСТ® – WP 20000 (МЭП-1) FEEDBEST® – WP 20000	73,72
«Санфайз 10 000 L фитаза» (Ф-2) «Sanfayz 10 000 L phytase»	83,33
Агрофит 5000 (Ф-3) Agrofit 5000	91,02
КЕМЗАЙМ® плюс Р сухой (МЭП-2) KEMZYME® plus P dry	64,7

Все исследуемые ферментные препараты проявляли активность в отношении фитатов зеленой массы амаранта. Наибольшее снижение количества фитатов наблюдали при использовании мультиэнзимных препаратов МЭП-1 и МЭП-2, содержащих не только фитазу, но и ксиланазу, β -глюканазу, нарушающих целостность оболочек клеток, препятствующих доступности гидролаз к питательным веществам цитоплазмы, в том числе и фитатов. Наибольшее влияние на снижение фитатов в зеленой массе амаранта проявлял МЭП-2, дополнительно содержащий ферменты протеазу и амилазу, способствующие разрушению комплексов фитатов с крахмалом и протеином.

На эффективность действия ферментов значительное влияние оказывают pH, температура и дозировка препаратов.

Изучение влияния дозировки МЭП-2 на снижение содержания фитиновой кислоты

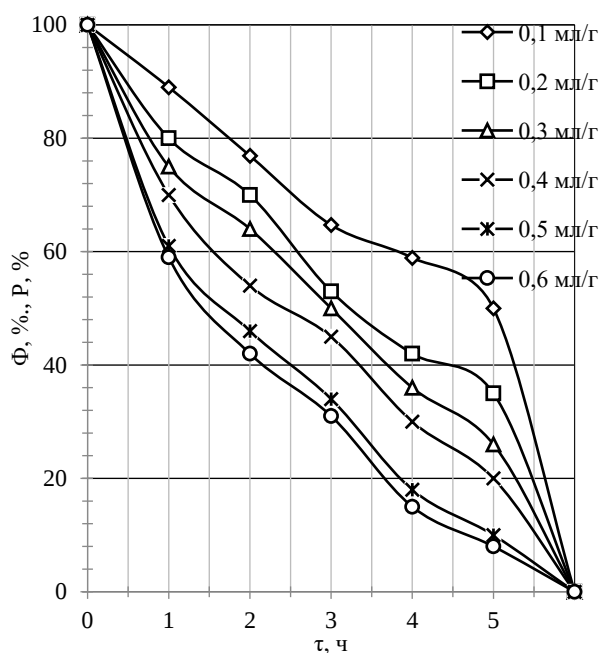


Рисунок 1. Влияние дозировки мультиферментного препарата МЭП-2 на содержание фитиновой кислоты в зеленой массе амаранта: Ф – содержание фитатов, % от максимального; τ – продолжительность гидролиза, ч, n – дозировка ферментных препаратов, мг/г

Figure 1. The effect of the dosage of the multi-enzyme preparation MЭП-2 on the content of phytic acid in the green mass of amaranth: P – the content of phytates, % of the maximum; τ – duration of hydrolysis, h, n – dosage of enzyme preparations, mg/g

(рисунок 1) показало, что внесение мульти-энзимного комплекса в количестве 0,5–0,6 мг/г в реакционную смесь позволит полностью удалить фитиновую кислоту в течение 5 ч гидролиза.

Изучение влияния pH на эффективность действия фитазы (рисунок 2) проводили при оптимальной дозировке мультиэнзимного препарата 0,5 мг/г сырья при температуре 30 °C в течение 1 ч. Установлено, что фермент проявляет высокую способность к деструкции фитиновой кислоты во всем исследуемом диапазоне pH, но наибольшее эффективна обработка зеленой массы амаранта при pH 6,5.

Выбор оптимальных режимов гидролиза фитатов зеленой массы амаранта мультиэнзимным комплексом (рисунок 3) показал, что наибольшее снижение фитатов наблюдается при дозировке МЭП-2 0,5–0,6 мг/г сырья, температуре 45 °C, pH 6,5 в течение 3–4 ч. Однако, для сохранения ценных компонентов зеленой массы амаранта нагревать ее выше 40 °C не рекомендуют.

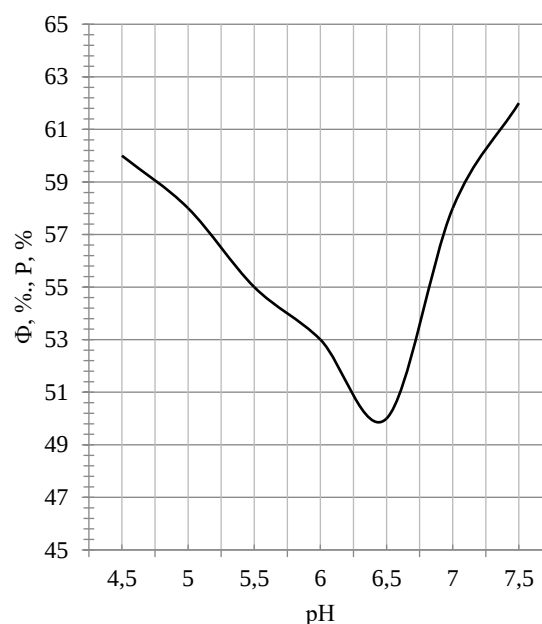


Рисунок 2. Влияние pH на содержание фитиновой кислоты и ее солей в процессе ферментативной обработки зеленой массы амаранта: Ф – содержание фитатов, % от максимального

Figure 2. The effect of pH on the content of phytic acid and its salts in the process of enzymatic treatment of amaranth green mass: P is the content of phytates, % of the maximum

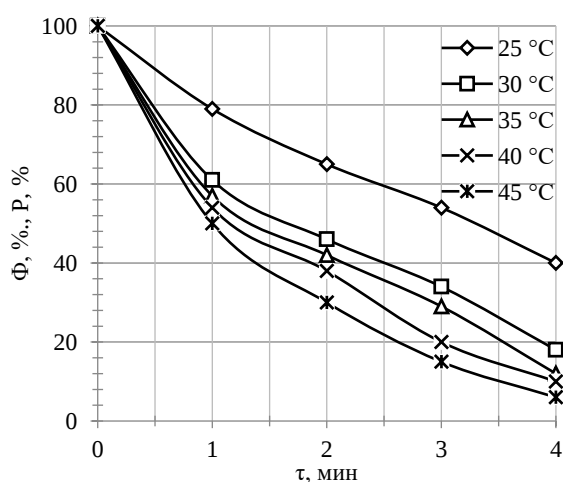


Рисунок 3. Динамика гидролиза фитатов зеленой массы амаранта мультиэнзимным препаратом МЭП-2 при дозировке 0,5 мг/г сырья: Φ – содержание фитатов, % от максимального; τ – продолжительность гидролиза, мин; t – температура гидролиза, °C

Figure 3. Dynamics of hydrolysis of phytates of amaranth green mass by multienzyme preparation MEP-2 at a dosage of 0.5 mg/g of raw materials: P – phytate content, % of maximum; τ – duration of hydrolysis, min, t – hydrolysis temperature, °C

Таким образом, для снижения количества фитиновой кислоты и ее солей в зеленой массе

амаранта ферментативную обработку необходимо проводить мультиэнзимным комплексом КЕМЗАЙМ® плюс Р сухой (МЭП-2) в количестве 0,5 мг/г сырья, при pH 6,5 и температуре 40 °C течение 3 ч, что позволит снизить содержание фитатов на 90%.

Заключение

Установлено, что в зеленой массе амаранта присутствуют: щавелевая кислота (79 мг/ 100 г.), танины (75 мг/ 100 г.), нитраты (74 мг/ 100 г.) и фитаты (156 мг/ 100 г.), ингибиторы трипсина и сапонины отсутствуют. Наиболее эффективным способом деструкции фитатов является ферментативная обработка. Наибольшее влияние на снижение фитатов в зеленой массе амаранта оказал ферментативный комплекс КЕМЗАЙМ® плюс Р сухой, дополнительно содержащий ферменты протеазу и амилазу, способствующие разрушению комплексов фитатов с крахмалом и протеином. Ферментативную обработку мультиэнзимным комплексом необходимо проводить в количестве 0,5 мг/г сырья, при pH 6,5 и температуре 40 °C в течение 3 ч, что позволяет снизить содержание фитатов на 90%.

Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 22–76–00062.

Литература

- 1 Нормова Т.А., Схабо Р.В., Шимко П.В. Долгосрочные перспективы развития птицеводства в России // Вестник Академии знаний. 2020. № 38 (3). С. 218–239.
- 2 Холикназарова Ш.Р., Тухтабоев Н.Х. Амарант: химический состав и как культура многоцелевого использования // Actual Problems of Applied Sciences Journal World. 2019. № 4(14). С. 57–66. doi: 10.5281/zenodo.2767543
- 3 Pavlenkova S.V., Shuveva G.P., Mescheryakova O.L., Miroshnichenko L.A., Korneeva O.S. Amaranth—A promising crop for fodder manufacturing // Journal of Biotechnology. 2017. V. 256. P. S27.
- 4 Дорохов А.С., Чилингарян Н.О. Состояние и перспективы развития комбикормовой промышленности в Российской Федерации // Аграрный вестник Урала. 2020. № 07 (198). С. 75–84.
- 5 Исмаева Ш.Н., Исабаев И.Б., Эргашева Х.Б. Альтернативные источники сырья для производства комбикормовой продукции // Universum: технические науки. 2019. №. 12-2 (69). С. 18-23. URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/8580>
- 6 Прохоров О.Н. Питательные и антипитательные вещества зерна амаранта // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы. 2019. С. 47-52.
- 7 Yang Y., Fukui R., Jia H., Kato H. (Amaranth supplementation improves hepatic lipid dysmetabolism and modulates gut microbiota in mice fed a high-fat diet // Foods. 2021. V. 10. №. 6. P. 1259. doi: 10.3390/foods10061259
- 8 Саломатов А.С., Быкова И.Д. Биологическая ценность амаранта // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2021. № 4(69). P. 95–100. doi: 10.33979/2219-8466-2021-69-4-95-100
- 9 Walk C.L., Rao S.V.R. Increasing dietary phytate has a significant anti-nutrient effect on apparent ileal amino acid digestibility and digestible amino acid intake requiring increasing doses of phytase as evidenced by prediction equations in broilers // Poultry science. 2020. V. 99. №. 1. P. 290-300. doi: 10.3382/ps/pez48
- 10 Babatunde O.O., Cowieson A.J., Wilson J.W., Adeola O. et al. The impact of age and feeding length on phytase efficacy during the starter phase of broiler chickens // Poultry Science. 2019. V. 98. №. 12. P. 6742-6750. doi: 10.3382/ps/pez390
- 11 Thirumalaisamy G., Muralidharan J., Senthilkumar S., Hema Sayee R. et al. Cost-effective feeding of poultry // International Journal of Science, Environment and Technology. 2016. V. 5. №. 6. P. 3997-4005.
- 12 Leinonen I., Kyriazakis I. How can we improve the environmental sustainability of poultry production? // Proceedings of the Nutrition Society. 2016. V. 75. №. 3. P. 265-273. doi: 10.1017/S0029665116000094
- 13 Chatterjee R.N., Rajkumar U. et al. An overview of poultry production in India // Indian Journal of Animal Health. 2015. V. 54. №. 2. P. 89-108.

- 14 Mottet A., Tempio G. Global poultry production: current state and future outlook and challenges // World's Poultry Science Journal. 2017. V. 73. №. 2. P. 245-256. doi: 10.1017/S0043933917000071
- 15 Mengesha M. The issue of feed-food competition and chicken production for the demands of foods of animal origin // Asian Journal of Poultry Science. 2012. V. 6. №. 3. P. 31-43.
- 16 Khairu Islam M., Forhad Uddin M., Mahmud Alam M. Challenges and prospects of poultry industry in Bangladesh // Eur. J. Bus. Manag. 2014. V. 6. P. 116-127.
- 17 Birhanu M.Y., Osei-Amponsah R., Yeboah Obese F., Dessie T. et al. Smallholder poultry production in the context of increasing global food prices: roles in poverty reduction and food security // Animal Frontiers. 2023. V. 13. №. 1. P. 17-25. doi: 10.1093/af/vfac069
- 18 Nkukwana T.T. Global poultry production: Current impact and future outlook on the South African poultry industry // South African Journal of Animal Science. 2018. V. 48. №. 5. P. 869-884. doi: 10.4314/sajas.v48i5.7
- 19 Gerber P., Opio C., Steinfeld H. Poultry production and the environment—a review // Animal production and health division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Viale delle Terme di Caracalla. 2007. V. 153. P. 1-27.
- 20 Mapiye C., Mwale M., Mupangwa J.F., Chimonyo M. et al. A research review of village chicken production constraints and opportunities in Zimbabwe // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2008. V. 21. №. 11. P. 1680-1688.

References

- 1 Normova T.A., Shabo R.V., Shimko P.V. Long-term prospects for the development of poultry farming in Russia. Bulletin of the Academy of Knowledge. 2020. no. 38 (3). pp. 218–239. (in Russian).
- 2 Kholiknazarova Sh.R., Tukhtaboev N.Kh. Amaranth: chemical composition and as a multi-purpose crop. Actual Problems of Applied Sciences Journal World. 2019. no. 4(14). pp. 57–66. doi: 10.5281/zenodo.2767543 (in Russian).
- 3 Pavlenkova S.V., Shuveva G.P., Mescheryakova O.L., Miroshnichenko L.A., Korneeva O.S. Amaranth—A promising crop for fodder manufacturing. Journal of Biotechnology. 2017. vol. 256. pp. S27.
- 4 Dorokhov A.S., Chilingaryan N.O. State and prospects for the development of the feed industry in the Russian Federation. Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. no. 07 (198). pp. 75–84. (in Russian).
- 5 Ismatova Sh.N., Isabaev I.B., Ergasheva Kh.B. Alternative sources of raw materials for the production of mixed feed products. Universum: technical sciences. 2019. no. 12-2 (69). pp. 18-23. Available at: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/8580> (in Russian).
- 6 Prokhorov O.N. Nutrients and anti-nutrients of amaranth grain. Current scientific and technical means and agricultural problems. 2019. pp. 47-52. (in Russian).
- 7 Yang Y., Fukui R., Jia H., Kato H. (Amaranth supplementation improves hepatic lipid dysmetabolism and modulates gut microbiota in mice fed a high-fat diet. Foods. 2021. vol. 10. no. 6. pp. 1259. doi: 10.3390/foods10061259
- 8 Salomatov A.S., Bykova I.D. Biological value of amaranth. Technology and merchandising of innovative food products. 2021. no. 4(69). pp. 95–100. doi: 10.33979/2219–8466–2021–69–4–95–100 (in Russian).
- 9 Walk C.L., Rao S.V.R. Increasing dietary phytate has a significant anti-nutrient effect on apparent ileal amino acid digestibility and digestible amino acid intake requiring increasing doses of phytase as evidenced by prediction equations in broilers. Poultry science. 2020. vol. 99. no. 1. pp. 290-300. doi: 10.3382/ps/pez48
- 10 Babatunde O.O., Cowieson A.J., Wilson J.W., Adeola O. et al. The impact of age and feeding length on phytase efficacy during the starter phase of broiler chickens. Poultry Science. 2019. vol. 98. no. 12. pp. 6742-6750. doi: 10.3382/ps/pez390
- 11 Thirumalaisamy G., Muralidharan J., Senthilkumar S., Hema Sayee R. et al. Cost-effective feeding of poultry. International Journal of Science, Environment and Technology. 2016. vol. 5. no. 6. pp. 3997-4005.
- 12 Leinonen I., Kyriazakis I. How can we improve the environmental sustainability of poultry production? Proceedings of the Nutrition Society. 2016. vol. 75. no. 3. pp. 265-273. doi: 10.1017/S0029665116000094
- 13 Chatterjee R.N., Rajkumar U. et al. An overview of poultry production in India. Indian Journal of Animal Health. 2015. vol. 54. no. 2. pp. 89-108.
- 14 Mottet A., Tempio G. Global poultry production: current state and future outlook and challenges. World's Poultry Science Journal. 2017. vol. 73. no. 2. pp. 245-256. doi: 10.1017/S0043933917000071
- 15 Mengesha M. The issue of feed-food competition and chicken production for the demands of foods of animal origin. Asian Journal of Poultry Science. 2012. vol. 6. no. 3. pp. 31-43.
- 16 Khairu Islam M., Forhad Uddin M., Mahmud Alam M. Challenges and prospects of poultry industry in Bangladesh. Eur. J. Bus. Manag. 2014. vol. 6. pp. 116-127.
- 17 Birhanu M.Y., Osei-Amponsah R., Yeboah Obese F., Dessie T. et al. Smallholder poultry production in the context of increasing global food prices: roles in poverty reduction and food security. Animal Frontiers. 2023. vol. 13. no. 1. pp. 17-25. doi: 10.1093/af/vfac069
- 18 Nkukwana T.T. Global poultry production: Current impact and future outlook on the South African poultry industry. South African Journal of Animal Science. 2018. vol. 48. no. 5. pp. 869-884. doi: 10.4314/sajas.v48i5.7
- 19 Gerber P., Opio C., Steinfeld H. Poultry production and the environment—a review. Animal production and health division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Viale delle Terme di Caracalla. 2007. vol. 153. pp. 1-27.
- 20 Mapiye C., Mwale M., Mupangwa J.F., Chimonyo M. et al. A research review of village chicken production constraints and opportunities in Zimbabwe. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2008. vol. 21. no. 11. pp. 1680-1688.

Сведения об авторах

Светлана В. Образцова к.т.н., инженер-химик, Испытательный центр, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, sveta5501pavlenkova@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9539-0168>

Ольга В. Бондарева младший научный сотрудник, лаборатория метагеномики и пищевых биотехнологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, bond.vrn15@ya.ru

Татьяна В. Свиридова к.б.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, sviridovav@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9529-5005>

Галина П. Шуваева к.б.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gpshuv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4294-8209>

Ольга Л. Мещерякова к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gawshina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7832-8220>

Ольга С. Корнеева д.б.н., зав. кафедрой, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, korneeva-olgas@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2863-0771>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Svetlana V. Obraztsova Cand. Sci. (Engin.), chemical engineer, testing center, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, sveta5501pavlenkova@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9539-0168>

Olga V. Bondareva resercher, laboratory of metagenomics and food biotechnologies, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, bond.vrn15@ya.ru

Tatiana V. Sviridova Cand. Sci. (Bio.), associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, sviridovav@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9529-5005>

Galina P. Shuvaeva Cand. Sci. (Bio.), associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gpshuv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4294-8209>

Olga L. Meshcheryakova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gawshina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7832-8220>

Olga S. Korneeva Dr. Sci. (Bio.), head of the department, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, korneeva-olgas@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2863-0771>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 12/07/2023	После редакции 02/08/2023	Принята в печать 25/08/2023
Received 12/07/2023	Accepted in revised 02/08/2023	Accepted 25/08/2023

Сырки творожные глазированные функционального назначения

Ольга И. Долматова¹olgadolmatova@rambler.ru 0000-0002-4450-8856Евгений А. Кривобоков¹evgeniy.krivobokov.01@mail.ru¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Урбеч – традиционное кавказское блюдо, изготавливаемое из масличных семян (конопли, льна, тыквы) или орехов, обычно с добавлением растительного или топленого сливочного масла, сахара и мёда. Сегодня урбеч переживает второе рождение. Этот натуральный продукт по праву относят к суперфуду. В льняном урбече содержится большое количество жиров, белков и незначительное количество углеводов. Продукт можно употреблять в пищу при низкоуглеводной диете. Урбеч льняной имеет повышенную массовую долю линолевой и линоленовых кислот, богат витаминами и минералами. Объектом исследования является сырок творожный глазированный с урбечем из золотистого льна и абрикосового джема, сырье для его производства. В ходе научной работы подобрано оптимальное соотношение компонентов начинки, творожной основы и глазури. Произведена выработка творожных глазированных сырков, сформированных в форме цилиндра со стержневой начинкой по центру. Проведены исследования продукта по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям. В качестве образца сравнения (контрольного) исследовали сырок творожный глазированный с ванилином, выработанный по традиционной технологии. Установлена пониженная калорийность сырка творожного глазированного с урбечем и абрикосовым джемом по сравнению с контрольным образцом. Так как в составе сырка присутствуют рецептурные компоненты, способные связывать влагу, дополнительно определяли влагоудерживающую способность гравиметрическим методом по Грау-Хамма в модификации А.А. Алексеева. Найдена высокая влагоудерживающая способность продукта, что позволяет сырку сохранять стабильную форму на всем сроке хранения и увеличить срок его годности на 25 %.

Ключевые слова: сырки глазированные, функциональный продукт, урбеч, творожный продукт, суперфуд.

Glazed curd curds of functional purpose

Olga I. Dolmatova¹olgadolmatova@rambler.ru 0000-0002-4450-8856Evgeny A. Krivobokov¹evgeniy.krivobokov.01@mail.ru¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Urbech is a traditional Caucasian dish made from oilseeds (hemp, flax, pumpkin) or nuts, usually with the addition of vegetable or melted butter, sugar and honey. Today, Urbech is experiencing a rebirth. This natural product is rightfully referred to as superfood. Flax urbech contains a large amount of fats, proteins and a small amount of carbohydrates. The product can be eaten with a low-carb diet. Flaxseed urbech has an increased mass fraction of linoleic and linolenic acids, is rich in vitamins and minerals. The object of the study is glazed cottage cheese with golden flax and apricot jam, raw materials for its production. In the course of scientific work, the optimal ratio of the components of the filling, curd base and glaze was selected. The production of glazed curd curds formed in the form of a cylinder with a core filling in the center was carried out. Studies of the product on organoleptic, physico-chemical and microbiological parameters were carried out. As a comparison sample (control), glazed curd cheese with vanilla, developed according to traditional technology, was studied. The reduced caloric content of glazed curd cheese with urbech and apricot jam was established in comparison with the control sample. Since the composition of the cheese contains prescription components capable of binding moisture, the moisture-retaining ability was additionally determined by the Grau-Hamm gravimetric method in the modification of A.A. Alekseev. A high moisture-retaining ability of the product was found, which allows the cheese to maintain a stable shape throughout the entire shelf life and increase its shelf life by 25%.

Keywords: glazed cheese curds, functional product, urbech, curd product, superfood.

Введение

Урбеч – традиционное кавказское блюдо, изготавливаемое из масличных семян (конопли, льна, тыквы) или орехов, обычно с добавлением растительного или топленого сливочного масла, сахара и меда. Внешне урбеч выглядит как густая маслянистая паста, которую можно намазывать на хлеб, макать в нее лепешки, в более жидкой консистенции использовать в качестве соуса. Большая популярность продукта в настоящее время объясняется его питательными свойствами и высокой биологической ценностью [1, 2].

Сегодня урбеч переживает второе рождение – этот натуральный продукт по праву

относят к суперфуду (т. е. к продуктам с высокой концентрацией полезных веществ). Богатая белком, ненасыщенными жирными кислотами, витаминами и минеральными веществами паста пользуется заслуженной любовью у поклонников здорового питания.

Современный рынок урбечей развивается стремительными темпами. Однако, с таким специфическим продуктом знакомы немногие люди. Проведенный опрос показал, что более 70% не знают что такое урбеч (рисунок 1) [2, 3].

Для цитирования

Долматова О.И., Кривобоков Е.А. Сырки творожные глазированные функционального назначения // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 113–118. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-113-118

For citation

Dolmatova O.I., Krivobokov E.A. Glazed curd curds of functional purpose. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 113–118. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-113-118

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

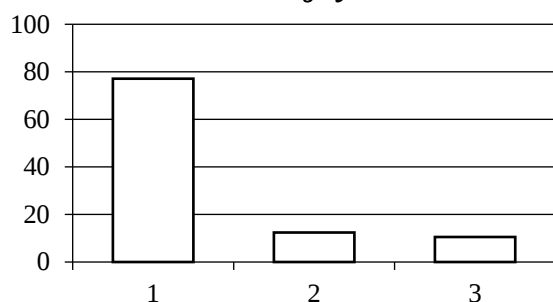


Рисунок 1. Потребление урбеча населением, %: 1 – никогда не слышали об урбече; 2 – слышали об урбече; 3 – пробовали урбеч хотя бы однажды

Figure 1. Consumption of urbech by the population, %: 1 – have never heard of urbech; 2 – have heard of urbech; 3 – have tried urbech at least once



Рисунок 2. Распределение жирных кислот в группах по массе в урбече, г/100 г. продукта: 1 – насыщенные; 2 – мононенасыщенные; 3 – полиненасыщенные

Figure 2. Distribution of fatty acids in groups by weight in urbech, g/100 g of product: 1 – saturated; 2 – monounsaturated; 3 – poly-saturated

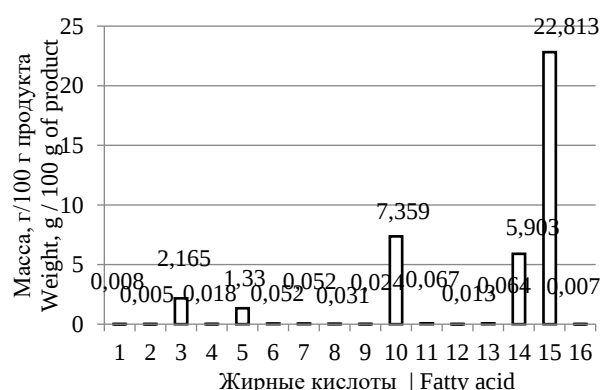


Рисунок 4. Количество жирных кислот в урбече, г/100 г. продукта: 1 – миристиновая; 2 – пентадекановая; 3 – пальмитиновая; 4 – маргариновая; 5 – стеариновая; 6 – арахидиновая; 7 – бегеновая; 8 – лигноцеридовая; 9 – пальмитолеиновая; 10 – олеиновая; 11 – гадолеиновая; 12 – эруковая; 13 – нервоновая; 14 – линолевая; 15 – линоленовая; 16 – эйкозодиеновая

Figure 4. The amount of fatty acids in the urine, g/100 g of the product: 1 – myristic; 2 – pentadecanoic; 3 – palmitic; 4 – margaric; 5 – steric; 6 – arachidic; 7 – begenic; 8 – lignoceric; 9 – palmitoleic; 10 – oleic; 11 – gadoleic; 12 – erucic; 13 – non-silicone; 14 – linoleic; 15 – linolenic; 16 – eicosadiene

В льняном урбече содержится большое количество жиров, белков и незначительное количество углеводов. Продукт можно употреблять в пищу при низкоуглеводной диете. Лен является источником полиненасыщенных жирных кислот. Урбеч льняной имеет повышенную массовую долю линолевой и линоленовых кислот (рисунок 2, 3), богат витаминами и минералами (рисунок 4, 5) [4, 5].

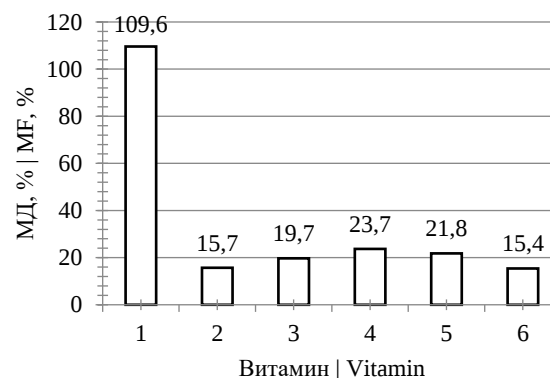


Рисунок 3. Массовая доля витаминов в урбече из золотистого льна, % суточной нормы: 1 – B₁; 2 – холин; 3 – B₅; 4 – B₆; 5 – B₉; 6 – PP

Figure 3. Mass fraction of vitamins in golden flax urbech, % of daily value: 1 – B₁; 2 – choline; 3 – B₅; 4 – B₆; 5 – B₉; 6 – PP

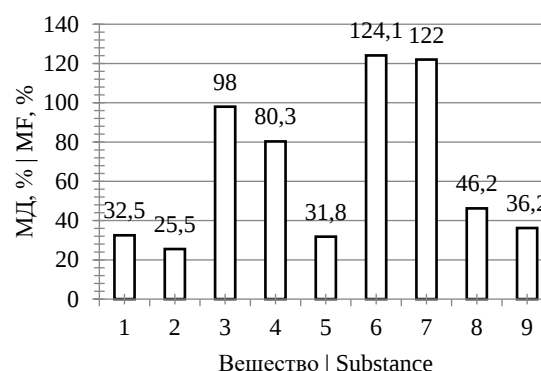


Рисунок 5. Массовая доля минеральных веществ в урбече из золотистого льна, % суточной нормы: 1 – калий; 2 – кальций; 3 – магний; 4 – фосфор; 5 – железо; 6 – марганец; 7 – медь; 8 – селен; 9 – цинк

Figure 5. Mass fraction of mineral substances in golden flax urbech, % of daily value: 1 – potassium; 2 – calcium; 3 – magnesium; 4 – phosphorus; 5 – iron; 6 – manganese; 7 – copper; 8 – selenium; 9 – zinc

Данных по результатам научных исследований по урбечу и продуктам, изготовленным на его основе мало. Урбеч служит сырьем для приготовления различных мучных кондитерских изделий. Из него готовят сливочный соус к мясным изделиям, закуску «Хумус», конфеты, батончики.

Известны варианты использования урбеча в качестве рецептурного ингредиента при производстве пряников, в которых проводится замена маргарина на урбеч в 100% соотношении, при этом понижается калорийность готового продукта [6].

В молочной отрасли известен способ получения творожных глазированных сырков с использованием в качестве функционального наполнителя медово-льняной массы, вводимой на стадии формирования. Полученные творожные глазированные сырки обладают пониженной калорийностью, повышенной физиологической ценностью, сбалансированным жирно-кислотным составом, а также улучшенными органолептическими свойствами [4, 5].

Материалы и методы

Объектом исследования является сырок творожный глазированный с урбечем из золотистого льна и абрикосового джема, сырье для его производства. Оценку качества готового продукта проводили по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям (ГОСТ Р ИСО 22935–3–2011, ГОСТ 5867, ГОСТ Р 54669, ГОСТ Р 54668, ГОСТ Р 54667, ГОСТ 33566), влагоудерживающую способность (ВУС) гравиметрическим методом по Грау-Хамма в модификации А.А. Алексеева.

Результаты и обсуждение

Творожные продукты пользуются спросом у населения [7–9]. Для придания им функциональных свойств известны различные варианты способа их приготовления [10–16].

Урбеч из золотистого льна представляет собой плотную, тягучую и густую массу однородной консистенции, золотистого цвета, с ароматом и вкусом семян льна. Он содержит в своем составе, г / 100 г. продукта: белки – 20; жиры – 39; углеводы – 19.

Урбеч из золотистого льна обладает рядом положительных свойств:

- улучшает работу ЖКТ, мозга, нервной системы;
- снижает уровень холестерина в крови, нормализует артериальное давление;
- снижает уровень сахара в крови;
- обладает антиоксидантной активностью.

Абрикосовый джем содержит калий, цинк, пектины, кальций, клетчатку, железо, каротин и другие полезные вещества. Продукт активизирует работу мозга, помогает справляться со стрессами, улучшает иммунитет и зрение. Он благоприятно влияет на состояние сосудов, выводит из организма токсины.

В ходе научной работы подобрано оптимальное соотношение компонентов начинки, творожной основы и глазури. Произведена выработка творожных глазированных сырков, сформированных в форме цилиндра со стержневой начинкой по центру (рисунок 6).



Рисунок 6. Внешний вид сырка творожного глазированного (в разрезе)

Figure 6. Appearance of glazed curd cheese (in section)

Состав готового продукта влияет на его показатели качества [17–20].

Проведены исследования продукта по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям. В качестве образца сравнения (контрольного) исследовали сырок творожный глазированный с ванилином, выработанный по традиционной технологии (таблица 1).

Так как в составе сырка присутствуют рецептурные компоненты, способные связывать влагу, дополнительно определяли влагоудерживающую способность (ВУС) гравиметрическим методом по Грау-Хамма в модификации А.А. Алексеева (таблица 2).

Таблица 1.

Показатели качества творожных глазированных сырков

Table 1.

Indicators of the quality of glazed curd cheeses

Показатель Indicator	Характеристика Characteristic	
	исследуемый образец the test sample	контрольный образец control sample
1	2	
Внешний вид Appearance	3	
	Форма – цилиндрическая, ненарушенная. Поверхность продукта равномерно покрыта глазурью, гладкая, блестящая, не липнет к упаковке The shape is cylindrical, undisturbed. The surface of the product is evenly coated with glaze, smooth, shiny, does not stick to the package	

1	2	3
Вкус и запах Taste and smell	Для творожной массы – чистый, кисломолочный, сладкий, с запахом ванилина, со вкусом урбеча и абрикосового джема. Для глазури – сладкий, со вкусом и запахом какао-порошка For the curd mass – pure, fermented milk, sweet, with the smell of vanilla, with the taste of urbech and apricot jam. For the glaze – sweet, with the taste and smell of cocoa powder	Для творожной массы – чистый, кисломолочный, сладкий, с запахом ванилина. Для глазури – сладкий, со вкусом и запахом какао-порошка For the curd mass – pure, sour-milk, sweet, with the smell of vanillin. For the glaze – sweet, with the taste and smell of cocoa powder
Консистенция Consistency	Однородная, в меру плотная с наличием семян льна. Глазурь – твердая, однородная, не крошащаяся Homogeneous, moderately dense with the presence of flax seeds. Glaze – solid, homogeneous, not crumbling	Нежная, однородная, в меру плотная. Глазурь – слегка пластичная, однородная, не крошащаяся Gentle, homogeneous, moderately dense. Glaze – slightly plastic, homogeneous, not crumbling
Цвет Color	Для творожной массы – белый. Для начинки – светло-коричневый с вкраплениями семян льна. Для глазури – темно-коричневый For the curd mass – white. For the filling – light brown with flaxseed inclusions. For the glaze – dark brown	Для творожной массы – белый. Для глазури – темно-коричневый For the curd mass – white. For the glaze – dark brown
МД жира, % MFof fat, %	15,2	24
МД белка, % MFof protein, %	10,8	8,2
МД влаги, % MFof moisture, %	38,4	41,6
МД углеводов, в том числе сахарозы, % MFof carbohydrates, including sucrose, %	25,3 8,0	26,7 24,9
Титруемая кислотность, °Т Titrated acidity	160	160
Фосфатаза Phosphatase	–	–
Энергетическая ценность, ккал Energy value, kcal	281,2	355,6

Таблица 2.
Изучение влагоудерживающей способности
сырков творожных глазированных при
хранении

Table 2.
The study of the moisture-retaining ability of
cottage cheese curds during storage

Срок хранения, сут Shelf life, days	Влагоудерживающая способность, % Moisture-retaining ability, %	
	образец sample	контроль control
0	65,27	52,36
1	65,27	50,00
2	65,25	47,81
3	65,24	45,00
4	65,24	43,91
5	65,24	42,00
6	65,23	40,00
7	65,23	35,90
8	65,23	31,00
9	65,22	27,85
10	65,22	26,00

Показатель влагоудерживающей способности в исследуемом образце на протяжении всего срока годности был стабилен, тогда как аналогичный показатель в контрольном образце снизился в 2 раза.

При хранении продуктов контрольный образец на 8-е сутки считали испорченным: титруемая кислотность превысила показатель 220 °Т. На основании данных лабораторных исследований установлен срок годности сырков творожных глазированных с урбечем и абрикосовым джемом – 10 сут.

Заключение

Произведена выработка творожных глазированных сырков, сформированных в форме цилиндра со стержневой начинкой из урбеча и абрикосового джема по центру. Установлена пониженная калорийность готового продукта по сравнению с контрольным образцом. Найдена высокая влагоудерживающая способность, что позволяет сырку сохранять стабильную форму на всем сроке хранения и увеличить срок его годности на 25%.

Литература

- 1 Magomedov A.J., Yusupov K.A. The mill traditional crafts of dagestan: ethnic culture, terminology // History, Archeology and Ethnography of the Caucasus. 2021. V. 17. №. 1. P. 211–221.
- 2 Бетмерзаева М.Р., Козлова А.С., Барышникова Н.И. Обзор современного рынка урбечей // Качество продукции, технологий и образования. 2019. С. 67–69.
- 3 Бейгул А.Е., Илларионова О.В. Урбеч национальный продукт Дагестана в Башкортостане // Студенчество России: век XXI. 2019. С. 172–178.
- 4 Ситникова А.М., Короткова А.А. Обоснование использования продуктов льноводства в производстве творожных сырков // Повышение качества и безопасности пищевых продуктов. 2019. С. 129–131.
- 5 Ситникова А.М., Короткова А.А. Влияние медово-льняного наполнителя на качество творожных глазированных сырков // Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством. 2020. Т. 1. №. 1. С. 501–505.
- 6 Темникова О.Е., Чикова Н.В. Разработка технологии пряников функционального назначения // Технологии и продукты здорового питания. 2021. С. 651–655.
- 7 Суховеркова Е.Б. Эффективные решения для производства творожных продуктов в условиях современного рынка // Молочная промышленность. 2019. № 4. С. 43–44.
- 8 Алефrienko Е.А., Крючкова В.В. Технология обогащения творожного продукта // Молочная промышленность. 2019. № 6. С. 38–39.
- 9 Гаврилова Н.Б., Молибога Е.А., Демидова В.А. Мягкий творог с пищевыми волокнами // Молочная промышленность. 2017. № 12. С. 56–57.
- 10 Зобкова З.С., Фурсова Т.П., Зенина Д.В., Гаврилина А.Д. и др. Разработка технологии творожного продукта, обогащенного функциональными ингредиентами // Молочная промышленность. 2019. № 5. С. 44–45.
- 11 Зобкова З.С., Фурсова Т.П., Зенина Д.В., Гаврилина А.Д. и др. Изучение функциональных свойств обогащенного творожного продукта // Пищевая промышленность. 2020. № 3. С. 22–28.
- 12 Мотненко Е.О., Хиль Л.М. Разработка рецептур глазированных сырков на основе растительного и молочного сырья // Инновационные тенденции развития российской науки. 2022. С. 444–448.
- 13 Долматова О.И., Чернышева Т.Е. Здоровый молочный перекус // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. №. 2 (84). С. 88–93.
- 14 Менялкина А.С. и др. Использование функциональных компонентов растительного происхождения в производстве сырков творожных глазированных // Аграрно-пищевые инновации. 2019. №. 3. С. 92–99.
- 15 Kashirskih E.V., Babich O.O., Kriger O.V., Ivanova S.A. Oat protein concentrate as part of curd product for sport nutrition // Food Processing: Techniques and Technology. 2019. V. 54. №. 3. P. 345–355.
- 16 Kohlman O.I. et al. Alternative raw materials for food industry // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. V. 315. №. 5. P. 052024.
- 17 Najmitdinova G.K. Scientific study of the chemical composition of dairy products // Open Access Repository. 2023. V. 4. №. 02. P. 11–18.
- 18 Najmitdinova G.K. Dairy Processing Technology // European Journal of Emerging Technology and Discoveries. 2023. V. 1. №. 2. P. 17–23.
- 19 Долматова О.И., Дошина А.В., Печенкина И.Н., Выклинец Л.В. Современные технологии кисломолочного продукта со вкусовыми компонентами // Пищевая промышленность. 2019. № 4. С. 38–39.
- 20 Gavrilova N., Chernjpol'skaya N., Rebezov M., Moisejkina D. et al. Advanced biotechnology of specialized fermented milk product // International Journal of Recent Technology and Engineering. 2019. V. 8. № 2. P. 2718–2722.

References

- 1 Magomedov A.J., Yusupov K.A. The mill traditional crafts of dagestan: ethnic culture, terminology. History, Archeology and Ethnography of the Caucasus. 2021. vol. 17. no. 1. pp. 211–221. (in Russian).
- 2 Betmerzaeva M.R., Kozlova A.S., Baryshnikova N.I. Review of the modern market of Urbechi. Quality of products, technologies and education. 2019. pp. 67–69. (in Russian).
- 3 Beygul A.E., Illarionova O.V. Urbech is a national product of Dagestan in Bashkortostan. Students of Russia: the XXI century. 2019. pp. 172–178. (in Russian).
- 4 Sitnikova A.M., Korotkova A.A. Justification for the use of flax products in the production of curd cheese. Improving the quality and safety of food products. 2019. pp. 129–131. (in Russian).
- 5 Sitnikova A.M., Korotkova A.A. The influence of honey-linseed filler on the quality of glazed curd curds. Current issues in the dairy industry, interindustry technologies and quality management systems. 2020. vol. 1. no. 1. pp. 501–505. (in Russian).
- 6 Temnikova O.E., Chikova N.V. Development of technology for functional gingerbread. Technologies and healthy nutrition products. 2021. pp. 651–655. (in Russian).
- 7 Sukhoverkova E.B. Effective solutions for the production of curd products in the modern market. Dairy industry. 2019. no. 4. pp. 43–44. (in Russian).
- 8 Alefrienko E.A., Kryuchkova V.V. Technology of enrichment of curd product. Dairy industry. 2019. no. 6. pp. 38–39. (in Russian).
- 9 Gavrilova N.B., Molibova E.A., Demidova V.A. Soft cottage cheese with dietary fiber. Dairy industry. 2017. no. 12. pp. 56–57. (in Russian).
- 10 Zobkova Z.S., Fursova T.P., Zenina D.V., Gavrilina A.D. and others. Development of technology for a curd product enriched with functional ingredients. Dairy industry. 2019. no. 5. pp. 44–45. (in Russian).

- 11 Zobkova Z.S., Fursova T.P., Zenina D.V., Gavrilina A.D. and others. Study of the functional properties of an enriched curd product. *Food industry*. 2020. no. 3. pp. 22–28. (in Russian).
- 12 Motnenko E.O., Khil L.M. Development of recipes for glazed cheese curds based on plant and dairy raw materials. *Innovative trends in the development of Russian science*. 2022. pp. 444–448. (in Russian).
- 13 Dolmatova O.I., Chernysheva T.E. Healthy milk snack. *Proceedings of VSUET*. 2020. vol. 82. no. 2 (84). pp. 88–93. (in Russian).
- 14 Menyalkina A.S. and others. The use of functional components of plant origin in the production of glazed curd cheese. *Agricultural and food innovations*. 2019. no. 3. pp. 92–99. (in Russian).
- 15 Kashirskih E.V., Babich O.O., Kriger O.V., Ivanova S.A. Oat protein concentrate as part of curd product for sport nutrition. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2019. vol. 54. no. 3. pp. 345–355.
- 16 Kohlman O.I. et al. Alternative raw materials for food industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. vol. 315. no. 5. pp. 052024.
- 17 Najmitdinova G.K. Scientific study of the chemical composition of dairy products. *Open Access Repository*. 2023. vol. 4. no. 02. pp. 11–18.
- 18 Najmitdinova G.K. Dairy Processing Technology. *European Journal of Emerging Technology and Discoveries*. 2023. vol. 1. no. 2. pp. 17–23.
- 19 Dolmatova O.I., Doshina A.V., Pechenkina I.N., Vyklinets L.V. Modern technologies of fermented milk product with flavoring components. *Food industry*. 2019. no. 4. pp. 38–39. (in Russian).
- 20 Gavrilova N., Chernjanskaya N., Rebezov M., Moisejkina D. et al. Advanced biotechnology of specialized fermented milk product. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019. vol. 8. no. 2. pp. 2718–2722.

Сведения об авторах

Ольга И. Долматова к.т.н., доцент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, olgadolmatova@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4450-8856>

Евгений А. Кривобок студент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, evgeniy.krivobokov.01@mail.ru

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Olga I. Dolmatova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, animal origin products technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, olgadolmatova@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4450-8856>

Evgeny A. Krivobokov student, animal origin products technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, evgeniy.krivobokov.01@mail.ru

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 06/07/2023	После редакции 25/07/2023	Принята в печать 16/08/2023
Received 06/07/2023	Accepted in revised 25/07/2023	Accepted 16/08/2023

Анализ потребительского рынка песочного печенья в Республике Адыгея

Сусанна Т. Беретарь	¹	beretarst@mail.ru	 0009-0008-9027-2830
Зурет Н. Хатко	¹	znkhatko@mail.ru	 0000-0001-7097-1345
Зарета Т. Тазова	¹	zareta.tazova@yandex.ru	 0000-0003-4200-3229
Асет И. Блягоз	¹	aset.blyagoz@mail.ru	 0000-0002-2037-0514
Татьяна Б. Колотий	¹	tatuana.kolotij@yandex.ru	 0000-0002-1665-5744

¹ Майкопский государственный технологический университет, ул. Первомайская 191, г. Майкоп, 385000, Россия

Аннотация. Мучные кондитерские изделия привлекательны для покупателей и производителей. Индекс промышленного производства РФ, в том числе «Производство хлебобулочных и мучных кондитерских изделий», на май 2023 г. составил 107,7% по сравнению с аналогичным периодом 2022 г. При оценке продукта необходимо учитывать потребительские свойства и гигиенические нормы. Основные группы мучных кондитерских изделий – развесные и упакованные. Единого метода сегментирования рынка нет. Сегментирование делится по географическому и демографическому (пол, возраст, размер семьи, уровень доходов и др.) принципам. Все больший интерес приобретают мучные кондитерские изделия с повышенной пищевой и биологической ценностью, функционального назначения, а также обогащенные. Цель работы – исследование потребительского рынка песочного печенья в Республике Адыгея: анализ ассортимента и покупательских предпочтений. Исследован потребительский рынок песочного печенья в Республике Адыгея, проанализированы ассортимент и покупательские предпочтения. Установлено, что отечественная промышленность вырабатывает лишь небольшое число наименований диетических мучных кондитерских изделий, включающих печенье. Треть потребителей в республике (31%) употребляют печенье ежедневно, в основном, удовлетворены его ассортиментом (82%), песочное печенье предпочитают 22%, более половины (62%) выбирают печенье без добавок и развесное. Информацией о печенье интересуются две трети потребителей. Однако функциональной направленностью продукта печенья интересуются примерно пятая часть, что подтверждает необходимость развития ассортимента мучных кондитерских изделий в этом направлении и формирования потребительского спроса на эту продукцию. В республике имеется хорошая сырьевая база для получения нетрадиционных источников сырья, например, мука из белой пищевой кукурузы «Адыгейская», разработанной в ГНУ «Адыгейский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», использование которой в мучных композициях позволит получать песочное печенье функционального назначения (например, безглютеновое, с низким содержанием глютена и др.).

Ключевые слова: песочное печенье, потребительский рынок, анкетирование, производители, реализация, предпочтения, сегментирование.

Shortbread Consumer Market Analysis in the Republic of Adygea

Susanna T. Beretar	¹	beretarst@mail.ru	 0009-0008-9027-2830
Zuret N. Khatko	¹	znkhatko@mail.ru	 0000-0001-7097-1345
Zareta T. Tazova	¹	zareta.tazova@yandex.ru	 0000-0003-4200-3229
Aset I. Blagoz	¹	aset.blyagoz@mail.ru	 0000-0002-2037-0514
Tatyana B. Kolotiy	¹	tatuana.kolotij@yandex.ru	 0000-0002-1665-5744

¹ Maykop State Technological University, st. Pervomayskaya 191, Maikop, 385000, Russia

Abstract. Flour confectionery products are attractive to buyers and producers. The index of industrial production of the Russian Federation, including "Production of bakery and flour confectionery products", as of May 2023 amounted to 107.7% compared to the same period in 2022. When evaluating the product, it is necessary to take into account consumer properties and hygienic standards. The main groups of flour confectionery products are weighted and packaged. There is no single method of market segmentation. Segmentation is divided according to geographical and demographic (gender, age, family size, income level, etc.) principles. Flour confectionery products with increased nutritional and biological value, functional purpose, as well as enriched are gaining more and more interest. The aim of the work is to study the consumer market of sand cookies in the Republic of Adygea: analysis of assortment and consumer preferences. The consumer market of shortbread cookies in the Republic of Adygea is studied, assortment and consumer preferences are analyzed. It is established that the domestic industry produces only a small number of names of dietary flour confectionery products including cookies. One third of consumers in the country (31%) use cookies daily, mostly satisfied with their assortment (82%), 22% prefer sandy cookies, more than half (62%) choose cookies without additives and weighted cookies. Two thirds of consumers are interested in information about cookies. However, about one fifth of cookies are interested in the functional orientation of the product, which confirms the need to develop the assortment of flour confectionery products in this direction and the formation of consumer demand for these products. In the republic there is a good raw material base for obtaining non-traditional sources of raw materials, for example, flour from white edible corn "Adygeyskaya", developed in the State Scientific and Research Institution "Adygeysky Research Institute of Agriculture", the use of which in flour compositions will allow to obtain sand cookies of functional purpose (for example, gluten-free, low-gluten, etc.).

Keywords: shortbread cookies, consumer market, survey, manufacturers, sales, preferences, segmentation.

Для цитирования

Беретарь С.Т., Хатко З.Н., Тазова З.Т., Блягоз А.И., Колотий Т.Б. Анализ потребительского рынка песочного печенья в Республике Адыгея // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 119–124. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-119-124

For citation

Beretar S.T., Khatko Z.N., Tazova Z.T., Blagoz A.I., Kolotiy T.B. Shortbread Consumer Market Analysis in the Republic of Adygea. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 119–124. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-119-124

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

Введение

Высокий спрос, богатый ассортимент, простая рецептура – эти факторы делают мучные кондитерские изделия привлекательными не только для покупателей, но и для производителей. Индекс промышленного производства РФ, в том числе «Производство хлебобулочных и мучных кондитерских изделий», на май 2023 г. составил 107,7% по сравнению с аналогичным периодом 2022 г. [1].

Качество продукции напрямую зависит от ингредиентов, которые использовались для ее изготовления. Для оценки продукта нужно учитывать два ключевых требования к качеству: потребительские свойства и гигиенические нормы. Печенье и другие сухие мучные кондитерские изделия должны храниться в прохладном помещении (не более +18 °C) и с показателями относительной влажности 70–75%.

Основные группы мучных кондитерских изделий – развесные и упакованные, которые значительно различаются по цене: упакованная продукция стоит в среднем вдвое дороже, чем аналогичная развесная. Развесное печенье более сосредоточенно на региональных рынках, наблюдается ежегодный рост его потребления.

Единого метода сегментирования рынка нет. Сегментирование делится по географическому и демографическому (пол, возраст, размер семьи, уровень доходов и др.) принципам. Психографическое сегментирование покупателей предусматривает разделение на группы по следующим критериям: общественный класс, образа жизни или характеристика личности.

Все больший интерес приобретают мучные кондитерские изделия с повышенной пищевой и биологической ценностью [2], функционального назначения [3], а также обогащенные, в том числе печенье, из смеси пшеничной, нутовой, льняной муки [4], с кукурузной мукой [5], с цитрусовым пектином [6], с экстрактом кожуры красного винограда и овсяного β -глюкана [7] и др. При разработке продуктов здорового питания большое внимание также уделяется кукурузе белой зубчатой, технологическим способам ее обработки [8, 9], использование пшеничной и различных видов кукурузной муки ведется исходя из сравнительного анализа содержания минеральных веществ, состава свободных фенольных кислот и антиоксидантной активности [10].

Цель работы – исследование потребительского рынка песочного печенья в Республике Адыгея: анализ ассортимента и покупательских предпочтений.

Материалы и методы

Нами разработана анкета исследования потребительского спроса на мучные кондитерские изделия. В опросе по демографическому принципу принимали участие 1000 покупателей различных по возрасту и уровню дохода, роду занятий, образованию, интенсивности потребления, отношению к товару.

Результаты

Отечественная промышленность вырабатывает лишь небольшое число наименований диетических мучных кондитерских изделий, включающих печенье.

Проведен анализ ассортимента и потребительский спрос песочного печенья функционального назначения, реализуемого в Республике Адыгея. Печенье песочное, реализуемое в республике представлено в таблице 1.

Таблица 1.
Печенье песочное, реализуемое
в Республике Адыгея

Table 1.

Shortbread cookies sold
in the Republic of Adygeya

Производитель	Наименование
ТМ «Еромолино»	Печенье песочное «Сливочное»
	Печенье песочное хрустящее с карамелью
	Печенье сдобное с кунжутом
	Печенье сдобное «Курабье»
	Печенье сдобное «Песочное классическое» с сахарной пудрой
	Печенье сдобное «Малиновка»
Кондитерская компания «Карнавал»	Печенье песочное «Фиалка творожная»
ИП Закинян «Сластена», г. Майкоп	Гата песочная
	Печенье песочное «Вдохновение»
	Печенье «Ромашка»

Диаграмма потребления печенья по потребительским предпочтениям показана на рисунке 1. Диаграмма удовлетворенности ассортиментом печенья в г. Майкоп на рисунке 2. Диаграмма регулярности употребления печенья показана на рисунке 3. Диаграмма предпочтения начинки в печенье представлена на рисунке 4. Диаграмма потребления печенья функционального назначения показана на рисунке 5. Диаграмма отношения к печенью с добавками показана на рисунке 6. Диаграмма о выборе упаковки для печенья показана на рисунке 7. Диаграмма ознакомления с информацией на упаковке печенья показана на рисунке 8.

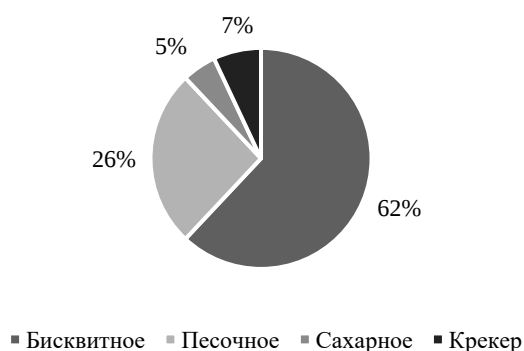


Рисунок 1. Диаграмма потребления печенья по потребительским предпочтениям

Figure 1. Chart of cookie consumption by consumer preferences



Рисунок 2. Диаграмма удовлетворенности ассортиментом печенья в г. Майкоп

Figure 2. Diagram of satisfaction with the assortment of cookies in Maykop

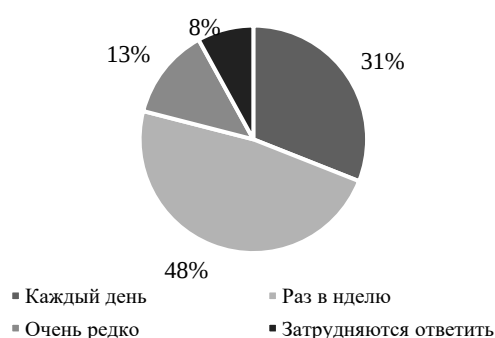


Рисунок 3. Диаграмма регулярности употребления печенья

Figure 3. Chart of regularity of cookie consumption

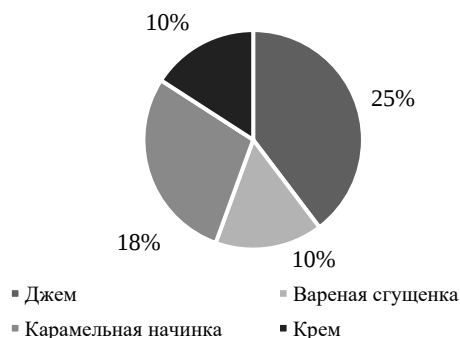


Рисунок 4. Диаграмма предпочтения начинки в печенье

Figure 4. Cookie filling preference chart

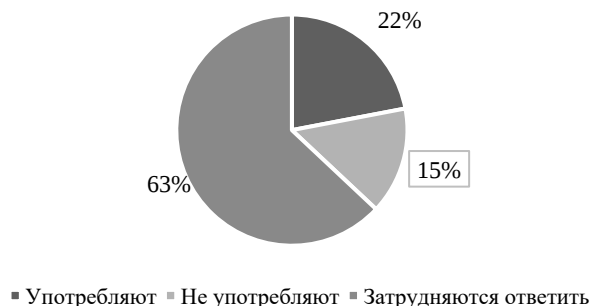


Рисунок 5. Диаграмма потребления печенья функционального назначения

Figure 5. Consumption chart for functional cookies



Рисунок 6. Диаграмма отношения к печенью с добавками

Figure 6. Diagram of the relationship to liver with supplements

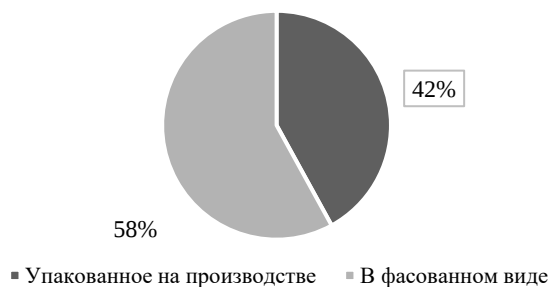


Рисунок 7. Диаграмма о выборе упаковки для печенья

Figure 7. Diagram on choosing packaging for cookies



Рисунок 8. Диаграмма ознакомления с информацией на упаковке печенья

Figure 8. Diagram of information on cookie packaging

Обсуждение

Анализ полученных результатов исследования показывает, что в г. Майкопе 82% опрошенных удовлетворены ассортиментом печенья, а 18% затрудняются ответить на этот вопрос. По потребительским предпочтениям бисквитное печенье выбрали – 62% опрошенных, песочное печенье – 26%, сахарное печенье – 5%, а крекер – 7%.

Из опрошенных 31% – употребляют печенье каждый день, 48% – раз в неделю, 13% – приобретают очень редко, и 8% – затрудняются ответить.

Печенье с начинкой выбирают 63% опрошенных, в том числе с: джемом – 25%, вареной сгущенкой – 10%, карамельной начинкой – 18%, кремом – 10%.

Песочное печенье функционального назначения выбирают 22% опрошенных, 15% – не выбирают такое печенье, а 63% – затрудняются ответить.

К печенью с добавками (мак, кунжут, орехи и др.) респонденты относятся: отрицательно – 63%, положительно – 32%, затрудняются ответить – 5%.

Печенье, упакованное на производстве, предпочитают – 42% опрошенных, а 58% – в фасованном виде.

Информацию на упаковке печенья читают 72%, не интересуются информацией – 28%.

Заключение

Сегодня все больше предприятий, занимающихся выпуском недорогих и привлекательных мучных кондитерских изделий. Высокая

конкуренция между предприятиями позволяет насытить рынок данной продукции. Таких предприятий более 500.

Исследован потребительский рынок песочного печенья в Республике Адыгея, проанализированы ассортимент и покупательские предпочтения.

Установлено, что отечественная промышленность вырабатывает лишь небольшое число наименований диетических мучных кондитерских изделий, включающих печенье. Треть потребителей в республике (31%) употребляют печенье ежедневно, в основном, удовлетворены его ассортиментом (82%), песочное печенье предпочитают 22%, более половины (62%) выбирают печенье без добавок и развесное. Информацией о печенье интересуются две трети потребителей.

Однако функциональной направленностью печенья интересуется примерно пятая часть (22%), что подтверждает необходимость развития ассортимента мучных кондитерских изделий в этом направлении и формирования потребительского спроса на эту продукцию. В республике имеется хорошая сырьевая база для получения нетрадиционных источников сырья для использования в качестве функционального ингредиента при производстве, в том числе, песочного печенья. Одним из таких перспективных источников сырья является мука из белой пищевой кукурузы «Адыгейская», разработанной в ГНУ «Адыгейский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», использование которой в мучных композициях позволит получать песочное печенье функционального назначения (например, безглютеновое, с низким содержанием глютена и др.).

Литература

- 1 Kowalska M., Janas S., Kudelka W. Consumer preferences and physical evaluation of shortbread stored in different packaging // *International Journal of Consumer Studies*. 2020. V. 44. № 5. P. 469-480. doi: 10.1111/ijcs.12579
- 2 Новикова А.В., Резниченко И.Ю. Разработка нового вида продукции – сахарного печенья с повышенной пищевой ценностью // Проблемы идентификации, качества и конкурентоспособности потребительских товаров: сборник статей 6-й Международной конференции в области товароведения и экспертизы товаров. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2018. С. 243–245.
- 3 Магомедов Г.О., Лукина С.И., Исраилова Х.А. Технология мучных кондитерских изделий функционального назначения. Воронеж: ВГУИТ, 2016. 136 с.
- 4 Садыгова М.К., Белова М.В., Дмитриев А.А., Филонова Н.Н. Технологические решения при производстве песочного печенья с обогащающими добавками // *Вестник РГАТУ*. 2018. № 3 (39). С. 113–117.
- 5 Bilgiçli N., Kara M.O., Elgün A., Ertas N.O. et al. Determination of technologic and sensory properties of cookies prepared with corn flour // *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2006. V. 4. № 2. P. 109.
- 6 Prihatin A., Shiguo C., Xingqian Y. Pectin-enriched Material from Mandarin Orange Byproducts as a Potential Fat Replacer in Cookies // *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 2015. V. 5. P. 31–35.
- 7 Radzimska M., Jakubowska D. The conceptualization of novel organic food products: A case study of Polish young consumers // *British Food Journal*. 2019. V. 121. № 8. P. 1884-1898. doi: 10.1108/BFJ-01-2019-0006
- 8 Marcinkowska-Lesiak M., Onopiuk A., Zalewska M., Ciepluch A. et al. The effect of different level of Spirulina powder on the chosen quality parameters of shortbread biscuits // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2018. V. 42. № 3. P. e13561. doi: 10.1111/jfpp.13561
- 9 Siyuan S., Tong L., Liu R. H. Corn phytochemicals and their health benefits // *Food Science and Human Wellness*. 2018. V. 7. № 3. P. 185-195.
- 10 Iwegbue C.M.A., Onyonyewoma U.A., Bassey F.I., Nwajei G.E. et al. Concentrations and health risk of polycyclic aromatic hydrocarbons in some brands of biscuits in the Nigerian market // *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2015. V. 21. № 2. P. 338-357. doi: 10.1080/10807039.2014.916542

- 11 Nikolić N., Mitrović J., Karabegović I., Savić S. et al. A comparison between wheat and different kinds of corn flour based on minerals, free phenolic acid composition and antioxidant activity // *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*. 2019. V. 11. №. 4. P. 341-349.
- 12 Sileoni V., Alfeo V., Bravi E., Belardi I. et al. Upcycling of a by-product of the brewing production chain as an ingredient in the formulation of functional shortbreads // *Journal of Functional Foods*. 2022. V. 98. P. 105292. doi: 10.1016/j.jff.2022.105292
- 13 Bordunova O., Golovko T., Golovko M., Samokhina Y. et al. Low-gluten shortbread enriched with sweet potato powder (*Ipomoea batatas* var. *Portu Orange*): quality and texture indicators // *Technology audit and production reserves*. 2023. V. 3. №. 3 (71). P. 46-51.
- 14 Корниенко А.А., Лютова Е.В. Исследования по совершенствованию рецептуры песочного печенья с добавлением растительного сырья местного произрастания // *Вестник молодежной науки*. 2023. №. 2 (39). P. 2.
- 15 Черемисина Т.Н., Черемисина Н.В. Экономико-статистический анализ развития потребительского рынка товаров региона // *Социально-экономические явления и процессы*. 2015. V. 10. №. 8. P. 144-151.
- 16 Горелова Т.П. Анализ изменения конъюнктуры потребительского рынка России в современных условиях // *Вестник академии*. 2015. №. 4. P. 107-110.
- 17 Симоненкова А.П., Иванова Т.Н. Анализ потребительского рынка молочносодержащих продуктов // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2013. №. 1. С. 80-86.
- 18 Смирнова И.А., Рамазанов Д.И. Анализ конкурентной среды потребительского рынка Ивановской области // *Экономика регионов России: современное состояние и прогнозные перспективы*. 2019. С. 302-309.
- 19 Мельникова А.А., Резниченко И.Ю. Анализ ассортимента и критериев потребительского выбора мучных кондитерских изделий // *Вестник ОрелГИЭТ*. 2020. №. 2. С. 104-108.
- 20 Резниченко И.Ю., Чистяков А.М., Щеглов М.С. Анализ конкурентных преимуществ функциональных мучных кондитерских изделий // *Ползуновский вестник*. 2021. №. 3. С. 147-154.

References

- 1 Kowalska M., Janas S., Kudelka W. Consumer preferences and physical evaluation of shortbread stored in different packaging. *International Journal of Consumer Studies*. 2020. vol. 44. no. 5. pp. 469-480. doi: 10.1111/ijcs.12579
- 2 Novikova A.V., Reznichenko I.Yu. Development of a new type of product - sugar cookies with increased nutritional value. Problems of identification, quality and competitiveness of consumer goods: collection of articles of the 6th International Conference in the field of merchandising and examination of goods. Kursk, Southwestern State University, 2018, pp. 243-245. (in Russian).
- 3 Magomedov G.O., Lukina S.I., Israilova Kh.A. Technology of flour confectionery products for functional purposes. Voronezh, VSUET, 2016. 136 p. (in Russian).
- 4 Sadigova M.K., Belova M.V., Dmitriev A.A., Filonova N.N. Technological solutions for the production of shortbread cookies with enriching additives. *Bulletin of RSATU*. 2018. no. 3 (39). pp. 113-117. (in Russian).
- 5 Bilgiçli N., Kara M.O., Elgün A., Ertas N.O. et al. Determination of technologic and sensory properties of cookies prepared with corn flour. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2006. vol. 4. no. 2. pp. 109.
- 6 Prihatin A., Shiguo C., Xingqian Y. Pectin-enriched Material from Mandarin Orange Byproducts as a Potential Fat Replacer in Cookies. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 2015. vol. 5. pp. 31-35.
- 7 Radzimska M., Jakubowska D. The conceptualization of novel organic food products: A case study of Polish young consumers. *British Food Journal*. 2019. vol. 121. no. 8. pp. 1884-1898. doi: 10.1108/BFJ-01-2019-0006
- 8 Marcinkowska-Lesiak M., Onopiuk A., Zalewska M., Ciepluch A. et al. The effect of different level of Spirulina powder on the chosen quality parameters of shortbread biscuits. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2018. vol. 42. no. 3. pp. e13561. doi: 10.1111/jfpp.13561
- 9 Siyuan S., Tong L., Liu R. H. Corn phytochemicals and their health benefits. *Food Science and Human Wellness*. 2018. vol. 7. no. 3. pp. 185-195.
- 10 Iwegbue C.M.A., Onyonyewoma U.A., Bassey F.I., Nwajei G.E. et al. Concentrations and health risk of polycyclic aromatic hydrocarbons in some brands of biscuits in the Nigerian market. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2015. vol. 21. no. 2. pp. 338-357. doi: 10.1080/10807039.2014.916542
- 11 Nikolić N., Mitrović J., Karabegović I., Savić S. et al. A comparison between wheat and different kinds of corn flour based on minerals, free phenolic acid composition and antioxidant activity. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*. 2019. vol. 11. no. 4. pp. 341-349.
- 12 Sileoni V., Alfeo V., Bravi E., Belardi I. et al. Upcycling of a by-product of the brewing production chain as an ingredient in the formulation of functional shortbreads. *Journal of Functional Foods*. 2022. vol. 98. pp. 105292. doi: 10.1016/j.jff.2022.105292
- 13 Bordunova O., Golovko T., Golovko M., Samokhina Y. et al. Low-gluten shortbread enriched with sweet potato powder (*Ipomoea batatas* var. *Portu Orange*): quality and texture indicators. *Technology audit and production reserves*. 2023. vol. 3. no. 3 (71). pp. 46-51.
- 14 Kornienko A.A., Lyutova E.V. Research on improving the recipe for shortbread cookies with the addition of local plant materials. *Bulletin of Youth Science*. 2023. no. 2 (39). pp. 2. (in Russian).
- 15 Cheremisina T.N., Cheremisina N.V. Economic and statistical analysis of the development of the consumer market of goods in the region. Socio-economic phenomena and processes. 2015. vol. 10. no. 8. pp. 144-151. (in Russian).
- 16 Gorelova T.P. Analysis of changes in the Russian consumer market in modern conditions. *Bulletin of the Academy*. 2015. no. 4. pp. 107-110. (in Russian).
- 17 Simonenkova A.P., Ivanova T.N. Analysis of the consumer market for milk-containing products. *Technology and commodity science of innovative food products*. 2013. no. 1. pp. 80-86. (in Russian).

18 Smirnova I.A., Ramazanov D.I. Analysis of the competitive environment of the consumer market of the Ivanovo region. *Economics of Russian regions: current state and forecast prospects*. 2019. pp. 302-309. (in Russian).

19 Melnikova A.A., Reznichenko I.Yu. Analysis of the assortment and criteria for consumer choice of flour confectionery products. *Bulletin of OrelGIET*. 2020. no. 2. pp. 104-108. (in Russian).

20 Reznichenko I.Yu., Chistyakov A.M., Shcheglov M.S. Analysis of competitive advantages of functional flour confectionery products. *Polzunovsky Bulletin*. 2021. no. 3. pp. 147-154. (in Russian).

Сведения об авторах

Сусанна Т. Беретарь старший преподаватель, кафедра технологии пищевых продуктов и организации питания, Майкопский государственный технологический университет, ул. Первомайская 191, г. Майкоп, 385000, Россия, beretarst@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0008-9027-2830>

Зурет Н. Хатко д.т.н., зав. кафедрой, кафедра технологии пищевых продуктов и организации питания, Майкопский государственный технологический университет, ул. Первомайская 191, г. Майкоп, 385000, Россия, znkhatko@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7097-1345>

Зарета Т. Тазова к.т.н., зав. кафедрой, кафедра стандартизации, метрологии и экспертизы товаров, Майкопский государственный технологический университет, ул. Первомайская 191, г. Майкоп, 385000, Россия, zareta.tazova@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4200-3229>

Асет И. Блягоз к.т.н., доцент, зав. кафедрой, кафедра технологии пищевых продуктов и организации питания, Майкопский государственный технологический университет, ул. Первомайская 191, г. Майкоп, 385000, Россия, aset.blyagoz@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2037-0514>

Татьяна Б. Колотий к.т.н., доцент, кафедра технологии пищевых продуктов и организации питания, Майкопский государственный технологический университет, ул. Первомайская 191, г. Майкоп, 385000, Россия, tatuana.kolotij@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1665-5744>

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

Susanna T. Beretar senior lecturer, food technology and nutrition organization department, Maykop State Technological University, st. Pervomayskaya 191, Maikop, 385000, Russia, beretarst@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0008-9027-2830>

Zuret N. Khatko Dr. Sci. (Engin.), head of department, food technology and nutrition organization department, Maykop State Technological University, st. Pervomayskaya 191, Maikop, 385000, Russia, znkhatko@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7097-1345>

Zareta T. Tazova Cand. Sci. (Engin.), head of department, standardization, metrology and examination of goods department, Maykop State Technological University, st. Pervomayskaya 191, Maikop, 385000, Russia, zareta.tazova@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4200-3229>

Aset I. Blagoz Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food technology and nutrition organization department, Maykop State Technological University, st. Pervomayskaya 191, Maikop, 385000, Russia, aset.blyagoz@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2037-0514>

Tatyana B. Kolotiy Cand. Sci. (Engin.), associate professor food technology and nutrition organization department, Maykop State Technological University, st. Pervomayskaya 191, Maikop, 385000, Russia, tatuana.kolotij@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1665-5744>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 12/07/2023	После редакции 31/07/2023	Принята в печать 22/08/2023
Received 12/07/2023	Accepted in revised 31/07/2023	Accepted 22/08/2023

Исследование показателей качества сметанных продуктов, обогащенных экстрактами чайных напитков

Ольга И. Долматова¹ olgadolmatova@rambler.ru  0000-0002-4450-8856
Татьяна Ю. Глебовская¹ tataglebovskaya181@gmail.com

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

Аннотация. Снижение доходов населения на фоне роста цен на продукты питания привело к уменьшению их спроса. Среди кисломолочных продуктов наименьшее отклонение покупательского спроса можно отметить у сметаны. Понизить стоимость этой линейки продукта можно за счет выпуска сметанных продуктов. Применение растительных рецептурных компонентов в сметанных продуктах позволяет расширить их ассортимент, скорректировать свойства, придать функциональную направленность. Чайные экстракты используют в качестве натуральных красителей и ароматизаторов, структурообразующих добавок. Биологически активные вещества чайного сырья и продуктов его переработки проявляют различные виды физиологической активности: антиоксидантное, противовоспалительное, антисептическое, спазмолитическое, сосудосуживающее действие и др. Для придания сметанным продуктам приятной окраски и улучшенных вкусовых свойств, представляет интерес использование экстрактов зеленого чая и чайного напитка каркаде. Проведены исследования полученных сметанных продуктов. Массовую долю вносимых экстрактов определяли путем оценки суммарного коэффициента значимости по следующим показателям: гармоничность вкуса; консистенция; цвет. Установлена оптимальная дозировка экстрактов зеленого чая и чайного напитка каркаде – 10 %. В состав сметанных продуктов дополнительно вносили вкусовые компоненты (смесь корицы и сахара), стабилизатор. Продукты хранили при температуре 4±2 °С, изучали органолептические, физико-химические и микробиологические показатели последних. Проведены исследования вязкости в контрольном и исследуемых образцах. Установлено, что образцы сметанных продуктов имеют высокий показатель вязкости, хорошо восстанавливают структуру после перемешивания. Сметанные продукты с экстрактами чайных напитков можно потреблять в пищу как самостоятельный продукт, а также как рецептурный ингредиент для выпечных изделий.

Ключевые слова: сметанный продукт, чайные напитки, показатели качества, экстракты, зеленый чай, каркаде.

Study of quality indicators of sour cream products enriched with extracts of tea drinks

Olga I. Dolmatova¹ olgadolmatova@rambler.ru  0000-0002-4450-8856
Tatiana Yu. Glebovskaya¹ tataglebovskaya181@gmail.com

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

Abstract. The decline in household income against the backdrop of rising food prices has led to a decrease in their demand. Among fermented milk products, the smallest deviation in purchasing demand can be noted for sour cream. It is possible to reduce the cost of this product line by producing sour cream products. The use of herbal prescription components in sour cream products allows you to expand their range, adjust properties, and give a functional focus. Tea extracts are used as natural dyes and flavors, structure-forming additives. Biologically active substances of tea raw materials and products of its processing exhibit various types of physiological activity: antioxidant, anti-inflammatory, antiseptic, antispasmodic, vasoconstrictive action, etc. To give sour cream products a pleasant color and improved taste properties, it is of interest to use extracts of green tea and hibiscus tea drink. Studies of the obtained sour cream products have been carried out. The mass fraction of the introduced extracts was determined by evaluating the total significance coefficient for the following indicators: harmony of taste; consistency; color. The optimal dosage of green tea extracts and hibiscus tea drink is 10%. Flavor components (a mixture of cinnamon and sugar), a stabilizer were additionally added to the composition of sour cream products. The products were stored at a temperature of 4±2 °C, the organoleptic, physicochemical and microbiological parameters of the latter were studied. Viscosity studies were carried out in the control and test samples. It has been established that the samples of sour cream products have a high viscosity index, well restore the structure after mixing. Sour cream products with extracts of tea drinks can be consumed as an independent product, as well as a prescription ingredient for baked goods.

Keywords: sour cream product, tea drinks, quality indicators, extracts, green tea, hibiscus.

Введение

Снижение доходов населения на фоне роста цен на продукты питания привело к уменьшению их спроса. По данным «Союзмолоко»

положительная динамика продаж молочной продукции за 1-е полугодие 2022 г. отмечена только у молока пастеризованного (таблица 1) [1].

Для цитирования

Долматова О.И., Глебовская Т.Ю. Исследование показателей качества сметанных продуктов, обогащенных экстрактами чайных напитков // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 125–130. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-125-130

For citation

Dolmatova O.I., Glebovskaya T.Yu. Study of quality indicators of sour cream products enriched with ex-tracts of tea drinks. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 125–130. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-125-130

Таблица 1.

Динамика продаж молочной продукции
за 1-е полугодие 2022 г. в России

Table 1.

Dynamics of sales of dairy products
for the 1st half of 2022 in Russia

Продукт Product	Денежное выражение, % Monetary expression, %	Натуральное выражение, % Monetary expression, %
Йогурты питьевые drinking yoghurts	5,5	-11,1
Йогурты ложковые Spoon yogurts	1,4	-16,7
Сырки глазированные Curds glazed	14,4	-10,6
Густые творожные десерты Thick cottage cheese desserts	0,6	-17,2
Гранулированный творог Granulated cottage cheese	-1,5	-10,7
Молоко пастеризованное Pasteurized milk	21,2	0,8
Масло сливочное и маргарин Butter and margarine	20,4	-2,3
Сметана Sour cream	18,0	-1,9
Упакованный творог packaged cottage cheese	10,3	-5,0
Кефир Kefir	12,2	-3,7

Среди кисломолочных продуктов наименьшее отклонение покупательского спроса можно отметить у сметаны. Понизить стоимость этой линейки можно за счет выпуска сметанных продуктов. Применение растительных рецептурных компонентов при производстве последних позволяет расширить их ассортимент, скорректировать свойства, придать функциональную направленность [2, 3].

Известны способы получения экстрактов различных видов чая и производства кисломолочных продуктов на их основе [4–9].

Чайные экстракты используют в качестве натуральных красителей и ароматизаторов, структурообразующих добавок. Биологически активные вещества чайного сырья и продуктов его переработки проявляют различные виды физиологической активности: антиоксидантное, противовоспалительное, антисептическое, спазмолитическое, сосудосуживающее действие и др.

Естественная защитная система человека нуждается в постоянном поступлении в организм антиоксидантных веществ. В связи с этим актуальны исследования, направленные на разработку продуктов, состав которых обогащен антиоксидантами. Исследованиями ученых установлена значительная массовая доля антиоксидантов в чаеподобных напитках и различных сортах чая (рисунок 1) [10].

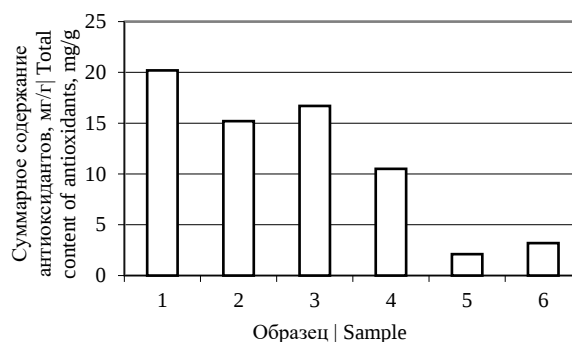


Рисунок 1. Суммарное содержание антиоксидантов в чаеподобных напитках и различных сортах чая: 1 – зеленый чай; 2 – черный чай; 3 – мате; 4 – иван-чай; 5 – ройбуш; 6 – каркаде

Figure 1. The total content of antioxidants in tea-like drinks and different types of tea: 1 – green tea; 2 – black tea; 3 – mate; 4 – Ivan tea; 5 – rooibos; 6 – hibiscus

Для придания сметанным продуктам приятной окраски и улучшенных вкусовых свойств, представляет интерес использование экстрактов зеленого чая и чайного напитка каркаде.

Исследованиями ученых по экстрагированию различных видов чая установлен их богатый состав и оптимальные условия получения. Зеленый чай экстрагируют массой навески 1,5 г на 100 мл питьевой воды при температуре 70 °C и времени экстракции 30 мин. Антиоксидантная активность экстракта зеленого чая составляет ~0,20 мг/мл [7].

Каркаде рекомендовано экстрагировать при температуре 80 °C в течении 30 мин при соотношении сырьевого состава и воды 1:10. Полученный экстракт имеет темно-бордовый цвет, выраженную терпкость и умеренную кислотность, массовую долю сухих веществ, % – 5,3; пектиновых веществ, % – 0,11; антоцианов, мг/100 г. – 960, богатый минеральный состав (рисунок 2) [9, 11].

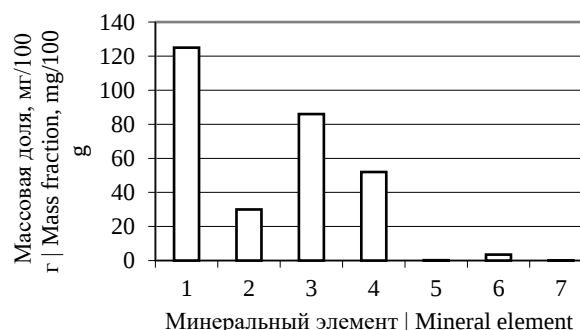


Рисунок 2. Минеральный состав экстракта чайного напитка каркаде: 1 – калий; 2 – натрий; 3 – кальций; 4 – магний; 5 – железо; 6 – марганец; 7 – цинк

Figure 2. Mineral composition of hibiscus tea extract: 1 – potassium; 2 – sodium; 3 – calcium; 4 – magnesium; 5 – iron; 6 – manganese; 7 – zinc

Материалы и методы

Объекты исследования: сметана, сметанный продукт. Оценку качества готового продукта проводили в соответствии с требованиями ТР ТС 033/2013, ГОСТ 31452.

Результаты и обсуждение

На кафедре Технологии продуктов животного происхождения ФГБОУ ВО «ВГУИТ» проведены исследования сметанных продуктов с экстрактами зеленого чая и каркаде. Массовую долю вносимых экстрактов определяли путем оценки суммарного коэффициента значимости по следующим показателям сметанного продукта: гармоничность вкуса; консистенция; цвет. Установлена оптимальная дозировка экстрактов зеленого чая и чайного напитка каркаде – 10 %.

В состав сметанных продуктов дополнительно вносили вкусовые компоненты (смесь корицы и сахара), стабилизатор. Проведены выработки сметаны (контрольный образец) – образец № 1 и сметанных продуктов: с экстрактом зеленого чая – образец № 2; с экстрактом чайного напитка каркаде – образец № 3 (рисунок 3).

Свежеприготовленные образцы сметаны и сметанных продуктов имели следующие показатели качества (таблица 2).

Продукты хранили при температуре 4 ± 2 °С, изучали органолептические, физико-химические и микробиологические показатели последних. Изменение показателя титруемой кислотности для всех исследуемых образцов представлено на рисунке 4.

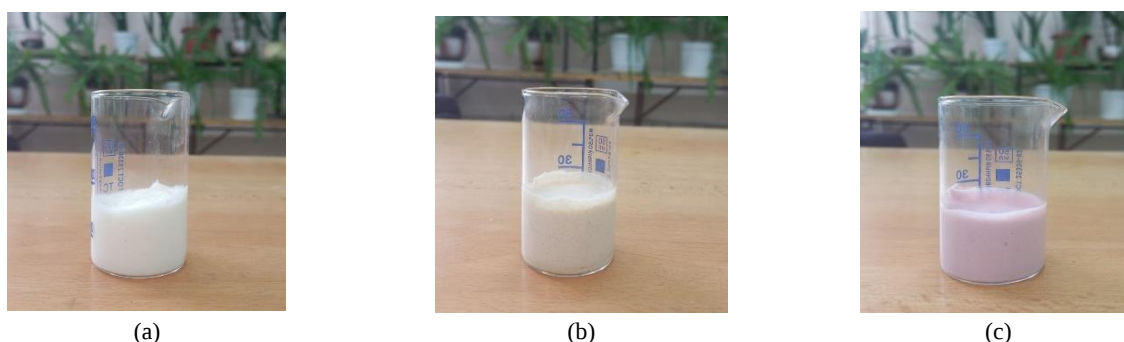


Рисунок 3. Фото сметаны и сметанных продуктов: (а) сметана; (б) сметанный продукт с экстрактом зеленого чая; (с) сметанный продукт с экстрактом чайного напитка каркаде

Figure 3. Photo of sour cream and sour cream products: (a) sour cream; (b) sour cream product with green tea extract; (c) sour cream product with carcade tea extract

Таблица 2.

Показатели качества сметаны и сметанных продуктов

Table 2.

Quality indicators of sour cream and sour cream products

Показатель Indicator	сметана sour cream	сметанный продукт с экстрактом зеленого чая sour cream product with green tea extract	сметанный продукт с экстрактом чайного напитка каркаде sour cream product with hibiscus tea extract
Внешний вид и консистенция Appearance and texture	Однородная густая масса с глянцевой поверхностью Homogeneous dense mass with a glossy surface	Однородная густая масса с глянцевой поверхностью Homogeneous dense mass with a glossy surface	Однородная густая масса с глянцевой поверхностью Homogeneous dense mass with a glossy surface
Вкус и запах Taste and smell	Чистый, кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов Clean, fermented milk, without foreign tastes and odors	Кисломолочный, сладкий с привкусом зеленого чая и корицы Sour-milk, sweet with a hint of green tea and cinnamon	Кисломолочный, сладкий с привкусом каркаде и корицы Sour-milk, sweet with a touch of hibiscus and cinnamon
Цвет Color	Белый с кремовым оттенком Creamy white	Бежевый Beige	Розовый Pink
Массовая доля жира, % Mass fraction of fat, %	20	20	20
Массовая доля белка, % Mass fraction of protein, %	2,5	2,5	2,5
Кислотность, °Т Acidity, °Т	62	60	65
КМАФАнМ, КОЕ/(см ³) г QMAFAnM, CFU/(cm ³) g	1×10^7	1×10^7	1×10^7

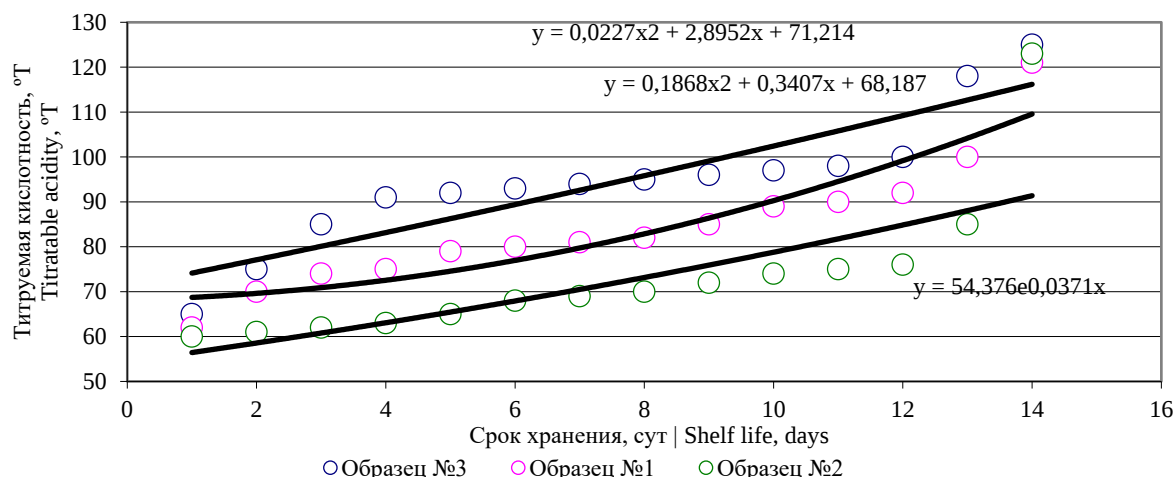


Рисунок 4. Изменение титруемой кислотности сметаны и сметанных продуктов при хранении

Figure 4. Change in titratable acidity of sour cream and sour cream products during storage

В свежеработанных образцах продуктов показатель титруемой кислотности составил от 60 до 65 °T. При хранении титруемая кислотность нарастала выше в сметанном продукте с экстрактом чайного напитка каркаде и на 12 сутки хранения достигла предельного показателя 100 °T. Наименьшие показатели кислотности отмечены в сметанном продукте с экстрактом

зеленого чая, в котором предел титруемой кислотности отмечен на 14 сутки хранения.

Проведены исследования вязкости в контрольном и исследуемых образцах (рисунок 5). Установлено, что образцы сметанных продуктов имеют высокий показатель вязкости, хорошо восстанавливают структуру после перемешивания.

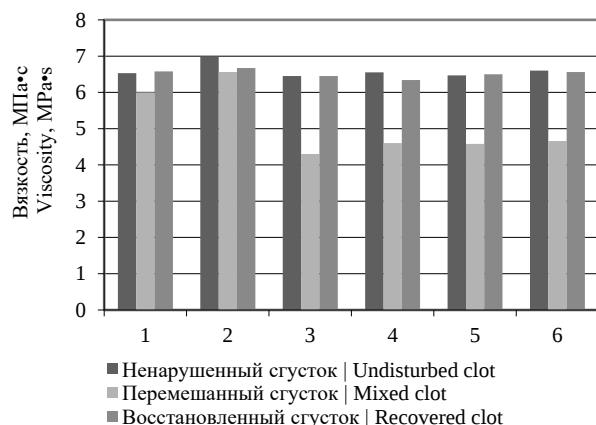


Рисунок 3. Изменение вязкости в сметане и сметанных продуктах при хранении: 1 – сметана свежеприготовленная; 2 – сметана в конце срока годности; 3 – сметанный продукт с экстрактом зеленого чая свежеприготовленный; 4 – сметанный продукт с экстрактом зеленого чая в конце срока годности; 5 – сметанный продукт с экстрактом чайного напитка каркаде свежеприготовленный; 6 – сметанный продукт с экстрактом чайного напитка каркаде в конце срока годности

Figure 3. Viscosity change in sour cream and sour cream products during storage: 1 – freshly prepared sour cream; 2 – sour cream at the end of the expiration date; 3 – freshly prepared sour cream product with green tea extract; 4 – sour cream product with green tea extract at the end of the expiration date; 5 – freshly prepared sour cream product with hibiscus tea extract; 6 – sour cream product with hibiscus tea extract at the end of the expiration date

Результаты влагоудерживающей способности представлены в таблице 3. Учитывая, что отстой сыворотки в сметане не должен превышать 3 %, все исследуемые продукты удовлетворяют этому показателю. Вносимый в состав сметанных продуктов стабилизатор способствует улучшению реологических показателей последних.

Таблица 3.

Влагоудерживающая способность сметаны и сметанных продуктов

Table 3.

Water holding capacity of sour cream and sour cream products

Образец Sample	Количество выделившейся сыворотки, мл The amount of released serum, ml
1	0,1
2	0,2
3	0,3

Заключение

Полученные сметанные продукты с экстрактами чайных напитков обладают высокими показателями качества, улучшенными реологическими свойствами, рекомендованы к потреблению в пищу как самостоятельный продукт или рецептурный ингредиент для выпечных изделий.

Литература

- 1 Молочная промышленность в России переходит на выпуск дешевых продуктов // Dairy news. URL: https://dairynews.today/news/molochnaya-promyshlennost-v-rossii-perekhodit-na-v.html? sphrase_id=18209594
- 2 Передерий И.И., Долматова О.И. Организация процесса производства сметаны и сметанного продукта с использованием модернизированного оборудования // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 3. С. 82–88. doi:10.20914/2310–1202–2022–3–82–88.
- 3 Долматова О.И., Машкова М.И. Сметанный продукт функциональной направленности // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 2. С. 175–179. doi:10.20914/2310–1202–2021–2–175–179.
- 4 Евстигнеева Т.Н., Яковлева Р.В. Подбор вкусовых наполнителей в состав сметанного продукта с экстрактом зеленого чая // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2015. № 3. С. 99–106.
- 5 Поносова К.А., Ренева Ю.А. Технология производства сметанного продукта с экстрактом зеленого чая // Современное состояние зоотехнической науки и перспективы развития агропромышленного комплекса. 2017. С. 54–56.
- 6 Яковлева Р.В. Подбор вкусовых наполнителей в состав сметанного соуса с экстрактом зеленого чая // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. 2015. С. 255–258.
- 7 Щекочицина А.С., Донская Г.А. Разработка диетического кисломолочного продукта с экстрактом зеленого чая // Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста. 2018. С. 205–209.
- 8 Самигуллина Г.Р., Габдукаева Л.З. Перспективы использования каркаде в технологии кефирного напитка // Пищевые инновации и биотехнологии. 2016. С. 340–341.
- 9 Щекалева Р.К., Черевач Е.И., Палагина М.В., Тарашкевич Е.Ю. Оптимизация технологических режимов экстрагирования чайного сырья, используемого в технологии эмульсионных напитков // Индустрия питания. 2020. Т.5. № 2. С. 79–87.
- 10 Яшин Я.И., Черноусова Н.И., Яшин А.Я. Чаеподобные напитки: химический состав, антиоксидантная активность и их влияние на здоровье человека // Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т. 21. № 5. С. 782–788.
- 11 Табаторович А.Н., Резниченко И.Ю. Разработка и оценка качества диетического желеино-мармелада «Каркаде», обогащенного янтарной кислотой // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49. № 2. С. 320–329.
- 12 Chernjupolskaya N., Gavrilova N., Rebezov M., Dolmatova I. et al. Biotechnology of specialized product for sports nutrition // International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. V. 8. № 4. P. 40–45.
- 13 Gavrilova N., Chernjupolskaya N., Rebezov M., Moisejkina D. Advanced biotechnology of specialized fermented milk product // International Journal of Recent Technology and Engineering. 2019. V. 8. № 2. P. 2718–2722.
- 14 Гаврилина А.Д., Шелагинова И.Р., Зобкова З.С. Кисломолочные продукты как составляющая функционального питания // Молочная промышленность. 2019. № 2. С. 44.
- 15 Ивкова И.А., Четвергова И.Г., Николаева Е.А., Толстогузова Т.Т. Разработка жировой основы эмульсионных продуктов питания функционального назначения // Переработка молока. 2020. № 4 (246). С. 34–37.
- 16 Danylenko S.G., Bodnarchuk O.V., Ryzhkova T.M., Diukareva G.I. et al. The effects of thickeners upon the viscous properties of sour cream with a low fat content // Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. 2020. V. 19. № 3. P. 359–368.
- 17 Danylenko S.G. et al. The effects of thickeners upon the viscous properties of sour cream with a low fat content // Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. 2020. V. 19. № 3. P. 359–368.
- 18 Афонькина С.Р., Зеленковская Е.Е., Аллаярлова Г.Р., Мусабиров Д.Э. Анализ показателей качества и безопасности кисломолочного продукта: сметана // Новые концептуальные подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности в современных условиях: сборник научных статей VII Международной научно-практической конференции. Курск. 2020. С. 43–46.
- 19 Izso T., Kasza G.Y., Somogyi L. Differences between fat-related characteristics of sour cream and sour cream analogues // Acta Alimentaria. 2020. V. 49. № 4. P. 390–397.
- 20 Визгалина К.А. Определение качества сметаны. Сравнительный анализ // Интеллектуальный потенциал общества как драйвер инновационного развития науки. 2019. С. 5–7.

References

- 1 The dairy industry in Russia is switching to the production of cheap products. Dairy news. Available at: https://dairynews.today/news/molochnaya-promyshlennost-v-rossii-perekhodit-na-v.html? sphrase_id=18209594 (in Russian).
- 2 Perederiy I.I., Dolmatova O.I. Organization of the production process of sour cream and sour cream product using modernized equipment. Proceedings of VSUET. 2022. vol. 84. no. 3. pp. 82–88. doi:10.20914/2310–1202–2022–3–82–88. (in Russian).
- 3 Dolmatova O.I., Mashkova M.I. Functional sour cream product. Proceedings of VSUET. 2021. vol. 83. no. 2. pp. 175–179. doi:10.20914/2310–1202–2021–2–175–179. (in Russian).
- 4 Evstigneeva T.N., Yakovleva R.V. Selection of flavoring fillers for a sour cream product with green tea extract. Scientific journal of NRU ITMO. Series “Processes and apparatus of food production”. 2015. no. 3. pp. 99–106. (in Russian).
- 5 Ponomova K.A., Renna Yu.A. Technology for the production of sour cream product with green tea extract. Current state of zootechnical science and prospects for the development of the agro-industrial complex. 2017. pp. 54–56. (in Russian).
- 6 Yakovleva R.V. Selection of flavoring fillers for sour cream sauce with green tea extract. Almanac of scientific works of young scientists of ITMO University. 2015. pp. 255–258. (in Russian).
- 7 Shchekochikhina A.S., Donskaya G.A. Development of a dietary fermented milk product with green tea extract. Advanced food technologies: status, trends, growth points. 2018. pp. 205–209. (in Russian).
- 8 Samigullina G.R., Gabdukaeva L.Z. Prospects for using hibiscus in kefir drink technology. Food Innovations and Biotechnologies. 2016. pp. 340–341. (in Russian).
- 9 Shchekaleva R.K., Cherevach E.I., Palagina M.V., Tarashkevich E.Yu. Optimization of technological regimes for extracting tea raw materials used in the technology of emulsion drinks. Food Industry. 2020. vol.5. no. 2. pp. 79–87. (in Russian).

- 10 Yashin Ya.I., Chernousova N.I., Yashin A.Ya. Tea-like drinks: chemical composition, antioxidant activity and their impact on human health. Sorption and chromatographic processes. 2021. vol. 21. no. 5. pp. 782–788. (in Russian).
- 11 Tabatorovich A.N., Reznichenko I.Yu. Development and quality assessment of diabetic jelly marmalade “Karkade” enriched with succinic acid. Equipment and technology of food production. 2019. vol. 49. no. 2. pp. 320–329. (in Russian).
- 12 Chernjanskaya N., Gavrilova N., Rebezov M., Dolmatova I. et al. Biotechnology of specialized product for sports nutrition. International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. vol. 8. no. 4. pp. 40–45.
- 13 Gavrilova N., Chernjanskaya N., Rebezov M., Moisejkina D. Advanced biotechnology of specialized fermented milk product. International Journal of Recent Technology and Engineering. 2019. vol. 8. no. 2. pp. 2718–2722.
- 14 Gavrilina A.D., Shelaginova I.R., Zobkova Z.S. Fermented milk products as a component of functional nutrition. Dairy industry. 2019. no. 2. pp. 44. (in Russian).
- 15 Ivkova I.A., Chetvergova I.G., Nikolaeva E.A., Tolstoguzova T.T. Development of a fat base for emulsion food products for functional purposes. Milk processing. 2020. no. 4 (246). pp. 34–37. (in Russian).
- 16 Danylenko S.G., Bodnarchuk O.V., Ryzhkova T.M., Diukareva G.I. et al. The effects of thickeners upon the viscous properties of sour cream with a low fat content. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. 2020. vol. 19. no. 3. pp. 359–368.
- 17 Danylenko S.G. et al. The effects of thickeners upon the viscous properties of sour cream with a low fat content. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. 2020. vol. 19. no. 3. pp. 359–368.
- 18 Afonkina S.R., Zelenkovskaya E.E., Allayarova G.R., Musabirov D.E. Analysis of quality and safety indicators of fermented milk product: sour cream. New conceptual approaches to solving the global problem of ensuring food security in modern conditions: collection of scientific articles of the VII International Scientific and Practical Conference. Kursk 2020. pp. 43–46. (in Russian).
- 19 Izsó T., Kasza G.Y., Somogyi L. Differences between fat-related characteristics of sour cream and sour cream analogues. Acta Alimentaria. 2020. vol. 49. no. 4. pp. 390–397.
- 20 Vizgalina K.A. Determining the quality of sour cream. Comparative analysis. Intellectual potential of society as a driver of innovative development of science. 2019. pp. 5–7. (in Russian).

Сведения об авторах

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

Татьяна Ю. Глебовская студент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tataglebovskaia181@gmail.com

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

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

Tatiana Yu. Glebovskaia student, animal origin products technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, tataglebovskaia181@gmail.com
 <https://orcid.org/>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 12/07/2023	После редакции 04/08/2023	Принята в печать 31/08/2023
Received 12/07/2023	Accepted in revised 04/08/2023	Accepted 31/08/2023

Заболелания пищевого происхождения, вызванные тканевыми паразитическими простейшими

Джозеф О. Рутаганира¹ rutaganirajoseph@yahoo.com  0000-0001-5939-8365
Игорь Г. Гламаздин¹ glamazdin@ya.ru  0000-0001-7119-906x

¹ Российский биотехнологический университет, Талалихина, 33, Москва, 109029, Россия

Аннотация. Зоонозные инфекции, вызываемые видами *Sarcocystis*, известные как саркоцистоз кишечника, являются примером заболеваний пищевого происхождения, возникающих при употреблении зараженного мяса. В качестве единственного возбудителя саркоцистоза кишечника человека были зарегистрированы зоонозные паразиты *Sarcocystis*, в частности, обитающие в мясе крупного рогатого скота и свиней. Симптомами этой инфекции являются тошнота, диарея, рвота и боли в животе. Говоря о зоонозных паразитах, нельзя не упомянуть о жизненном цикле паразита, о животных, выступающих в роли естественных промежуточных хозяев, и о человеке, который является естественным окончательным хозяином паразита. Чтобы обезопасить потребителей мяса крупного рогатого скота и свиней, правительство Руанды, действуя через Управление по инспекции, конкуренции и защите прав потребителей (RICA), запретило продажу мяса, которое перед продажей не охлаждалось в течение не менее 24 часов и не достигло температуры от 2 до 4°C, чтобы предотвратить передачу зоонозных и трансмиссивных заболеваний. По данным различных литературных источников, жизнеспособность саркоцист зоонозных животных сохраняется в этом диапазоне температур в течение 24 часов. Учитывая, что распространенность кокцидиоза свиней в Руанде составила 55,8%, к кокцидиям могут относиться не только виды *Sarcocystis*. Установленное правило, возможно, не способствует профилактике заражения зооножным паразитом *Sarcocystis*, но является профилактическим решением для многих других зоонозных паразитов и патогенов. Из-за отсутствия отчетов об исследованиях зоонозного саркоцистоза в Руанде, знания об этих паразитах в стране ограничены. Недостаток информации может объяснить, почему меры профилактики и контроля, принимаемые для борьбы с зоонозными патогенными инфекциями, не позволяют адекватно решать проблему зоонозных саркоцист. Несмотря на то, что зараженность паразитом, по имеющимся данным, незначительна, он может вызывать снижение доступности продуктов питания для человека в системе производства продовольствия из-за способности заболевания передаваться от человека крупному рогатому скоту и свинине. Мясо этих животных в Руанде престижно подается в пищу людям.

Ключевые слова: антимикробная активность, пища и паразиты, кишечный саркоцистоз человека, простейшие, зоонозная паразитология, зоонозные виды саркоцистисов.

Foodborne illnesses caused by tissue parasitic protozoa

Joseph O. Rutaganira¹ rutaganirajoseph@yahoo.com  0000-0001-5939-8365
Igor G. Glamazdin¹ glamazdin@ya.ru  0000-0001-7119-906x

¹ Russian Biotechnological University, 33, Moscow, 109029, Russia

Abstract. Zoonotic infections caused by *Sarcocystis* species, known as intestinal sarcocystosis, are an example of foodborne illnesses that occur due to the consumption of contaminated meat. Zoonotic *Sarcocystis* parasites, specifically those hosted in cattle and swine meat, have been reported as the sole causative agents of human intestinal sarcocystosis. The infection's symptoms include nausea, diarrhea, vomiting, and abdominal pain. Talking about zoonotic parasites goes hand in hand with discussing the parasite life cycle, animals that act as natural intermediate hosts, and humans who act as the natural definitive host for the parasite. To safeguard cattle and swine meat consumers, the government of Rwanda, through the Rwanda Inspectorate, Competition, and Consumer Protection Authority (RICA), has banned the sale of meat that has not been refrigerated for at least 24 hours and reached a temperature between 2°C and 4°C before sale in order to prevent the transmission of zoonotic and transmissible diseases. Based on various literature reports, zoonotic sarcocyst viability remains intact in this range of temperatures for a period of 24 hours. Given that the prevalence of swine coccidia in Rwanda was reported to be 55.8%, Coccidia may not only include *Sarcocystis* species. The established rule may not be contributing to the prevention of zoonotic sarcocystis parasite infection but it is a preventive solution for many other zoonotic parasites and pathogens. Due to the lack of research reports on zoonotic sarcocystis in Rwanda, there is limited knowledge about these parasites in the country. This lack of information may explain why the prevention and control measures taken to address zoonotic pathogen infection do not adequately address the issue of zoonotic sarcocysts. Though the parasite infection was reported to be negligible, it may induce reduced human food availability in the food production system due to the ability of the disease to be transmitted from humans to cattle and pork. These later animals' meat is prestigiously served as human food in Rwanda.

Keywords: antimicrobial activity, food and parasites, human intestinal sarcocystosis, protozoa, zoonotic parasitology, zoonotic sarcocystis species.

Introduction

Since their initial description in 1843, over 200 species of *Sarcocystis* have been identified so far. *Sarcocystis* species organisms require two hosts (an intermediate host and a definitive host) to complete their life cycle. Apparently, herbivores

act as natural intermediate hosts, while carnivores and omnivores act as natural definitive hosts. Humans and reptiles are aberrant intermediate hosts for *S. nesbitti*, which is responsible for muscular Sarcocystosis in humans. *S. nesbitti* has its definitive host in reptiles, especially snakes [4, 13].

Для цитирования

Рутаганира Д.О., Гламаздин И.Г. Заболевания пищевого происхождения, вызванные тканевыми паразитическими простейшими // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 131–135. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-131-135

For citation

Rutaganira J.O., Glamazdin I.G. Foodborne illnesses caused by tissue parasitic protozoa. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 131–135. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-131-135

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

Six *Sarcocystis* species, including *S. cruzi*, *S. hominis*, *S. heydorni*, *S. bovis*, *S. hirsuta*, and *S. rommeli*, are specific to cattle and have bovines as their intermediate hosts, with various definitive hosts. All six of them are responsible for the disease known as cattle sarcocystosis [10]. Two (*S. hominis* and *S. heydorni*) [3] of the six have zoonotic potential, and they can infect humans [2, 15, 17, 19]. *S. suis* can also infect humans, but it is primarily associated with pork [4]. Zoonoses are known to cause severe, acute, or chronic infections in humans. These infections may cause enteritis [14] infection acquired by ingesting sarcocysts transmitted by pork meat is more severe than the infection acquired by ingesting sarcocysts from cattle meat [4]. These zoonotic *Sarcocystis* species infect humans when diseased undercooked or raw Cattle or pork meat are consumed by humans. Though many other *Sarcocystis* species may infect humans but only three species (*S. hominis*, *S. heydorni*, and *S. suis*) are known to cause Intestinal Sarcocystosis which may cause enteritis in humans who are natural definitive hosts for these parasites [14]. Diarrhea and abdominal pain were among consistent symptoms of the infection [3]. Sexual stages of the parasites which mate and produce oocyst in human intestine, excrete these oocysts containing sporocysts in human feces. Zoonotic *Sarcocystis* species belong to the genus of *Sarcocystis*, and to the sub-Kingdom of *Protozoa*. Sporocysts of *S. suis* are larger in size compared to those of *S. hominis* and *S. heydorni* [4]. The sporocysts of these three species are morphologically identical; they only differ in size and shape. Ingestion of sporocysts of the above-mentioned three zoonotic sarcocystis species from feces-contaminated feed, water, and the environment is the only route to spreading the disease and keeps the parasites circulating between humans and herbivorous animals (cattle and pork). In Rwanda and Africa in general, bovine meat and pork meat are served as prestigious human foods. Rules and regulations require the condemnation of infected parts of cattle or pig meat. In Rwanda, swine coccidia contribute to intestinal sarcocystosis by about 55.8% [16].

Objective

This article provides a review of the status and prevalence of cattle sarcocystis infection in Africa and Europe and provides important information associated with foodborne illnesses induced by the consumption of contaminated cattle and swine meat. It will also rely on the source to reproduce information on zoonotic infection prevention and control in Rwanda and parasite infection prevention and control measures in general.

Material and methods

References that were used include international English databases such as the National Center for Biotechnology Information (NCBI), Scimedirect.com, Google Scholar, Web of Sciences, Wiley, Elsevier, and FoodSafetyAfrica.net (Source: <https://www.foodsafetyafrica.net/rwanda-moves-to-improve-meat-safety-bans-sale-of-unrefrigerated-meat/>).

Prevention and control

Anti-inflammatory drugs are currently available, which may help alleviate the symptoms of intestinal sarcocystosis. However, there is currently no vaccine or confirmed effective antiparasitic drug available. The most effective method for preventing and controlling intestinal sarcocystosis is to ensure that cattle or pork meat is cooked thoroughly for a minimum of 5 minutes at a temperature of 100°C. This process will effectively eliminate bradyzoites present in sarcocysts [14]. It is also advisable for farmers to ensure that the feed and water provided to cattle and pigs are free from sporocysts. Boiling water above 70°C for at least 1 minute or freezing the feed at -20°C for less than an hour will kill sporocysts [6, 14]. Feed can also be subjected to a pH of 10.0 for 4 days, in addition to being treated with salt for at least one day [6]. However, the parasite survived by being exposed to temperatures between 0 and 4°C and acidic conditions (pH 3.0 and 5.0) for more than 7 days while still retaining the diarrhea toxin [6].

Rwanda has implemented a ban on the sale of meat that has not been refrigerated for at least 24 hours and does not reach a temperature between 2 and 4°C prior to sale. This measure aims to prevent the transmission of zoonotic and transmissible diseases and protect consumer health by reducing the risk of contracting foodborne illnesses from meat. The ban is in accordance with legislation issued in May 2022, which aims to regulate meat enterprises in Rwanda (source: <https://www.foodsafetyafrica.net/rwanda-moves-to-improve-meat-safety-bans-sale-of-unrefrigerated-meat/>). Infective sarcocysts of zoonotic *Sarcocystis* species cause zoonotic *Sarcocystis* infection in humans, known as human intestinal sarcocystosis. These species include *Sarcocystis hominis* and *Sarcocystis heydorni*, which naturally infect cattle muscle tissues, and *Sarcocystis suis*, which naturally infects swine muscle tissues. According to a report by Honda and colleagues, these parasites lose their viability when frozen at -20°C for less than an hour.



Figure 1. Rwandan cattle grazing in the pasture



Figure 2. Cattle meat before subjecting to 2–4°C

Results and discussion

Zoonotic *Sarcocystis* species infection in human is caused by infective sarcocysts of zoonotic *sarcocystis* species ingested when undercooked infected bovine and swine meat muscle tissues are consumed. The parasite do not involve multiplication, from each bradyzoite within a sarcocyst, a male or a female stage are required for the development of the parasite in the human intestine [4]. Zoonotic *Sarcocystis* species have been reported to be food poisoning agent inducing gastro-intestinal Symptoms within 24 hours including nausea, vomiting, abdominal pain, and diarrhea [6]. Though *Sarcocystis* spp infection in human effect on public health was reported negligible, but it is more severe on vulnerable persons. The symptom severity depends on the amount of *sarcocystis* species ingested [14]. Zoonotic *Sarcocystis* species circulate between intermediate hosts and definitive hosts. Asexual reproduction of the parasite occurs in intermediate hosts whereas sexual reproduction occurs in definitive host. *Sarcocystis hominis* and *S.heydorni* are known to circulate between Cattle and humans to complete their life-cycle whereas *S.suihominis* is known to circulate between swine and Humans.

Table 1.
Zoonotic *sarcocystis* species and their hosts

Species	Intermediate host	Definitive host
<i>S.hominis</i>	Cattle	Human
<i>S.heydorni</i>	Cattle	Human
<i>S.suihominis</i>	Pork	Human

Spreading of Intestinal *Sarcocystosis* is mostly promoted by those who have a habit of consuming raw or undercooked meat and sometimes reside where human feces contaminate pastures. Sporocysts remain viable for many days in the pasture due to the *sarcocystis* parasite adaptation to the harsh environmental conditions. Once intermediate hosts graze and acquire infections, the infection in intermediate host induces abortion, weight loss, even death which can reduce cattle or swine food based in the food production system.

Figure 1 depicts the prevalence of *sarcocystosis* in cattle, as documented by various authors in their published scientific articles. In Egypt, the reported prevalence of *sarcocystosis* in cattle was 98.9% [9]. The reported prevalence of *sarcocystosis* in cattle in Russia was 85% [8]. The reported prevalence of *sarcocystosis* in cattle in Ethiopia was 82% [20]. The reported prevalence of *sarcocystosis* in cattle in Italy was 78.1%. The reported prevalence of *sarcocystosis* in cattle in the Netherlands was 76.9% [5]. The reported prevalence of *sarcocystosis* in cattle in Tunisia was 70.6% [1]. he reported prevalence of *sarcocystosis* in cattle in Germany was 69.6% [12]. The reported prevalence of *sarcocystosis* in cattle in Hungary was 66% [7]. The reported prevalence of *coccidia* in Rwanda was 55.8% [16]. However, there is insufficient data to determine the prevalence of *sarcocystis* infection in cattle in Rwanda. *Coccidia* may not only include *Sarcocystis* species. There have not been many reports on *Sarcocystis* species in Rwanda so far. From the observation, it is evident that intestinal *sarcocystosis* can also affect developed countries. Cases of cattle *sarcocystosis* have been detected in those countries. Thus, the spread of intestinal *sarcocystosis* could have a significant impact on public health. It can weaken the human immune system, cause discomfort, and reduce food production.

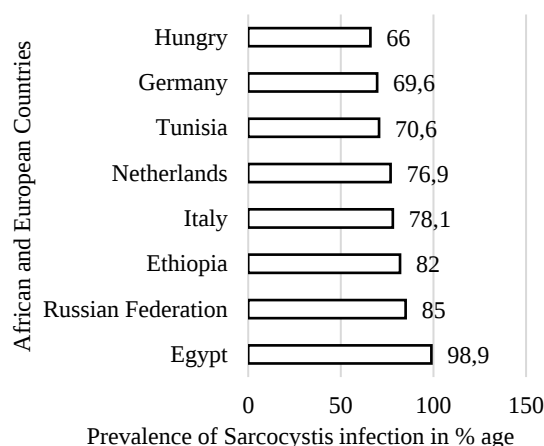


Figure 3. Prevalence of Cattle *Sarcocystis* infection in selected African and European countries

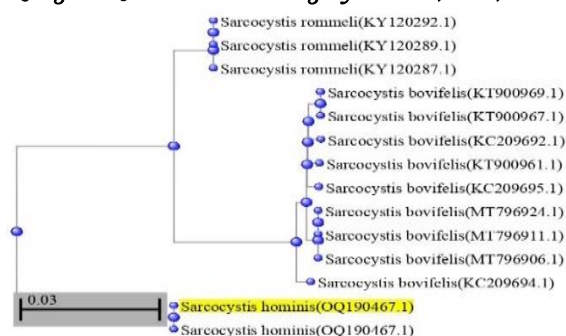


Figure 4. Phylogenetic tree for *Sarcocystis hominis* identification

This tree was constructed based on 13 sequences producing significant alignments.

Conclusion

According to the information reported in the literature, the viability of zoonotic sarcocysts remains intact when subjected to temperatures ranging from 0 to 4°C [6]. The Rwanda Inspectorate, Competition and Consumer Protection Authority (RICA), which is the nation's primary consumer rights watchdog, advises maintaining frozen temperatures between 2 and 4°C. According to the literature, the rule may reduce the risk of zoonotic diseases other than intestinal sarcocystosis. Therefore, more specific research on zoonotic *Sarcocystis* species in cattle and swine is recommended.

The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and the World Health Organization (WHO) would not overlook human intestinal sarcocystosis, as its impact is severe on vulnerable individuals. Therefore, more studies are needed to gain insight into the parasite and develop more sophisticated systems to prevent and control the spread of the infection. Though foodborne illness from meat prevention and control are taken seriously in African countries, zoonotic sarcocystis infection is neglected, and there is limited research and reporting on this parasite in these countries. Therefore, more specific research on zoonotic sarcocysts is recommended.

Molecular methods are essential for detecting and diagnosing zoonotic *Sarcocystis* species. Due to cross-species transmission, the disease may decrease food availability in the food production system. It can cause abortion in cattle and pigs, stunted growth, weight loss, condemnation of infected meat tissue upon slaughter, and even death. Molecular and microscopic research methods should be implemented in meat processing plants and slaughterhouses.

Acknowledgement

I acknowledge the tremendous support from my co-author and my supervisor, Prof. Igor Glamazdin, for his advice and clear ideas for this work.

References

- 1 Amairia S., Amdouni Y., Rjeibi M.R., Rouatbi M. et al. First molecular detection and characterization of *Sarcocystis* species in slaughtered cattle in North-West Tunisia. *Meat Science*. 2016. vol. 122. pp. 55–59. doi: 10.1016/j.meatsci.2016.07.021
- 2 Ayazian Mavi S., Teimouri A., Mohebbi M., Sharifi Yazdi M.K. et al. *Sarcocystis* infection in beef and industrial raw beef burgers from butcheries and retail stores: A molecular microscopic study. *Heliyon*. 2020. vol. 6. pp. e04171. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04171
- 3 Dubey J.P., van Wilpe E., Calero-Bernal R., Verma S.K. et al. *Sarcocystis heydorni*, n. sp. (Apicomplexa: Sarcocystidae) with cattle (*Bos taurus*) and human (*Homo sapiens*) cycle. *Parasitol Res*. 2015. vol. 114. pp. 4143–4147. doi: 10.1007/s00436-015-4645-2
- 4 Fayer R., Esposito D.H., Dubey J.P. Human Infections with *Sarcocystis* Species. *Clin Microbiol Rev*. 2015. vol. 28. pp. 295–311. doi: 10.1128/CMR.00113-14
- 5 Hoeve-Bakker B.J.A., van der Giessen J.W.B., Franssen F.F.J. Molecular identification targeting *cox1* and 18S genes confirms the high prevalence of *Sarcocystis* spp. in cattle in the Netherlands. *International Journal for Parasitology*. 2019. vol. 49. pp. 859–866. doi: 10.1016/j.ijpara.2019.05.008
- 6 Honda M., Sawaya M., Taira K., Yamazaki A. et al. Effects of temperature, pH and curing on the viability of *Sarcocystis*, a Japanese sika deer (*Cervus nippon centralis*) parasite, and the inactivation of their diarrheal toxin. *The Journal of Veterinary Medical Science*. 2018. vol. 80. pp. 1337–1344. doi: 10.1292/jvms.18-0123
- 7 Hornok S., Mester A., Takács N., Baska F. et al. *Sarcocystis*-infection of cattle in Hungary. *Parasites & vectors*. 2015. vol. 8. no. 1. pp. 1–6. doi: 10.1186/s13071-015-0685-9
- 8 Januskevicius V., Januskeviciene G., Prakas P., Butkauskas D. et al. Prevalence and intensity of *Sarcocystis* spp. infection in animals slaughtered for food in Lithuania. *Veterinarija Medicina*. 2019. vol. 64. pp. 149–157. doi: 10.17221/151/2017-VETMED
- 9 Khalifa R.M.A., El-Nadi N.A.E.-F.A., Sayed F.G., Omran E.K. Comparative morphological studies on three *Sarcocystis* species in Sohag, Egypt. *J Egypt Soc Parasitol*. 2008. vol. 38. pp. 599–608.
- 10 Lindsay D.S., Dubey J.P. Neosporosis, Toxoplasmosis, and Sarcocystosis in Ruminants. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 2020. vol. 36. pp. 205–222. doi: 10.1016/j.cvfa.2019.11.004
- 11 Metwally A.M., Abd Ellah M.R., AL-Hosary A.A., Omar M.A. Microscopical and serological studies on *Sarcocystis* infection with first report of *S. cruzi* in buffaloes (*Bubalus bubalis*) in Assiut, Egypt. *J Parasit Dis*. 2014. vol. 38. pp. 378–382. doi: 10.1007/s12639-013-0257-x
- 12 Moré G., Pantchev A., Skuballa J., Langenmayer M.C. et al. *Sarcocystis sinensis* is the most prevalent thick-walled *Sarcocystis* species in beef on sale for consumers in Germany. *Parasitol Res*. 2014. vol. 113. pp. 2223–2230. doi: 10.1007/s00436-014-3877-x

- 13 Ortega Y.R., Sulaiman I.M. Protozoa: Sarcocystis, in: Encyclopedia of Food Safety. Elsevier, 2014. pp. 49–53. doi: 10.1016/B978-0-12-378612-8.00137-2
- 14 Rosenthal B.M. Zoonotic Sarcocystis. Research in Veterinary Science. 2021. vol. 136. pp. 151–157. doi: 10.1016/j.rvsc.2021.02.008
- 15 Rubiola, S., Civera, T., Panebianco, F., Vercellino, D., Chiesa, F., 2021a. Molecular detection of cattle Sarcocystis spp. in North-West Italy highlights their association with bovine eosinophilic myositis. Parasites Vectors 14, 223. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04722-5>
- 16 Tumusiime M., Ntampaka P., Niragire F., Sindikubwabo T. et al. Prevalence of Swine Gastrointestinal Parasites in Nyagatare District, Rwanda. Journal of Parasitology Research. 2020. pp. 1–7. doi: 10.1155/2020/8814136
- 17 Vangeel L., Houf K., Chiers K., Vercruysse J. et al. Molecular-Based Identification of Sarcocystis hominis in Belgian Minced Beef. Journal of Food Protection. 2007. vol. 70. pp. 1523–1526. doi: 10.4315/0362-028X-70.6.1523
- 18 Vercruysse J., Fransen J., Goubbergen M. The Prevalence and Identity of Sarcocystis Cysts in Cattle in Belgium. Journal of Veterinary Medicine, Series B. 1989. vol. 36. pp. 148–153. doi: 10.1111/j.1439-0450.1989.tb00582.x
- 19 Waine K., Bartley P.M., Cox A., Newsome R. et al. Molecular detection of Sarcocystis cruzi in three beef carcasses with eosinophilic myositis lesions and in unaffected beef from animals in the same herd. Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports. 2022. vol. 33. pp. 100751. doi: 10.1016/j.vprsr.2022.100751
- 20 Woldemeskel M., Gebreab F. Prevalence of Sarcocysts in Livestock of Northwest Ethiopia. Journal of Veterinary Medicine, Series B. 1996. vol. 43. pp. 55–58. doi: 10.1111/j.1439-0450.1996.tb00287.x

Сведения об авторах

Джозеф О. Рутаганира к.б.н., кафедра ветеринарной медицины, Российский биотехнологический университет, Талалихина, 33, Москва, 109029, Россия, rutaganirajoseph@yahoo.com
 <https://orcid.org/0000-0001-5939-8365>

Игорь Г. Гламаздин д.в.н., директор, Институт ветеринарной медицины, Российский биотехнологический университет, Талалихина, 33, Москва, 109029, Россия, glamazdin@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7119-906x>

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

Joseph O. Rutaganira Cand. Sci. (Engin.), associate professor, veterinary medicine department, Russian Biotechnological University, 33, Moscow, 109029, Russia, rutaganirajoseph@yahoo.com
 <https://orcid.org/0000-0001-5939-8365>

Igor G. Glamazdin Dr. Sci. (Vet.), director, institute of veterinary medicine, Russian University of Biotechnology, 33, Moscow, 109029, Russia, glamazdin@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7119-906x>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 10/07/2023	После редакции 08/08/2023	Принята в печать 01/09/2023
Received 10/07/2023	Accepted in revised 08/08/2023	Accepted 01/09/2023

Исследование маскирования горького вкуса при разработке функциональных напитков на основе седативного сбора

Лидия В. Беркетова¹ lidia.berketova@ya.ru  0000-0002-1798-6131

¹ Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, д. 36, 117997, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассмотрена возможность маскирования горького вкуса при разработки функционального напитка на основе седативного сбора и соков: виноградного и вишневого, используемых в качестве маскирующих агентов. Были проведены сенсорные исследования по формированию рецептуры предложенных напитков. При проведении исследования респондентам предлагалось проанализировать образцы с вишневым и виноградным соками без добавления сахара с последовательно уменьшающейся концентрацией седативного сбора от 25 до 5%, затем образцы с добавлением сахара и ответить на вопрос, присутствует ли неприятный горький вкус и травяной аромат и на каком образце перестает ощущаться горький вкус. Полученные данные показали, что добавление сахара в напитки изменяет пороги восприятия вкуса в сторону увеличения концентрации отвара седативного сбора. Без добавления сахара горький вкус перестает ощущаться при 15% функциональной добавки с использованием виноградного сока и при 20% с использованием вишневого сока. С добавлением сахара горький вкус переставал ощущаться при 20% функциональной добавки с виноградным соком и 25% - с вишневым соком. Были проведены исследования по выявлению ассоциативного ряда: относительно того, с каким фруктом/ягодой ассоциируется аромат напитка в целом. При анализе полученных результатов выявлено, что респонденты точно ассоциировали образцы ряда с вишневым соком с вишневым ароматом (88%), при использовании виноградного сока 31% респондентов ассоциировали с ароматом клубники и 25% с ароматом клюквы. В результате проведенного исследования можно сделать вывод о том, что при разработке функционального напитка, обогащенного седативным сбором можно использовать вишневый и виноградный соки с концентрацией функционального ингредиента 5 – 20% с дискретностью добавления 5% в каждом вкусовом диапазоне.

Ключевые слова: маскирование, горький вкус, функциональный напиток, седативный сбор, соки.

Investigation of bitter taste masking in the development of functional beverages based on sedative collection

Lidia V. Berketova¹ lidia.berketova@ya.ru  0000-0002-1798-6131

¹ Plekhanov Russian University of Economics Stremyanny lane 36, Moscow, 117997, Russia

Abstract. The article considers the possibility of masking bitter taste in the development of a functional drink based on sedative collection and juices: grape and cherry, used as masking agents. Sensory studies were conducted on the formulation of the proposed beverages. In the study, respondents were asked to analyze samples with cherry and grape juices without added sugar with successively decreasing concentrations of sedative levy from 25 to 5%, then samples with added sugar and answer the question whether an unpleasant bitter taste and herbal aroma were present and at which sample the bitter taste ceased to be felt. The findings showed that the addition of sugar to the beverages altered the taste perception thresholds in the direction of increasing the concentration of the sedative collection decoction. Without the addition of sugar, the bitter taste ceases to be perceived at 15% of the functional additive using grape juice and at 20% using cherry juice. With the addition of sugar, the bitter taste was no longer felt at 20% of the functional additive with grape juice and 25% with cherry juice. Studies were conducted to identify the associative series: regarding with which fruit/berry the flavor of the beverage in general is associated. When analyzing the obtained results it was revealed that respondents accurately associated the samples of the row with cherry juice with cherry aroma (88%), when using grape juice 31% of respondents associated with strawberry aroma and 25% with cranberry aroma. As a result of the behavioral study it can be concluded that when developing a functional drink enriched with sedative collection it is possible to use cherry and grape juices with the concentration of functional ingredient 5 - 20% with the discretion of adding 5% in each flavor range

Keywords: masking, bitter taste, functional beverage, sedative collection, juices.

Введение

В современном обществе наряду с развитием научно-технического прогресса, информационных технологий и других благ цивилизации, развиваются и различные заболевания, которые эти «блага цивилизации» приносят человечеству. Одной из общемировых проблем современности является нарушения сна, вызванные различными причинами, приводящие к снижению эмоционального уровня жизни, к несчастным случаям, не только на производстве, но и в быту,

из-за существенного снижения внимание и работоспособности человека. Врачебная статистика свидетельствует, что *около 45% взрослых людей страдают от всевозможных расстройств сна*, а от 10 до 23% нуждаются в медицинской помощи [1].

Развитие функциональных продуктов питания, как альтернатива лекарственным препаратам, приобретает все большую популярность. Как отмечалось в ранних исследованиях безалкогольные напитки и соки, обогащенные микронутриентами – витаминами, минеральными

Для цитирования

Беркетова Л.В. Исследование маскирования горького вкуса при разработке функциональных напитков на основе седативного сбора // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 136–142. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-136-142

For citation

Berketova L.V. Investigation of bitter taste masking in the development of functional beverages based on sedative collection. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 136–142. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-136-142

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

веществами, про- и пребиотиками, растительными экстрактами, препаратами на основе фенольных соединений и др., являются одними из самых динамично развивающихся продуктов в сегменте российского рынка напитков с заданными свойствами [2, 3]. Поэтому в настоящее время рассматривается возможность использования различных нутрицевтиков с высоким содержанием биологически активных веществ (БАВ), которые могут быть применены в качестве функционального ингредиента для напитка.

Натуральные фруктовые соки, наряду с кисломолочными напитками, минеральными водами и напитками на растительной основе считаются одними из полезных для здоровья напитков, однако люди, заботящиеся о своем здоровье, хотят большего. Маркетинговые исследования показали, что потребители предпочитают новые сочетания овощей, фруктов и лекарственных растений с дополнительными полезными свойствами [4].

Одной из проблем при разработке функциональных и специализированных продуктов является их сенсорные свойства: отмечено, что данный сегмент продукции может иметь вкус, запах, флейвор, отличный от стандартных показателей. Этой теме уделяется все большее внимание [3]. Разрабатываются различные вкусовые добавки для маскирования вкусов нуклеозидов, в частности уридина, цитидина и их производных. В качестве маскирующего вкуса агента предложены компоненты из группы полисахаридов: галактоманнаны из семян пажитника, гуаровая камедь, камедь тары, камедь плодов рожкового дерева и камедь кассии; каррагинана [5]. Разработаны композиции для ароматизации напитков, позволяющих маскировать не приятный вкус и запах. Например, предложена композиция, содержащая в своем составе розу, душицу обыкновенную, лавандин, шалфей мускатный, полынь лимонную, чабрец, тысячелистник обыкновенный [6]. В качестве маскирующего агента используется композиция, состоящая из неогесперидина дигидрохалкон и циклодекстрина, которую добавляют к веществу имеющий неприятный вкус в количестве, эффективном для маскирования вкуса [7]. В кондитерских композициях, которые содержат вещество с горьким вкусом вносят витамин Е как добавку, уменьшающей горький вкус [8].

Для блокирования горечи на вкусовых рецепторах и / или маскирования горького привкуса в продуктах, могут быть использованы ингредиенты, которые взаимодействуют с рецепторами горечи (T2R или TAS2R) для подавления горечи. Таким соединением может быть аденозинмонофосфат (АМФ), который вводится в состав продукта или напитка [9].

Предложен напиток, содержащий в своем составе некалорийный подсластитель на основе стевииглюкозида, который имеет металлическое послевкусие, и анисовую кислоту в качестве агента для маскирования данного металлического послевкусия, который вызывается некалорийным подсластителем на основе стевииглюкозида [10].

Разработан продукт типа напитка, который содержит стевииглюкозид, выбранный из группы веществ, включающей: ребаудиозид А, ребаудиозид В, ребаудиозид С, ребаудиозид D, ребаудиозид Е и смесь любых из них и ягодную пульпу в количестве, достаточном для маскирования и/или сведения на нет и/или смягчения и/или ослабления горького/металлического вкуса и горького / металлического послевкусия стевииглюкозида. Известно, что вышеперечисленные вещества имеют различную интенсивность в горьком и металлическом вкусах и послевкусии [11].

Известен пример использования чайного экстракта для ослабления неприятного вкуса некалорийного подсластителя. В качестве чайных экстрактов используются экстракты черного чая, полужерментализованного чая (улунг), зеленого чая, белого чая, травяного чая и цитрусового чая [12].

Разработан способ переработки лекарственных трав с горьким вкусом в композицию из лекарственных трав с маскированной горечью, обладающей гепатопротекторными свойствами. Композиция включает следующие травы: *Picrorhiza kurroa*, *Andrographis paniculata*, *Phyllanthus niruri*, *Eclipta alba*, *Solarium nigrum*, *Tinospora cordifolia*, *Boerhaavia diffusa*, *Piper longum*, *Zingiber officinale*, *Bacopa monneiri*. В качестве антиоксидантов вносятся соединения из предложенного ряда: метабисульфит натрия, сульфит натрия, бисульфит натрия, тиосульфат натрия, аскорбиновая кислота и лимонная кислота [13].

Цель работы – изучение возможности маскирования горького вкуса, который дает седативный сбор при разработке функциональных напитков, соками из ягод и натуральным подсластителем сахарозой; определение порогов маскирования горького вкуса и выявление потребительских предпочтений.

Материалы и методы

При проведении исследования использовались методы сенсорного анализа согласно ГОСТ ISO 3972–2014 «Органолептический анализ. Методология. Метод исследования вкусовой чувствительности», ГОСТ ISO 4121–2016 «Органолептический анализ. Руководящие указания по применению шкал количественных характеристик», ГОСТ ISO 4121–2016 «Органолептический

анализ. Руководящие указания по применению шкал количественных характеристик», ГОСТ ISO 6658–2016 «Органолептический анализ. Методология. Общее руководство», ГОСТ ISO 8587–2015 «Органолептический анализ. Методология. Ранжирование» и ГОСТ ISO 11136–2017 «Методология. Общее руководство по проведению гедонических испытаний потребителями в контролируемой зоне».

В исследовании приняли участие 77 респондентов в возрасте от 20 до 23 лет.

Полученные результаты учитывались при составлении дегустационного листа по следующим категориям: дескрипторы маскировки лекарственного запаха (сладкий запах; горький запах; кислый запах; фруктовый (ягодный) запах; лекарственные травы) и оценка потребительских предпочтений (очень нравится; нравится; еще; не нравится; очень не нравится). Оценка проводилась по балльной системе и в% от числа опрошенных по гедонистической шкале.

Результаты

Было проведено исследование по возможности маскирования горького вкуса при разработке функционального напитка на основе седативных сборов № 2 и № 3 компании "Фитоседан". Образцы сокодержавших продуктов на основе апельсинового и клюквенного соков готовились с концентрацией растительных экстрактов от 10 до 50% с дискретностью добавления 5% в каждом вкусовом диапазоне. Были проведены расчеты соединения активных веществ в функциональном напитке при различных концентрациях добавленного экстракта. Показано, что суточная норма содержания действующих веществ в отваре достигается при 62,5%-ном соединении растительного экстракта в готовом напитке. Одновременно проведена органолептическая оценка потребительских свойств экспериментальных образцов. Результаты оценивались по наличию горечи и лекарственного вкуса. Исследования показали, что при концентрации функционального ингредиента от 50% до 40% (с клюквенным соком) и 35% (с апельсиновым соком) вкус оценивается как горький; при снижении концентрации функциональных добавок и травяного сбора от 25% до 15% наблюдается уменьшение интенсивности горечи, а при соединении функционального ингредиента 10% горький вкус не ощущается вообще. При определении потребительских предпочтений респонденты дали наиболее положительные оценки образцам напитка с апельсиновым

соком с концентрацией сбора 20, 15 и 10% и клюквенным соком с концентрацией сбора 15 и 10% [14–20].

При анализе полученных результатов первого исследования можно сделать вывод о нецелесообразности внесения функциональной добавки – седативного сбора – в количестве выше 30%. Поэтому при дальнейшем исследовании были выбраны концентрации функционального ингредиента – 5, 10, 15, 20 и 25% и другие соковые компоненты: виноградный и вишневый соки.

В данном исследовании изучалось восприятие пороговых концентраций седативного сбора как в напитках без добавления, так и с добавлением сахара. Респондентам предлагалось 20 образцов: по 10 образцов каждого вкуса – 5 с сахаром и 5 без сахара. Все исследуемые образцы кодировались трехзначным кодом. Содержание функциональной добавки и сахара приведены в таблице 1.

Таблица 1.
Содержание седативного сбора и сахара
в образцах напитков

Table 1.
Sedative levy and sugar content
in beverage samples

Образец Sample	Концентрация функционального ингредиента, % Functional ingredient concentration, %	Концентрация сахара в образце напитка, % Concentration of sugar in the beverage sample, %
Виноградный сок Grape juice		
155	25	10
157	20	8
191	15	4
679	10	2
288	5	1
Вишневый сок Cherry juice		
650	25	10
307	20	8
129	15	4
372	10	2
875	5	1

Сначала респондентам предлагалось проанализировать образцы без сахара с последовательно уменьшающейся концентрацией седативного сбора от 25 до 5% с виноградным и вишневым соками соответственно, затем образцы с добавлением сахара и ответить на вопрос, присутствует ли неприятный горький вкус и травяной аромат и на каком номере образца перестает ощущаться горький вкус. Результаты первого исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Определение концентрации напитка при которой отсутствует горький вкус и травяной аромат в образцах

Table 2.

Determination of beverage concentration at which there is no bitter taste and herbal flavor in samples

Без добавления сахара No added sugar			С добавлением сахара With added sugar		
Образец Sample	Концентрация функционального ингредиента, % Concentration of functional ingredient, %	% от общего числа опрошенных, горький вкус не ощущается % of the total number of respondents, the bitter taste is not felt	Образец Sample	Концентрация функционального ингредиента/ сахара, % Concentration of functional ingredient/sugar, %	% от общего числа опрошенных, горький вкус не ощущается % of the total number of respondents, the bitter taste is not felt
Виноградный сок Grape juice			Виноградный сок Grape juice		
558	25	-	155	25/10	4
756	20	-	157	20/8	17
942	15	25	191	15/4	32
916	10	33	679	10/2	22
109	5	42	288	5/1	25
Вишневый сок Cherry juice			Вишневый сок Cherry juice		
158	25	-	650	25/10	10
761	20	12	307	20/8	15
991	15	19	129	15/4	30
320	10	26	372	10/2	21
542	5	43	875	5/1	24

Как видно из полученных данных, добавление сахара в напитки изменяет пороги восприятия вкуса в сторону увеличения концентрации отвара седативного сбора. Без добавления сахара горький вкус перестает ощущаться при 15% функциональной добавки при использовании виноградного сока и при 20% с использованием вишневого сока. С добавлением сахара горький вкус перестал ощущаться при 20% функциональной добавки с виноградным соком и 25% – с вишневым соком. Основной вкус напитка после исчезновения

неприятного горького привкуса был признан как сладкий при использовании двух видов сока.

При определении постороннего лекарственного аромата в образцах также была использована 10-ти балльная шкала интенсивности аромата. «0» соответствовал отсутствию данного дескриптора, «10» соответствовало ярко выраженному значению данного дескриптора. При определении маскирования лекарственного аромата были выявлены следующие результаты, представленные в таблице 3.

Таблица 3.

Исследование маскирования лекарственного аромата (в баллах)

Table 3.

Study of masking of medicinal flavor (in points)

Образец Sample	Сладкий аромат Sweet flavor	Горький аромат Bitter flavor	Кислый аромат Sour flavor	Фруктовый (ягодный) аромат Fruity (berry) flavor	Лекарственные травы аромат Medicinal herbs flavor
Виноградный сок без добавления сахара Grape juice without added sugar					
558	1,8	7,0	4,5	1,0	6,4
756	2,6	6,6	3,0	2,1	5,7
942	3,7	5,6	4,8	2,3	4,0
916	4,9	4,1	3,3	4,9	3,5
109	4,7	2,7	3,5	6,0	1,8
Виноградный сок с добавленным сахаром Grape juice with added sugar					
155	2,8	6,4	3,0	3,2	5,9
157	3,1	4,0	3,6	4,1	5,1
191	4,2	3,5	4,8	4,8	4,0
679	4,8	2,8	5,1	4,8	3,2
288	6,6	1,0	5,0	5,4	3,6
Вишневый сок без добавления сахара Cherry juice without added sugar					
158	2,2	5,8	3,6	2,4	6,2
761	3,3	5,8	3,6	2,3	5,7
991	4,0	5,0	4,1	3,1	4,9
320	4,5	4,8	4,9	3,8	4,7
542	6,1	3,5	5,6	6,3	3,5
Вишневый сок с добавленным сахаром Cherry juice with added sugar					
650	3,7	5,0	3,0	3,2	7,0
307	4,1	4,8	4,7	5,0	5,8
129	5,3	4,6	4,9	4,7	5,6
372	5,9	3,6	5,5	5,1	4,8
875	8,0	1,4	6,0	7,8	4,2

Как видно из представленных данных наиболее оптимальным по сочетанию ароматов являются образцы №№ в линейке с виноградным соком – № 916 и № 109 – без добавления сахара и № 679 и № 288 с добавлением сахара. В линейке образцов с вишневым соком наиболее оптимальным по сочетанию ароматов оказались образцы № 320 и 542 – без добавления сахара и № 372 и 875 – с добавлением сахара.

Также были проведены исследования по выявлению ассоциативного ряда: относительно того, с каким фруктом/ягодой ассоциируется аромат напитка в целом. Респондентом был предоставлен список фруктов и ягод. Результаты опроса приведены в таблице № 4.

При анализе полученных результатов видно, что респонденты точно ассоциировали образцы ряда с вишневым соком с вишневым ароматом (88%), при использовании виноградного сока 31% респондентов ассоциировали с ароматом клубники и 25% с ароматом клюквы.

При исследовании потребительских предпочтений респондентом также предлагалось заполнить анкету распределив образцы по

гедонической шкале «нравится – не нравится»: очень нравится, нравится, все равно, не нравится, очень не нравится. Результаты исследования потребительских предпочтений представлены в таблице 5.

Таблица 4.

Ассоциации аромата

Table 4.

Flavor associations

Ассоциативный аромат Associative flavor	Количество ответов, % Number of answers, %
Аромат образцов с виноградным соком Flavor samples with grape juice	
Лесные ягоды Forest berries	12,5
Клюква Cranberry	25,0
Брусника Lingonberries	6,0
Клубника Strawberries	31,0
Виноград Grapes	12,5
Вишня Cherry	7,0
Смородина Currant	6,0
Аромат образцов с вишневым соком Flavor samples with cherry juice	
Лесные ягоды Forest berries	6,0
Брусника Lingonberries	6,0
Вишня Cherry	88,0

Таблица 5.

Исследование потребительских предпочтений

Table 5.

Consumer preference research

Образец Sample	Очень нравится Like it a lot	Нравится Like it all the same	Все равно Don't like it a lot	Не нравится Don't like it a lot	Очень не нравится Don't like it a lot
Виноградный сок без добавления сахара Grape juice without added sugar					
558	-	4	14	39	43
756	7	14	14	51	14
942	11	14	36	35	4
916	18	36	25	21	-
109	32	40	21	7	-
Виноградный сок с добавленным сахаром Grape juice with added sugar					
155	-	14	21	44	21
157	7	30	31	28	4
191	18	38	25	15	4
679	22	37	30	11	-
288	33	42	18	7	-
Вишневый сок без добавления сахара Cherry juice without added sugar					
158	-	-	32	47	21
761	-	7	29	43	21
991	-	14	44	38	4
320	18	50	21	11	-
542	32	50	14	4	-
Вишневый сок с добавленным сахаром Cherry juice with added sugar					
650	-	-	40	39	21
307	-	18	29	39	14
129	11	29	32	28	-
372	21	36	36	7	-
875	39	43	11	7	-

Как видно из полученных аналитических данных, наибольшее предпочтение респонденты отдали образцам напитка с добавлением сахара для образцов с виноградным соком – № 191, 679, 288 и для образцов с вишневым соком – № 372, 875; без добавления сахара с виноградным соком – № 916, 109, с вишневым соком – № 320 и 542.

Закключение

В результате проведенных исследований была предложена рецептурная модель сокодержавшего седативного напитка. В качестве источника биологически активных веществ можно использовать сборы лекарственных растений, содержащие травы пустырника, дыни,

чабреца и душицы, листья мяты перечной, корни валерианы и лакрицы, шишки хмеля. Результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что при разработке функционального напитка, обогащенного седативным сбором можно использовать вишневый и виноградный соки с концентрацией функционального ингредиента 5–20% с дискретностью добавления 5%

в каждом вкусовом диапазоне. Для восполнения суточной нормы потребления БАВ необходимо употребить 200 мл напитка с концентрацией 25–30% активных веществ в 100 мл готового напитка или 500 мл при концентрации 10–15%. Данные функциональные напитки соответствуют требованиям потребителей по сенсорным показателям.

Литература

- 1 Пизова Н.В. Бессонница: определение, распространенность, риски для здоровья и подходы к терапии // Медицинский совет. 2023. Т. 17. № 3. С. 85–93. doi: 10.21518/ms2023–034
- 2 Беркетова Л.В., Крюкова Е.В. Функциональные напитки на основе пивных дрожжей // Пиво и напитки. 2012. № 5. С. 62–63.
- 3 Смирнова Е.А., Беркетова Л.В. Моделирование сенсорных свойств функциональных напитков // Вопросы диетологии. 2011. Т. 1. № 2. С. 83.
- 4 Бочаров В.А. Оценка качества образцов нектаров вишневых, реализуемых в торговой сети // Редакционный совет. 2017. Т. 1. С. 201761.
- 5 Пат. № 2484670, RU, A23L1/30. Приятная на вкус питательная композиция, содержащая нуклеотид и / или нуклеозид и маскирующий вкус агент / Де Корт Э.Ж., Грундейк М., Кампхейс П.Й. № 2010130160/13; Заявл. 22.12.2008; Оpubл. 20.06.2013, Бюл. № 17.
- 6 Пат. № 2529835, RU, A23L1 2/385 Композиция ингредиентов для ароматизации напитков / Ежов В.Н., Полонская А.К., Орехова С.Н. № 2014132462/93; Заявл. 19.06.2014; Оpubл. 27.09.2014, Бюл. № 27.
- 7 Пат. № 2783538, RU, A23L27/30 Подслащивающие и маскирующие вкус композиции, продукты и их применение / Д'ОР Т.Н.А., Боррего Риос Ф., Креспо Монтеро Ф.Х. № 2020100128; Заявл. 2018.07.26; Оpubл. 2022.11.14, Бюл. № 32.
- 8 Пат. № 2562953, RU, A23L27/86. Маскирование горечи / Фиррелл М., Маршалл С., Ланди С. № 2014103782/13; Заявл. 2012.06.26; Оpubл. 2015.09.10, Бюл. № 25.
- 9 Пат. № 2530655, RU, A23L27/00. Материал в виде частиц для контролируемого высвобождения активных ингредиентов / Педерсен К.М., Андерсен Й.Б. № 2011147588/15; Заявл. 2010.04.26; Оpubл. 2014.10.10; Бюл. № 28.
- 10 Пат. № 2417713, RU, A23L2/00. Продукты типа напитков, подслащенные модифицированным анисовой кислотой стевииогликозидом / Лии Т., Мэй Р.Й., Рой Г. № 2008151096/10; Заявл. 2008.03.14; Оpubл. 2011.05.10; Бюл. № 13.
- 11 Пат. № 2412620, RU, A23L2/60. Напиток, содержащий натуральные подсластители на основе одного или нескольких компонентов стевии и ягодный компонент / Лии Т. № 2008151076/13; Заявл. 2008.03.13; Оpubл. 2011.02.27, Бюл. № 6
- 12 Пат. № 2424733, RU, A23L2/39. Чайные экстракты для ослабления неприятного вкуса некалорийных подсластителей / Джонсон В., Рой Г., Лии Т. № 2008151094/15; Заявл. 2008.03.14; Оpubл. 2011.07.27, Бюл. № 18.
- 13 Пат. № EA 0000013243, IN A61K9/00. Способ приготовления композиции из лекарственных трав с маскированным горьким вкусом и композиция, полученная по этому способу / Шохан С.К. Заявл. 2007.02.15; Оpubл. 2010.04.30.
- 14 Berketova L.V., Kryukova E.V., Goryacheva E.D., Ilyuchina N.V. et al. Evaluation of using herbal extracts in enriched beverages' production // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. V. 640. № 2. P. 022068. doi:10.1088/1755–1315/640/2/022068 012119
- 15 Tarazona-Díaz M.P., Alacid F., Carrasco M., Martínez I., Aguayo E. Watermelon juice: potential functional drink for sore muscle relief in athletes // Journal of agricultural and food chemistry. 2013. V. 61. № 31. P. 7522–7528.
- 16 Kregiel D. Health safety of soft drinks: contents, containers, and microorganisms // BioMed research international. 2015. V. 2015. doi: 10.1155/2015/128697
- 17 Corbo M.R., Bevilacqua A., Petrucci L., Casanova F. P. et al. Functional beverages: the emerging side of functional foods: commercial trends, research, and health implications // Comprehensive reviews in food science and food safety. 2014. V. 13. № 6. P. 1192–1206. doi: 10.1111/1541-4337.12109
- 18 Li S., Lo C.Y., Pan M.H., Lai C.S. et al. Black tea: chemical analysis and stability // Food & function. 2013. V. 4. № 1. P. 10–18. doi: 10.1039/C2FO30093A
- 19 Riso P., Klimis-Zacas D., Del Bo' C., Martini D. et al. Effect of a wild blueberry (*Vaccinium angustifolium*) drink intervention on markers of oxidative stress, inflammation and endothelial function in humans with cardiovascular risk factors // European journal of nutrition. 2013. V. 52. P. 949–961.
- 20 Sharma S.K., Bansal S., Mangal M., Dixit A. K. et al. Utilization of food processing by-products as dietary, functional, and novel fiber: A review // Critical reviews in food science and nutrition. 2016. V. 56. № 10. P. 1647–1661. doi: 10.1080/10408398.2013.794327

References

- 21 Pizova N.V. Insomnia: definition, prevalence, health risks and approaches to therapy. Medical Council. 2023. vol. 17. no. 3. pp. 85–93. doi: 10.21518/ms2023–034 (in Russian).
- 22 Berketova L.V., Kryukova E.V. Functional drinks based on brewer's yeast. Beer and drinks. 2012. no. 5. pp. 62–63. (in Russian).
- 23 Smirnova E.A., Berketova L.V. Modeling the sensory properties of functional drinks. Questions of Dietetics. 2011. vol. 1. no. 2. pp. 83. (in Russian).
- 24 Bocharov V.A. Assessing the quality of cherry nectar samples sold in the retail chain. Editorial Council. 2017. vol. 1. pp. 201761. (in Russian).

- 25 De Kort E.J., Grunendijk M., Kamphuis P.J.A Palatable nutritional composition containing a nucleotide and/or nucleoside and a flavor masking agent. Patent RF, no. 2484670, 2013.
- 26 Ezhov V.N., Polonskaya A.K., Orekhova S.N. Composition of ingredients for beverage flavoring. Patent RF, no. 2529835, 2014.
- 27 D'or T.N.A., Borrego Rios F., Crespo Montero F.J. Sweetening and flavor-masking compositions, products and their applications. Patent RF, no 2783538, 2022.
- 28 Firrell M., Marshall S., Lundy S. Masking bitterness. Patent RF, no. 2562953, 2015.
- 29 Pedersen K.M., Andersen J.B. Particulate material for controlled release of active ingredients. Patent RF, no. 2530655, 2014.
- 30 Lii T., Mehj R.J., Roj G. Beverage-type products sweetened with steviol glycoside modified with anisic acid. Patent RF, no. 2417713, 2011.
- 31 Lii T. A beverage containing natural sweeteners based on one or more stevia components and a berry component. Patent RF, no. 2412620, 2011.
- 32 Dzhonson V., Roj G., Lii T. Tea extracts to lessen the unpleasant taste of non-caloric sweeteners. Patent RF, no. 2424733, 2011.
- 33 Chauhan S.K. Method of preparing herbal composition with masked bitter flavor and a composition obtained by this method. Patent IN, no. 0000013243, 2010.
- 34 Berketova L.V., Kryukova E.V., Goryacheva E.D., Ilyuchina N.V. et al. Evaluation of using herbal extracts in enriched beverages' production. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. vol. 640. no. 2. pp. 022068. doi:10.1088/1755-1315/640/2/022068 012119
- 35 Tarazona-Díaz M.P., Alacid F., Carrasco M., Martínez I., Aguayo E. Watermelon juice: potential functional drink for sore muscle relief in athletes. Journal of agricultural and food chemistry. 2013. vol. 61. no. 31. pp. 7522-7528.
- 36 Kregiel D. Health safety of soft drinks: contents, containers, and microorganisms. BioMed research international. 2015. vol. 2015. doi: 10.1155/2015/128697
- 37 Corbo M.R., Bevilacqua A., Petrucci L., Casanova F. P. et al. Functional beverages: the emerging side of functional foods: commercial trends, research, and health implications. Comprehensive reviews in food science and food safety. 2014. vol. 13. no. 6. pp. 1192-1206. doi: 10.1111/1541-4337.12109
- 38 Li S., Lo C.Y., Pan M.H., Lai C.S. et al. Black tea: chemical analysis and stability. Food & function. 2013. vol. 4. no. 1. pp. 10-18. doi: 10.1039/C2FO30093A
- 39 Riso P., Klimis-Zacas D., Del Bo' C., Martini D. et al. Effect of a wild blueberry (*Vaccinium angustifolium*) drink intervention on markers of oxidative stress, inflammation and endothelial function in humans with cardiovascular risk factors. European journal of nutrition. 2013. vol. 52. pp. 949-961.
- 40 Sharma S.K., Bansal S., Mangal M., Dixit A. K. et al. Utilization of food processing by-products as dietary, functional, and novel fiber: A review. Critical reviews in food science and nutrition. 2016. V. 56. no. 10. pp. 1647-1661. doi: 10.1080/10408398.2013.794327

Сведения об авторах

Лидия В. Беркетова к.т.н., доцент, кафедра пищевых технологий и биоинженерии, Российский экономический университет им.Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, д. 36, 117997, Москва, Россия, lidia.berketova@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-1798-6131>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Lidia V. Berketova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food technology and bioengineering department, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane 36, Moscow, 117997, Russia, lidia.berketova@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-1798-6131>

Contribution

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

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Поступила 17/07/2023	После редакции 03/08/2023	Принята в печать 22/08/2023
Received 17/07/2023	Accepted in revised 03/08/2023	Accepted 22/08/2023

Многокритериальная оптимизация технологических параметров СВЧ-выпечки сбивного бездрожжевого бескоркового хлеба

Алексей С. Таратухин	¹	alexey4life@mail.ru	 0000-0002-9880-9726
Газибег О. Магомедов	¹	gazibeck.magomedov@ya.ru	 0000-0002-7201-8387
Анатолий А. Хвостов	²	khvtol1974@ya.ru	 0000-0002-3836-9407
Магомед Г. Магомедов	¹	mmg@inbox.ru	 0000-0003-2494-4973
Алексей А. Журавлев	³	zhuraa1@rambler.ru	 0000-0002-2194-767X
Инесса В. Плотникова	¹	plotnikova_2506@mail.ru	 0000-0001-5959-6652

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

2 Воронежский государственный технический университет, пр. Московский, 14, г. Воронеж, 394026, Россия

3 Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54 А, г. Воронеж, 394064, Россия

Аннотация. Для снижения энергозатрат и продолжительности выпечки сбивных бездрожжевых хлебобулочных изделий, повышения их качества, актуальным является применение эффективных источников подвода энергии к тестовым заготовкам. Для равномерного прогрева тестовых заготовок по всему объему наибольший интерес представляет их сверхвысокочастотный нагрев при выпечке, что позволяет повысить экономичность производства. Одним из известных методов изучения процесса выпечки сбивного бездрожжевого бескоркового хлеба был выбран метод математического моделирования, основанный на формализации математической модели. Планирование эксперимента является наиболее эффективным в получении максимума информации об объекте моделирования при минимальном объеме экспериментальных исследований. В данной работе рассмотрено моделирование и оптимизация технологических параметров СВЧ-выпечки сбивного бездрожжевого бескоркового хлеба с применением экспериментально-статистических методов. В качестве основных факторов выбраны масса тестовой заготовки и мощность СВЧ-выпечки. Выходными параметрами являлись продолжительность выпечки до готовности, упек и высота хлеба. По результатам центрального композиционного ротатбельного планирования эксперимента построены математические модели в виде регрессионных уравнений, адекватно описывающие исследуемые процессы. Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена по критериям Стьюдента, Кохрена и Фишера (при доверительной вероятности 0,95). Приведена математическая интерпретация регрессионных уравнений. Оптимизацию параметров СВЧ-выпечки сбивных бездрожжевых хлебобулочных изделий проводили методом неопределенных множителей Лагранжа. Определены оптимальные значения основных факторов эксперимента: масса тестовой заготовки – 465 г; мощность СВЧ-выпечки – 865 Вт, - что обеспечивает наименьший упек хлеба – 1,2 % и максимальную высоту хлеба – 78,5 мм при минимальной продолжительности выпечки хлеба – 3,4 мин.

Ключевые слова: сбивной бездрожжевой бескорковый хлеб, выпечка, планирование эксперимента, оптимизация, метод неопределенных множителей Лагранжа.

Multi-criteria optimization of technological parameters of microwave baking of whipped yeast-free bread without crust

Aleksei S. Taratukhin	¹	alexey4life@mail.ru	 0000-0002-9880-9726
Gazibeg O. Magomedov	¹	gazibeck.magomedov@ya.ru	 0000-0002-7201-8387
Anatolii A. Khvostov	²	khvtol1974@ya.ru	 0000-0002-3836-9407
Magomed G. Magomedov	¹	mmg@inbox.ru	 0000-0003-2494-4973
Aleksei A. Zhuravlev	³	zhuraa1@rambler.ru	 0000-0002-2194-767X
Inessa V. Plotnikova	¹	plotnikova_2506@mail.ru	 0000-0001-5959-6652

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

2 Voronezh state technical University, 14, Moskovsky Ave., Voronezh, 394026, Russia

3 Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, 54A, Starykh Bol'shevikov Str., Voronezh, 394064, Russia

Для цитирования

Таратухин А.С., Магомедов Г.О., Хвостов А.А., Магомедов М.Г., Журавлев А.А., Плотникова И.В. Многокритериальная оптимизация технологических параметров СВЧ-выпечки сбивного бездрожжевого бескоркового хлеба // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 143–152. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-143-152

For citation

Taratukhin A.S., Magomedov G.O., Khvostov A.A., Magomedov M.G., Zhuravlev A.A., Plotnikova I.V. Multi-criteria optimization of technological parameters of microwave baking of whipped yeast-free bread without crust. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 143–152. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-143-152

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

Abstract. In order to reduce energy consumption and baking time of churned yeast-free bakery products, to improve their quality, it is relevant to use effective sources of energy supply to test blanks. For uniform heating of test blanks throughout the entire volume, their ultra-high-frequency heating during baking is of the greatest interest, which makes it possible to increase the efficiency of production. One of the well-known methods of studying the baking process of whipped, yeast-free, unskilled bread was the method of mathematical modeling based on the formalization of a mathematical model. Experiment planning is the most effective in obtaining maximum information about the modeling object with a minimum amount of experimental research. In this paper, the modeling and optimization of the technological parameters of microwave baking of whipped yeast-free bread with the use of experimental statistical methods is considered. The mass of the dough piece and the power of microwave baking were chosen as the main factors. The output parameters were the duration of baking until ready, the package and the height of the bread. Based on the results of the central compositional rotatable planning of the experiment, mathematical models in the form of regression equations are constructed that adequately describe the processes under study. Statistical processing of experimental data was performed according to the criteria of Student, Kohren and Fisher (with a confidence probability of 0.95). The mathematical interpretation of regression equations is given. Optimization of the parameters of microwave baking of churned yeast-free bakery products was carried out by the method of indeterminate Lagrange multipliers. The optimal values of the main factors of the experiment were determined: the mass of the test piece – 465 g; the power of microwave baking – 865 W, which ensures the smallest bread roll – 1.2% and the maximum bread height – 78.5 mm with a minimum duration of baking bread – 3.4 min.

Keywords: churned yeast-free bread, baking, experiment planning, optimization, the method of indefinite Lagrange multipliers.

Введение

В настоящее время приоритетным направлением технической политики агропромышленного комплекса является разработка системы перспективных мер по насыщению высококачественной продукцией в низком ценовом сегменте и эффективной техникой. С этой целью необходимо разрабатывать и внедрять инновационные технологии и технологическое оборудование для выпуска хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности и низкой себестоимости. Для внедрения ускоренной бездрожжевой технологии хлебобулочных изделий наиболее проблемной является стадия выпечки с позиции высоких энергозатрат [1].

Актуальным является применение эффективных источников подвода энергии к тестовым заготовкам для снижения энергозатрат и продолжительности, повышения качества в процессе выпечки сбивных бездрожжевых хлебобулочных изделий.

Существуют различные механизмы подвода или генерации тепла, вызывающего интенсивный нагрев выпекаемой тестовой заготовки: способы (радиационно-конвективные), при которых тепло к выпекаемой тестовой заготовке подводится извне; способы (электроконтактный; в электрическом поле высокой и сверхвысокой частоты; инфракрасного нагрева), при которых тепло выделяется в массе прогреваемой тестовой заготовки [2, 3]; способы с комбинированным прогревом (высокочастотный с инфракрасным; в электрическом поле токов высокой частоты с инфракрасным; инфракрасный с электроконтактным; инфракрасный с ультразвуком).

При применении интенсивных физических способов подвода тепла к тестовым заготовкам необходимо учитывать формирование высокого качества сбивных бездрожжевых хлебобулочных изделий. Выпечка является заключительной стадией приготовления хлеба, в ходе которой окончательно формируется его качество. В процессе выпечки внутри тестовой заготовки одновременно протекают

микробиологические, биохимические и коллоидные процессы, в основе которых лежат физические явления – прогревание тестовой заготовки, влагообмен между тестом и паровоздушной средой пекарной камеры, внутренний тепломассообмен между мякишем и коркой хлеба [4].

Ввиду равномерности прогрева тестовой заготовки по всему объему и экономичности данного процесса, при выпечке сбивного бездрожжевого бескоркового хлеба наибольший интерес представляет сверхвысокочастотный нагрев [5].

Одним из методов изучения процесса выпечки хлеба является метод математического моделирования, основным этапом которого является формализация математической модели. В настоящее время сформировались два подхода к построению математических моделей процесса выпечки [6].

Первый подход заключается в построении детерминированной модели выпечки на основе фундаментальных теоретических законов тепло и массообмена в сопряженной постановке. При этом могут быть учтены фазовый переход, механизмы капиллярной, молекулярной диффузии, термодиффузии, многофазное течение в пористой среде (вода, пар, углекислый газ) [7–11]. В ряде случаев в математических моделях учитывается давление в газовой фазе и реология мякиша, изменение геометрических размеров заготовки в ходе выпечки, цвет корки, пористость заготовки и другие параметры [10–12].

Второй подход – экспериментально-статистический, использующий концепцию «чёрный ящик» и не требующий формального описания закономерностей протекания реальных процессов при выпечке. Математическая модель в этом случае имеет вид регрессионных зависимостей, полученных в результате статистической обработки экспериментальных данных пассивных или активных экспериментов.

В лабораторной практике при исследовании технологических процессов пищевых производств наиболее эффективными являются активные эксперименты (планирование эксперимента),

основной целью которых является получение максимума информации об объекте моделирования при минимальном объеме экспериментальных исследований [13].

По результатам планирования эксперимента математическая модель изучаемого процесса имеет вид полинома второй степени [13, 14]

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i + \sum_{i=1}^n b_{ii} X_i^2 + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^n b_{ij} X_i X_j, \quad (1)$$

где $\hat{y}$ – предсказанное значение выходного параметра (функция отклика); b_0 , b_i , b_{ij} , b_{ii} – регрессионные коэффициенты; X_i – кодированные значения факторов; i, j – индексы факторов; n – число факторов.

Цель работы – исследование взаимодействия основных технологических факторов, влияющих на процесс СВЧ-выпечки сбивного бездрожжевого бескоркового хлеба, математическими методами планирования эксперимента, и поиск оптимальных параметров процесса СВЧ-выпечки.

Результаты

В качестве основных факторов, влияющих на процесс СВЧ-выпечки сбивного бездрожжевого бескоркового хлеба, были выбраны: x_1 – масса тестовой заготовки, г; x_2 – мощность СВЧ-выпечки, Вт (таблица 1).

Таблица 1.

Характеристики планирования

Table 1.

Planning characteristics

Условия планирования Planning conditions	Значения факторов Values of factors	
	Масса тестовой заготовки x_1 , г The mass of the test piece x_1 , g	Мощность СВЧ-выпечки x_2 , Вт Microwave baking power x_2 , W
Основной уровень (0) Main level (0)	350	700
Интервал варьирования Variation interval	100	200
Верхний уровень (+1) Upper level (+1)	450	900
Нижний уровень (-1) Lower level (-1)	250	500
Верхняя «звездная» точка (+1,41) The upper "star" point (+1.41)	491	982
Нижняя «звездная» точка (-1,41) The lower "star" point (-1.41)	209	418

Все эти факторы совместимы и некоррелированы между собой. Выбор интервалов изменения факторов обусловлен технологическими условиями производства сбивного хлеба. Мощность СВЧ менее 400 Вт не обеспечивает прогрев и выпечку хлеба, так как температура в центре мякиша не достигает температуры 98 ± 1 °С. При этом выбор массы тестовой заготовки обоснован известным развесом хлеба.

В качестве выходных параметров использовали: y_1 – продолжительность выпечки хлеба до его готовности, мин; y_2 – упек хлеба, %; y_3 – изменение высоты хлеба после выпечки, мм.

Выбор данных параметров обоснован тем, что готовность хлеба судят по достижению температуры в центре мякиша – 98 ± 1 °С, выход хлеба судят по его упеку, пористость хлеба оценивают по изменению высоты тестовой заготовки в процессе выпечки изделия.

Моделирование и оптимизацию параметров СВЧ-выпечки проводили экспериментально-статистическими методами в несколько этапов [16].

Первый этап заключался в построении математических моделей, адекватно описывающих зависимости выбранных выходных параметров от изучаемых факторов. С целью сокращения продолжительности экспериментальных исследований и снижения затрат на их реализацию был выполнен полный факторный эксперимент (ПФЭ) типа 2^3 в соответствии с матрицей планирования (таблица 2, опыты 1–4). Опыты проводили в двух кратной повторности, для оценки воспроизводимости опытов в центре плана были реализованы 5 параллельных опытов (таблица 2, опыты 9–13). Число опытов в центре плана выбрали с учетом возможного в дальнейшем перехода к планированию второго порядка. Для исключения влияния неконтролируемых параметров на результаты эксперимента порядок опытов рандомизировали посредством таблицы случайных чисел. В таблице 2 представлены средние арифметические значения функций отклика по результатам двух параллельных опытов.

Таблица 2.

Матрица планирования и результаты эксперимента

Table 2.

Planning matrix and experiment results

Опыт Experiment	Кодированные значения Coded values		Натуральные значения Natural values		Функция отклика Response function		
	X_1	X_2	x_1 , г x_1 , g	x_2 , Вт x_2 , W	y_1 , мин y_1 , min	y_2 , % y_2 , %	y_3 , мм y_3 , mm
1	-1	-1	250	500	4,6	2,2	51,0
2	+1	-1	450	500	5,2	2,1	79,2
3	-1	+1	250	900	2,7	6,0	51,0
4	+1	+1	450	900	3,5	1,5	77,2
5	-1,41	0	209	700	3,0	5,15	53,4
6	+1,41	0	491	700	4,0	1,62	82,0
7	-1,41	0	350	418	6,2	1,42	63,5
8	0	-1,414	350	982	2,7	2,9	61,8
9	0	+1,41	350	700	4,0	1,95	63,5
10	0	0	350	700	4,1	2,31	63,0
11	0	0	350	700	3,8	2,0	63,8
12	0	0	350	700	3,9	2,1	62,9
13	0	0	350	700	4,0	2,0	63,1

План ПФЭ типа 2^2 дает возможность рассчитать оценку четырех регрессионных коэффициентов уравнения (1) и построить уравнение первого порядка. Как известно [14, 16], свободный член b_0 уравнения регрессии является оценкой выхода процесса в центральной точке эксперимента, которая смешана с суммарной оценкой квадратичных эффектов всех факторов. Если квадратичные эффекты будут значимы, то и прогнозируемые результаты опытов в центре плана эксперимента будут значимо отличаться от их экспериментальных значений. Параллельные опыты в центре плана эксперимента позволяют, не приступая даже к расчету всех (кроме b_0) оценок коэффициентов уравнения, судить о возможности описания изучаемых зависимостей уравнением первого порядка без включения в него квадратичных членов.

Расчеты показали, что уравнения регрессии, полученные по результатам ПФЭ, дают неудовлетворительное математическое описание и необходимо перейти к планированию второго порядка, что позволяет учесть в регрессионных уравнениях оценки квадратичных эффектов факторов.

Для этого в исходную матрицу планирования были включены опыты в «звездных» точках (таблица 2, опыты 5–8). Выбор величины «звездного» плеча $\pm 1,41$ обусловлен необходимостью получения униформ-ротatable-плана, обеспечивающего получения одинаковой величины дисперсии предсказания для любой точки в пределах изучаемой области [17, 18]. Опыт в «звездных» точках реализовали в двухкратной повторности. В таблица 2 представлены

средние арифметические значения функции отклика в двух параллельных опытах.

Статистическая обработка экспериментальных данных заключалась в вычислении оценок регрессионных коэффициентов, проверке их значимости, оценке воспроизводимости опытов и установлении адекватности полученных регрессионных уравнений [16, 18]. При этом были использованы статистические критерии Стьюдента, Кохрена и Фишера (при доверительной вероятности $p = 0,95$ и соответствующем числе степеней свободы) [14, 15].

В результате статистической обработки результатов планирования эксперимента (таблица 2) получены уравнения регрессии, адекватно описывающие зависимости функций отклика от изучаемых факторов

$$\hat{y}_1 = 3,97 + 0,35X_1 - 1,06X_2 + 0,05X_1X_2 - 0,23X_1^2 + 0,23X_2^2; \quad (2)$$

$$\hat{y}_2 = 2,08 - 1,19X_1 + 0,66X_2 - 1,1X_1X_2 + 0,68X_1^2 + 0,08X_2^2; \quad (3)$$

$$\hat{y}_3 = 63,57 + 11,95X_1 - 0,66X_2 - 0,27X_1X_2 + 1,76X_1^2 - 0,75X_2^2; \quad (4)$$

где X_i – кодированные значения факторов, которые с учетом условий планирования (таблица 1) связаны с натуральными значениями X_i соотношениями

$$X_1 = \frac{x_1 - 350}{100}; \quad X_2 = \frac{x_2 - 700}{200}. \quad (5)$$

Второй этап заключался в интерпретации регрессионных уравнений (2)–(4).

Математическое описание, полученное по результатам ротационного планирования, дает информацию о поверхности отклика, однако, интерпретация регрессионных уравнений в виде (2)–(4) затруднена. В этой связи для идентификации вида поверхностей отклика и приведения регрессионных уравнений к канонической форме воспользуемся средствами аналитической геометрии [19, 20].

Приведение квадратичного уравнения регрессии вида (1) к канонической форме заключается в замене старых координатных осей X_1 и X_2 новыми осями Z_1 и Z_2 , переносе начала координат в новую точку факторного пространства и повороту координатных осей на некоторый угол φ [15, 20].

После канонических преобразований регрессионные уравнения (2)–(4) приобретают вид

$$\hat{y}_1 = 2,98 + 0,23Z_1^2 - 0,23Z_2^2; \quad (6)$$

$$\hat{y}_2 = 1,62 + 1,01Z_1^2 - 0,24Z_2^2; \quad (7)$$

$$\hat{y}_3 = 43,31 + 1,76Z_1^2 - 0,75Z_2^2. \quad (8)$$

Графическая интерпретация регрессионных уравнений (2) – (4) в виде линий равного уровня представлена на рис. 1–3. Видно, что все поверхности отклика имеет вид гиперболических параболоидов с особой центральной точкой (точкой минимакса). В направлении одной из канонических осей существует минимум, в направлении другой оси – максимум. При этом двумерные сечения гиперболического параболоида координатными плоскостями $\hat{y} = h$ (где h – произвольная постоянная) имеют вид гипербол.

Там же на рисунках 1–3 представлены двумерные сечения области эксперимента в виде окружности радиусом $R = 1,41$, центр которой совпадает с центром эксперимента.

Третий этап заключался в определении оптимальных значений массы тестовой заготовки и мощности СВЧ-выпечки, при которых достигаются экстремумы функций отклика: $\hat{y}_1 \rightarrow \min$, $\hat{y}_2 \rightarrow \min$ и $\hat{y}_1 \rightarrow \max$.

Видно (рисунки 1–3), что оптимальные значения выходных параметров y_1 , y_2 и y_3 достигаются в разных точках факторного пространства. Так, $\hat{y}_1^{\min} = 2,49$ мин при $X_1^* = -1,11$ и $X_2^* = 0,87$; $\hat{y}_2^{\min} = 1,17$ % при $X_1^* = 1,12$ и $X_2^* = 0,85$; $\hat{y}_3^{\max} = 84,21$ мм при $X_1^* = 1,41$ и $X_2^* = -0,077$. Очевидно, не представляется возможным установить оптимальные значения переменных X_1 и X_2 , доставляющих экстремум трем параметрам оптимизации y_1 , y_2 и y_3 одновременно.

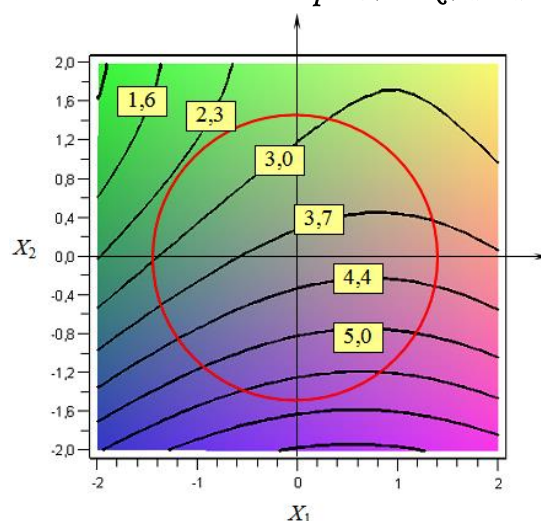


Рисунок 1. Двумерные сечения поверхности отклика $\hat{y}_1$
Figure 1. Two-dimensional sections of the response surface $\hat{y}_1$

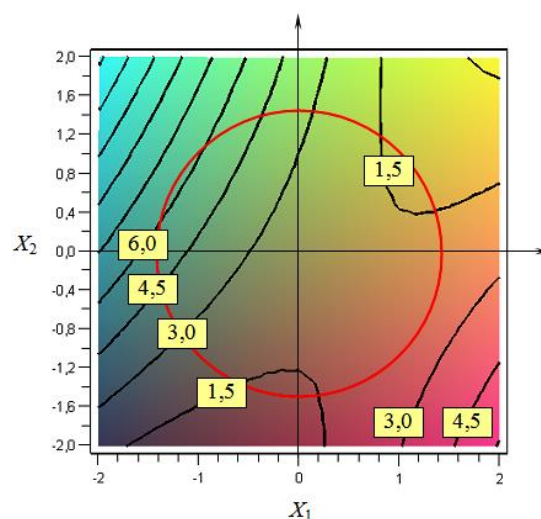


Рисунок 2. Двумерные сечения поверхности отклика $\hat{y}_2$
Figure 2. Two-dimensional sections of the response surface $\hat{y}_2$

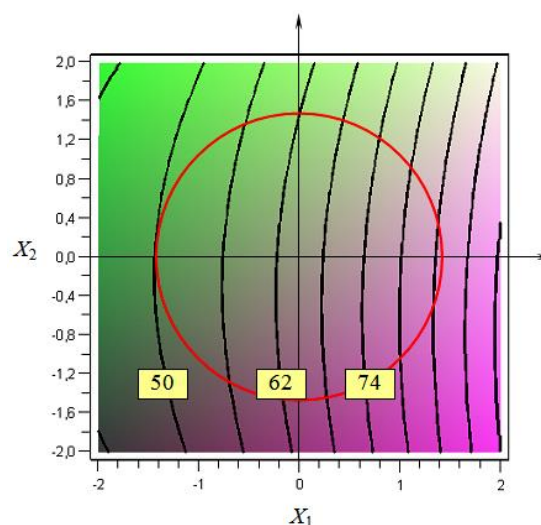


Рисунок 3. Двумерные сечения поверхности отклика $\hat{y}_3$
Figure 3. Two-dimensional sections of the response surface $\hat{y}_3$

Рассматриваемая задача оптимизации является многокритериальной с конфликтом между оптимальными значениями переменных X_1 и X_2 и по каждому частному параметру оптимизации. Для ее решения воспользуемся методом свертывания частных критериев в обобщенный аддитивный критерий F [21]

$$F = \sum_{i=1}^n \alpha_i \tilde{y}_i, \quad (9)$$

где i – порядковый номер частного критерия оптимизации, n – количество частных критериев оптимизации, $n=3$; α_i – весовой коэффициент ($0 \leq \alpha_i \leq 1$) относительной важности частного критерия $\hat{y}_i$; $\tilde{y}_i$ – нормированное значение частного критерия оптимизации.

Поскольку установить приоритет по важности для каждого частного критерия оптимизации затруднительно, весовые коэффициенты α_i назначим исходя из значений коэффициентов относительного разброса частных критериев.

Коэффициент относительного разброса δ_i , характеризующий крутизну поверхности отклика, для каждого частного критерия оптимизации

$$\delta_i = \frac{\hat{y}_i^{\max} + \hat{y}_i^{\min}}{\hat{y}_i^{\max}}, \quad i = \overline{1, n} \quad (10)$$

где $\hat{y}_i^{\max}$, $\hat{y}_i^{\min}$ – соответственно, наибольшее и наименьшее значение i -го частного критерия, рассчитанные по уравнениям (2) – (4) для области эксперимента (таблица 3).

Таблица 3.

Расчет весовых коэффициентов

Table 3.

Calculation of weight coefficients

Частный критерий оптимизации y_i A particular optimization criterion y_i	Наибольшее значение частного критерия $y_i^{\max}$ Highest value of a particular criterion $y_i^{\max}$	Наименьшее значение частного критерия $y_i^{\min}$ Smallest value of a particular criterion $y_i^{\min}$	Коэффициент относительного разброса δ_i Relative spread coefficient δ_i	Весовой коэффициент α_i Weight factor α_i
y_1	5,65	2,49	0,559	0,316
y_2	6,04	1,17	0,806	0,457
y_2	84,21	50,36	0,399	0,226

Весовые коэффициенты α_i связаны с коэффициентами относительного разброса δ_i соотношением

$$\alpha_i = \frac{\delta_i}{\sum_{i=1}^n \delta_i}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (11)$$

Рассчитанные значения весовых коэффициентов частных критериев оптимизации представлены в таблица 5.

Для приведения частных критериев $\hat{y}_i$ к безразмерному виду $\tilde{y}_i$ использовали соотношение $\tilde{y}_i = \hat{y}_i / y_i^{\max}$, $i = \overline{1, n}$. В результате нормировки уравнения (2)–(4) принимают вид

$$\tilde{y}_1 = 0,702 + 0,0619X_1 - 0,1876X_2 + 0,0088X_1X_2 - 0,0407X_1^2 - 0,0407X_2^2; \quad (12)$$

$$\tilde{y}_2 = 0,345 - 0,1981X_1 + 0,109X_2 - 0,182X_1X_2 + 0,1139X_1^2 + 0,013X_2^2, \quad (13)$$

$$\tilde{y}_3 = 0,7549 + 0,1419X_1 - 0,00783X_2 - 0,0032X_1X_2 + 0,0209X_1^2 - 0,0088X_2^2, \quad (14)$$

Тогда обобщенный критерий оптимизации F по форме (9) определится как взвешенная сумма нормированных частных критериев (12) – (14)

$$F = -0,2074 + 0,103X_1 + 0,007431X_2 + 0,0796X_1X_2 - 0,0344X_1^2 - 0,0208X_2^2. \quad (15)$$

При формировании обобщенного критерия оптимизации F для минимизируемых частных критериев $\hat{y}_i$, $i = 1, 2$, весовые коэффициенты α_i приняты со знаком «–»; для максимизируемого критерия $\hat{y}_i$, $i = 3$, коэффициент α_i принят со знаком «+».

Графический анализ линий равного уровня обобщенного критерия оптимизации (15) показал (рис. 4), что максимум функции F расположен на удалении от области эксперимента, границы которой определяются уравнением

$$X_1^2 + X_2^2 = R^2, \quad (16)$$

что в факторном пространстве представляет собой сферу с центром в центре эксперимента и с радиусом $R = 1,41$ [16].

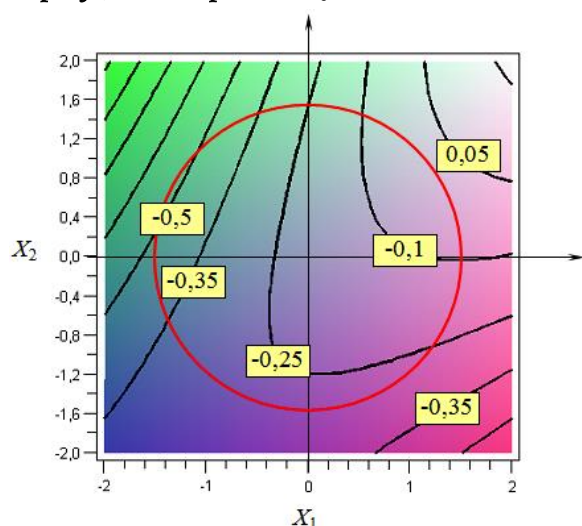


Рисунок 4. Линии равного уровня обобщенного критерия оптимизации F

Figure 4. Lines of equal level of the generalized optimization criterion F

В этой связи, оптимизационная задача сводится к нахождению экстремума обобщенного критерия оптимизации (15) $F \rightarrow \max$ при наличии ограничения (уравнения связи) (16). Для решения поставленной задачи условной оптимизации воспользуемся методом неопределенных множителей Лагранжа [22, 23], который позволяет задачу на условный экстремум свести к безусловной задаче поиска экстремума функции.

Для этого составим вспомогательную функцию Лагранжа F , представляющую собой аддитивную свертку уравнения (15) и уравнения связи (16), умноженного на неопределенный множитель Лагранжа λ

$$F = -0,2074 + 0,103X_1 + 0,007431X_2 + 0,0796X_1X_2 - 0,0344X_1^2 - 0,0208X_2^2 + \lambda(X_1^2 + X_2^2 - R^2). \quad (17)$$

Необходимым условием безусловного экстремума функции Лагранжа является равенство нулю частных производных функции (17) по всем независимым переменным X_1 , X_2 и неопределенному множителю λ

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial X_1} = 0,103 + 0,0796X_2 - 0,0688X_1 + 2\lambda X_1 = 0; \\ \frac{\partial F}{\partial X_2} = 0,007431 + 0,0796X_1 - 0,0216X_2 + 2\lambda X_2 = 0; \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda} = X_1^2 + X_2^2 - R^2 = 0. \end{cases} \quad (18)$$

Решая систему уравнений (18) относительно переменных X_1 , X_2 и множителя Лагранжа λ при $R=1,41$, получаем значения λ^* и координаты стационарных точек факторного пространства X_1^* и X_2^* , в которых достигается условный экстремум обобщенного критерия оптимизации F (15) (таблица 4). Нетрудно убедиться, что координаты каждой экстремальной точки удовлетворяют уравнению связи (16). Там же в таблица 4 представлены значения частных критериев оптимизации $\hat{y}_i^*$, $i=\overline{1,n}$, рассчитанных по уравнениям, соответственно, (2)–(4) в стационарных точках.

Таблица 4.

Результаты оптимизации

Table 4.

Optimization results

Точка Point	X_1^*	X_2^*	λ^*	F^*	$\hat{y}_1^*$, min	$\hat{y}_2^*$, %	$\hat{y}_3^*$, mm
1	-0,23	-1,395	0,016	-0,258	5,81	1,27	60,46
2	0,47	-1,332	0,037	-0,263	5,87	1,62	69,477
3	-1,265	0,629	0,094	-0,459	2,54	1,243	50,956
4	1,148	0,825	-0,039	-0,067	3,398	1,174	78,47

Проверка достаточного условия существования экстремума, показала, что стационарная точка факторного пространства с координатами $X_1^*=1,148$ и $X_2^*=0,825$ является точкой условного максимума обобщенного критерия оптимизации $F^*=-0,067$ (таблица 4).

Переходя от кодированных значений факторов к натуральным с учетом характеристик планирования (таблица 1), получим оптимальные значения массы тестовой заготовки $x_1^*=464,8$ г и мощности СВЧ-выпечки $x_2^*=865,0$ Вт, обеспечивающих максимум обобщенного критерия оптимизации.

Заключение

Определены оптимальные значения основных факторов (массу тестовой заготовки – 465 г., мощность СВЧ-выпечки – 865 Вт), обеспечивающих наименьший упек хлеба – 1,2 % и максимальную высоту хлеба – 78,5 мм при минимальной продолжительности выпечки хлеба – 3,4 мин.

Экспериментальные исследования процесса выпечки сбивного бездрожжевого безкоркового хлеба, проведенные в условиях лаборатории «Региональный научно-исследовательский центр инновационной технологии хлебопечения» на базе хлебозавода № 7 г. Воронежа, подтвердили оптимальность рассчитанных по предложенной методике режимов выпечки.

Литература

- 1 Магомедов Г.О., Хвостов А.А., Журавлев А.А. и др. Формирование структуры мякиша сбивного бездрожжевого хлеба при интенсивной СВЧ-конвективной выпечке // *Техника и технология пищевых производств*. 2022. Т. 52 № 3. С. 426 – 438. doi: 10.21603/2074-9414-2022-3-2375.
- 2 Алехина Н.Н., Пономарева Е.И., Жаркова И.М., Гребенщиков А.В. Оценка функциональных свойств и показателей безопасности зернового хлеба с амарантовой мукой // *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51. № 2. С. 323–332. doi: 10.21603/2074-9414-2021-2-323-332
- 3 Руднев С.Д., Шевченко Т.В., Устинова Ю.В., Крюк Р.В. Технологические особенности и теоретическое обоснование применения механически активированной воды в производстве мучных изделий // *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51. № 4. С. 768–778. doi: 10.21603/2074-9414-2021-4-768-778
- 4 Кулишов Б.А., Новосёлов А.Г., Иващенко С.Ю., Гусаров Н.Е. Применение электроконтактного нагрева в хлебопечении: обзор // *Ползуновский вестник*. 2019. № 1. С. 106-113.
- 5 Магомедов Г.О., Плотнокова И.В., Магомедов М.Г., Чешинский В.Л. Санитарно-технологические мероприятия при производстве хлеба без дрожжей // *Гигиена и санитария*. 2019. № 98(7). С. 775–780. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-7
- 6 Маклюков В.И. Анализ методов моделирования процесса выпечки хлеба // *Хлебопродукты*. 2021. № 7. С. 26–32. doi:10.32462/0235-2508-2021-30-7-26-32
- 7 Purlis E. Modeling convective drying of foods: A multiphase porous media model considering heat of sorption // *Journal of Food Engineering*. 2019. V. 263. P. 132–146. doi: 10.1016/j.jfoodeng. 2019.05.028
- 8 Kutlu N., Pandiselvam R., Saka I., Kamiloglu A. et al. Impact of different microwave treatments on food texture // *Journal of Texture Stud.* 2021. doi: 10.1111/jtxs.12635
- 9 Purlis E. Simple methods to predict the minimum baking time of bread // *Food Control*. 2019. V. 104. P. 217–223. doi: 10.1016/j.foodcont. 2019.04.021
- 10 Bou-Orm R., Jury V., Boillereaux L., Le-Bail A. Microwave baking of bread; a review on the impact of formulation and process on bread quality // *Food Reviews International*. 2021. doi: 10.1080/87559129.2021.1931299
- 11 Purlis E., Cevoli C., Fabbri A. Modeling volume change and deformation in food products/processes: An overview // *Foods*. 2021. V. 10(4). P. 778. doi: 10.3390/foods10040778
- 12 Wang M., Sun M., Zhang Y., Chen Y. et al. Effect of microwave irradiation-retrogradation treatment on the digestive and physicochemical properties of starches with different crystallinity // *Food Chemistry*. 2019. V. 298. P. 125015. doi: 10.1016/j.foodchem. 2019.125015
- 13 Houšová J., Hoke K. Temperature profiles in dough products during microwave heating with susceptors // *Czech J. Food Sci.* 2002. V. 20. № 4. P. 151-160. doi: 10.17221/3526-CJFS
- 14 Bhatt K., Vaidya D., Kaushal M., Gupta A., Soni P. et al. Microwaves and radiowaves: In food processing and preservation // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2020. V. 9. № 9. P. 118–131. doi: 10.20546/ijcmas.2020.909.015
- 15 Guzik P., Kulawik P., Zając M., Migdał W. Microwave applications in the food industry: an overview of recent developments // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021. doi: 10.1080/10408398.2021.1922871
- 16 Thuengtung S., Ogawa Y. Comparative study of conventional steam cooking and microwave cooking on cooked pigmented rice texture and their phenolic antioxidant // *Food Science and Nutrition*. 2020. V. 8. № 2. P. 965–972. doi: 10.1002/fsn3.1377
- 17 Vu K.D., Bazhenova S.I. Modeling the influence of input factors on foam concrete properties // *Magazine of Civil Engineering*. 2021. № 3 (103). P. 10311. doi: 10.34910/MCE.103.11
- 18 Драников А.В., Шевцов А.А., Квасов А.В., Лыткина Л.И. и др. Многофакторный статистический анализ процесса смешивания при получении кормовой добавки на основе свекловичного жома // *Вестник ВГУИТ*. 2020. Т. 82. № 1. С. 27–33. doi: 10.20914/2310-1202-2020-1-27-33
- 19 Garg A., Malafronte J., Windhab E.J. Baking kinetics of laminated dough using convective and microwave heating // *Food and Bioprocess Processing*. 2019. V. 115. P. 59–67. doi: 10.1016/j.fbp.2019.02.007
- 20 Ахметова Ф.Х., Акимова И.Я., Чигирёва О.Ю. Методика приведения уравнений кривых и поверхностей второго порядка к каноническому виду с применением среды MathCAD // *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. 2016. № 11. С. 151–161.
- 21 Коротченко А.Г., Кумагина Е.А., Сморякова В.М. Введение в многокритериальную оптимизацию. Н. Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2017. 55 с.
- 22 Цирлин А.М. Методы оптимизации для инженеров. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2015. 214 с.
- 23 Senkevich S., Bolshev V., Ilchenko E., Chakrabarti P. et al. Elastic Damping Mechanism Optimization by Indefinite Lagrange Multipliers // *IEEE Access*. 2021. V. 9. P. 71784–71804. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3078609

References

- 1 Magomedov G.O., Khvostov A.A., Zhuravlev A.A. et al. Formation of the crumb structure of whipped yeast-free bread during intensive microwave convective baking. *Equipment and technology of food production*. 2022. vol. 52 no. 3. pp. 426 – 438. doi: 10.21603/2074-9414-2022-3-2375 (in Russian).
- 2 Alekhina N.N., Ponomareva E.I., Zharkova I.M., Grebenshchikov A.V. Assessment of functional properties and safety indicators of grain bread with amaranth flour. *Equipment and technology of food production*. 2021. vol. 51. no. 2. pp. 323–332. doi: 10.21603/2074-9414-2021-2-323-332 (in Russian).
- 3 Rudnev S.D., Shevchenko T.V., Ustinova Yu.V., Kryuk R.V. Technological features and theoretical justification for the use of mechanically activated water in the production of flour products. *Equipment and technology of food production*. 2021. vol. 51. no. 4. pp. 768–778. doi: 10.21603/2074-9414-2021-4-768-778 (in Russian).
- 4 Kulishov B.A., Novoselov A.G., Ivashchenko S.Yu., Gusarov N.E. The use of electric contact heating in baking: a review. *Polzunovsky Bulletin*. 2019. no. 1. pp. 106-113. (in Russian).
- 5 Magomedov G.O., Plotnikova I.V., Magomedov M.G., Cheshinsky V.L. Sanitary and technological measures in the production of bread without yeast. *Hygiene and Sanitation*. 2019. no. 98(7). pp. 775–780. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-7 (in Russian).
- 6 Maklyukov V.I. Analysis of methods for modeling the bread baking process. *Bread products*. 2021. no. 7. pp. 26–32. doi:10.32462/0235-2508-2021-30-7-26-32 (in Russian).
- 7 Purlis E. Modeling convective drying of foods: A multiphase porous media model considering heat of sorption. *Journal of Food Engineering*. 2019. vol. 263. pp. 132–146. doi: 10.1016/j.jfoodeng. 2019.05.028
- 8 Kutlu N., Pandiselvam R., Saka I., Kamiloglu A. et al. Impact of different microwave treatments on food texture. *Journal of Texture Stud.* 2021. doi: 10.1111/jtxs.12635
- 9 Purlis E. Simple methods to predict the minimum baking time of bread. *Food Control*. 2019. vol. 104. pp. 217–223. doi: 10.1016/j.foodcont. 2019.04.021
- 10 Bou-Orm R., Jury V., Boillereaux L., Le-Bail A. Microwave baking of bread; a review on the impact of formulation and process on bread quality. *Food Reviews International*. 2021. doi: 10.1080/87559129.2021.1931299
- 11 Purlis E., Cevoli C., Fabbri A. Modeling volume change and deformation in food products/processes: An overview. *Foods*. 2021. vol. 10(4). pp. 778. doi: 10.3390/foods10040778
- 12 Wang M., Sun M., Zhang Y., Chen Y. et al. Effect of microwave irradiation-retrogradation treatment on the digestive and physicochemical properties of starches with different crystallinity. *Food Chemistry*. 2019. vol. 298. pp. 125015. doi: 10.1016/j.foodchem. 2019.125015
- 13 Houšová J., Hoke K. Temperature profiles in dough products during microwave heating with susceptors. *Czech J. Food Sci.* 2002. vol. 20. no. 4. pp. 151-160. doi: 10.17221/3526-CJFS
- 14 Bhatt K., Vaidya D., Kaushal M., Gupta A., Soni P. et al. Microwaves and radiowaves: In food processing and preservation. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2020. vol. 9. no. 9. pp. 118–131. doi: 10.20546/ijcmas.2020.909.015
- 15 Guzik P., Kulawik P., Zajac M., Migdał W. Microwave applications in the food industry: an overview of recent developments. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021. doi: 10.1080/10408398.2021.1922871
- 16 Thuengtung S., Ogawa Y. Comparative study of conventional steam cooking and microwave cooking on cooked pigmented rice texture and their phenolic antioxidant. *Food Science and Nutrition*. 2020. vol. 8. no. 2. pp. 965–972. doi: 10.1002/fsn3.1377
- 17 Vu K.D., Bazhenova S.I. Modeling the influence of input factors on foam concrete properties. *Magazine of Civil Engineering*. 2021. no. 3 (103). pp. 10311. doi: 10.34910/MCE.103.11
- 18 Drannikov A.V., Shevtsov A.A., Kvasov A.V., Lytkina L.I. and others. Multifactor statistical analysis of the mixing process when obtaining a feed additive based on beet pulp. *Proceedings of VSUET*. 2020. vol. 82. no. 1. pp. 27–33. doi: 10.20914/2310-1202-2020-1-27-33 (in Russian).
- 19 Garg A., Malafronte J.L., Windhab E.J. Baking kinetics of laminated dough using convective and microwave heating. *Food and Bioprocess Processing*. 2019. vol. 115. pp. 59–67. doi: 10.1016/j.fbp.2019.02.007
- 20 Akhmetova F.Kh., Akimova I.Ya., Chigireva O.Yu. Methodology for bringing equations of curves and second-order surfaces to canonical form using the MathCAD environment. *Scientific and methodological electronic journal "Concept"*. 2016. no. 11. pp. 151–161. (in Russian).
- 21 Korotchenko A.G., Kumagina E.A., Smoryakova V.M. Introduction to multi-objective optimization. N. Novgorod, Nizhny Novgorod State University, 2017. 55 p. (in Russian).
- 22 Tsirlin A.M. Optimization methods for engineers. M.-Berlin, Direct-Media, 2015. 214 p. (in Russian).
- 23 Senkevich S., Bolshev V., Ilchenko E., Chakrabarti P. et al. Elastic Damping Mechanism Optimization by Indefinite Lagrange Multipliers. *IEEE Access*. 2021. vol. 9. pp. 71784–71804. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3078609

Сведения об авторах

Алексей С. Таратухин аспирант, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, alexey4life@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-9880-9726>

Information about authors

Aleksei S. Taratukhin graduate student, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, alexey4life@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-9880-9726>

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

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

Анатолий А. Хвостов д.т.н., профессор, кафедра прикладной математики и механики, Воронежский государственный технический университет, Московский проспект, 14, г. Воронеж, 394026, Россия, khvtol1974@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3836-9407>

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

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

Алексей А. Журавлев к.т.н., доцент, кафедра математики, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54 А, г. Воронеж, 394064, Россия, zhuraa1@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2194-767X>

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

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

Вклад авторов

Алексей С. Таратухин провёл эксперимент, выполнил расчёты, написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Газибег О. Магомедов консультировал в ходе исследования

Анатолий А. Хвостов консультировал в ходе исследования

Магомед Г. Магомедов написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Алексей А. Журавлев предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания

Инесса В. Плотникова провела обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

Anatolii A. Khvostov Dr. Sci. (Engin.), professor, applied mathematics and mechanics department, Voronezh state technical University, Moskovsky Ave., 14 Voronezh, 394026, Russia, khvtol1974@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3836-9407>

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

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

Aleksei A. Zhuravlev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Mathematics department, Air Force Academy ft. Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin, Starykh Bol'shevikov Str., 54A Voronezh, 394064, Russia, zhuraa1@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2194-767X>

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

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

Contribution

Aleksei S. Taratukhin conducted an experiment, performed computations, wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Gazibeg O. Magomedov advised during the study

Anatolii A. Khvostov advised during the study

Magomed G. Magomedov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Aleksei A. Zhuravlev proposed a methodology for conducting the experiment and organized production tests

Inessa V. Plotnikova conducted a review of the literature sources on the problem under study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 10/07/2023	После редакции 03/08/2023	Принята в печать 01/09/2023
Received 10/07/2023	Accepted in revised 03/08/2023	Accepted 01/09/2023

Исследование технологических процессов извлечения экстрактивных веществ из осмо-обезвоженной ягодной продукции

Наталья А. Грибова¹ natali-g@bk.ru  0000-0002-8440-5325

¹ Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, г. Москва, 117997, Россия

Аннотация. Процесс экстрагирования из растительного сырья является важным технологическим решением в пищевой промышленности для получения экстрактивных веществ, которые обладают минеральными веществами, органическими кислотами, фенольными веществами, пектинами, сахарами и витаминами. На процесс экстрагирования влияют основные факторы – размер растительного сырья, его продолжительность и температурные режимы. Сегментирование имеет значимое значение для экстрагирования. Правильный выбор размера позволяет лучше сохранить клеточную структуру ягод, диффузионные процессы протекают оптимально эффективно, экстрагирование замедляется, и полученная вытяжка содержит меньше механических примесей и легче очищается. Традиционным способом для экстрагирования растительного сырья являются водно-спиртовые растворы, но извлечение водорастворимых веществ происходит частично, а как известно в ягодном сырье преимущественно преобладают витамины, сахара, фенольные вещества. Наиболее доступным и экономичным средством для экстрагирования является вода. При экстрагировании водой в конечном продукте присутствуют водорастворимые вещества, и нет жирорастворимых. Экстрагирование осмодушеных ягод проводилось водным раствором при разных температурных режимах с диапазонами 30–40 °С, 50–60 °С и 70–80 °С. Для определения продолжительности экстрагирования осмодушеных ягод руководствовались выходом сухих веществ. Установлено, что наибольший выход сухих веществ из земляники (10,17%), малины (8,74%) и черной смородины (11,43%) наблюдается при температуре экстрагирования 50–60 °С и 70–80 °С с продолжительностью 8 – 12 часов. Время экстрагирования описывается полиномиальными уравнениями регрессии 2-ой степени. Выявлено, что наибольшее содержание витамина С отмечается при температуре с диапазоном 50–60 °С экстрагирования 36,7 мг/100 г экстракта, а при температуре с диапазоном 60–70 °С содержание аскорбиновой кислоты уменьшилось на 40%.

Ключевые слова: экстрагирование, осмотически обезвоженная, земляника садовая, малина, черная смородина, температурный режим.

Study of technological processes of extractive substances extraction from osmo-dehydrated berry products

Natalya A. Gribova¹ natali-g@bk.ru  0000-0002-8440-5325

¹ Plekhanov Russian Economic University, Stremyanniy lane, 36, Moscow, 117997, Russia

Abstract. The process of extraction from vegetable raw materials is an important technological solution in the food industry for obtaining extractive substances that contain minerals, organic acids, phenolic substances, pectin's, sugars and vitamins. The extraction process is influenced by the main factors - the size of the plant material, its duration and temperature conditions. Segmentation is essential for extraction. The correct choice of size allows you to better preserve the cellular structure of the berries, the diffusion processes proceed optimally efficiently, the extraction slows down, and the resulting extract contains less mechanical impurities and is easier to clean. The traditional method for extracting vegetable raw materials is water-alcohol solutions, but the extraction of water-soluble substances occurs partially, and as is known, vitamins, sugars, and phenolic substances predominate in berry raw materials. The most accessible and economical means for extraction is water. When extracted with water, the final product contains water-soluble substances and no fat-soluble substances. Extraction of osmo-dried berries was carried out with an aqueous solution at different temperature conditions with ranges of 30–40 °C, 50–60 °C and 70–80 °C. To determine the duration of extraction of osmo-dried berries, the yield of dry matter was used. It has been established that the highest yield of dry matter from osmo-dried strawberries (10,17 %), raspberries (8,74 %) and black currants (11,43 %) is observed at an extraction temperature of 50–60 °C and 70–80 °C. With a duration of 8 – 12 hours. The extraction time is described by polynomial regression equations of the 2nd degree. It was revealed that the highest content of vitamin C is observed at a temperature in the range of 50–60 °C, extraction of 36,7 mg/100 g of extract, and at a temperature in the range of 60–70 °C, the content of ascorbic acid decreased by 40 %.

Keywords: extraction, osmotically dehydrated, garden strawberry, raspberry, black currant, temperature regime.

Введение

Продукты переработки, а именно растительное сырье является ценным источником органических веществ и в медицине используется в лечебно-профилактических целях [1]. К таким продуктам переработки относятся и осмотически обезвоженные ягоды, которые обладают витаминами, минеральными и биологически активными веществами [2, 3].

В процессе длительного хранения качественные показатели продуктов переработки

плодово-ягодного сырья существенно видоизменяются, поэтому в технологии пищевых производств используют вытяжки (экстракты) [4, 5].

Процесс экстракции представляет собой избирательное извлечение отдельных компонентов из сложного по составу сырья при помощи растворителя (экстрагента), обладающего избирательной растворимостью. Экстрагирование в системе «твердое тело – жидкость» – один из важнейших технологических процессов, нашедших широкое распространение в пищевой промышленности [1, 7, 8].

Для цитирования

Грибова Н.А. Исследование технологических процессов извлечения экстрактивных веществ из осмо-обезвоженной ягодной продукции // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 153–157. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-153-157

For citation

Gribova N.A. Study of technological processes of extractive substances extraction from osmo-dehydrated berry products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 153–157. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-153-157

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

Чехани Н.Р. и др. утверждают, что в последние годы в подходах к созданию новых препаратов из растительного сырья, наметились тенденции к разработке ресурсосберегающих технологий, что обеспечивается применением различных экстрагентов, схем и режимов экстракции, использованием аппаратуры, позволяющей в значительной степени увеличить выход экстрактивных и действующих веществ [9].

Содержание экстрактивных веществ является одной из важных характеристик, которая дает возможность установить качество экстракта, получаемого из растительного сырья. Известно, что процесс извлечения экстрактивных веществ зависит от ряда факторов, таких как размер сырья, продолжительность экстракции и температура [1, 10, 11].

Сегментирование имеет значимое значение для экстрагирования. Как показывают литературные исследования правильный выбор размера позволяет лучше сохранить клеточную структуру ягод, диффузионные процессы протекают оптимально эффективно, экстрагирование замедляется, и полученная вытяжка содержит меньше механических примесей и легче очищается.

Известно, что чрезмерное измельчение сырья (0,1 см) приводит к слеживанию из чего следует, что экстрагент (растворитель) через такую массу будет проходить очень плохо. Слишком мелкое измельчение фракции резко увеличивает количество разорванных клеток, что приводит к вымыванию сопутствующих веществ, загрязняющих вытяжку (белки, пектины, полимеры и др.), в экстрагент переходит большое количество взвешенных частиц [12–17]. В результате вытяжки получаются мутные, трудно-осветляемые [12, 18–21] и фильтруемые, а при более крупном измельчении (свыше 1 см) переход биологически активных веществ – антиоксидантов будет недостаточным.

Традиционным способом для экстрагирования растительного сырья являются водно-спиртовые растворы, но извлечение водорастворимых

веществ происходит частично, а как известно в ягодном сырье преимущественно преобладают витамины, сахара, фенольные вещества.

Наиболее доступным и экономичным средством для экстрагирования является вода. При экстрагировании водой в конечном продукте присутствуют водорастворимые вещества, и нет жирорастворимых. Поэтому в качестве экстрагента использовали питьевую воду соответствующая требованиям ТР ЕАЭС 044/2017.

На первом этапе производили экстрагирование осмо-сушеных ягод земляники, малины, черной смородины водным раствором при разных температурных режимах с диапазонами от 30 °C до 40 °C, от 50 °C до 60 °C и от 70 °C до 80 °C. Известно, что при высокой температуре (более 80 °C) ускоряется процесс экстрагирования, но такая температура отрицательно влияет на ценные вещества экстракта. Поэтому, основным критерием при определении оптимального времени экстрагирования является сохранение аскорбиновой кислоты.

Осмо-сушеные ягоды заливали водным раствором в соотношении 1 : 5, настаивали в течение 12 часов, периодически перемешивали. После экстрагирования отделяли жидкую фазу (настой) от ягод и определяли выход экстракта.

Для определения продолжительности экстрагирования осмо-сушеных ягод руководствовались выходом сухих веществ из переработанной продукции. Измерения проводили рефрактометрическим методом через каждые два часа. Оптимальное время экстрагирования определяли по максимальному выходу сухих веществ (рисунок 1).

Как видно из полученных данных, наибольший выход сухих веществ в процессе экстрагирования из ягод (9,74-12,45%) наблюдается при температуре 70-80 °C, продолжительность составляет в 1,3-1,6 раза меньше, чем при меньших температурных режимах.

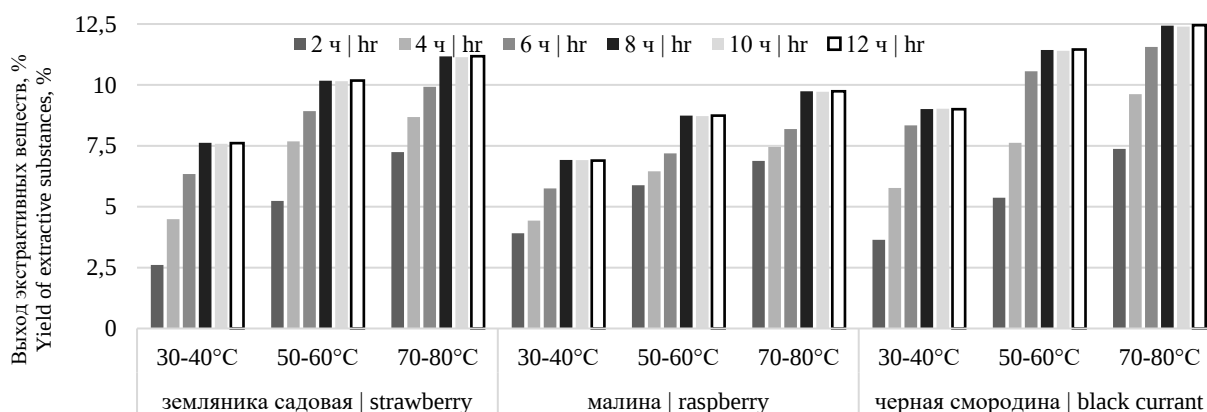


Рисунок 1. Влияние продолжительности экстрагирования ягод на выход экстрактивных веществ

Figure 1. The effect of the duration of extraction of berries on the yield of extractive substances

Время экстрагирования описывается полиномиальными уравнениями регрессии 2-ой степени:

– для земляники садовой (рисунок 2):
при температуре 30–40 °C $y_3 = -0,3002x^2 + 3,117x + 0,315$ ($R^2 = 0,992$)

при температуре 50–60 °C $y_2 = -0,3054x^2 + 3,0915x + 2,536$ ($R^2 = 0,99332$)

при температуре 70–80 °C $y_1 = -0,2161x^2 + 2,3236x + 5,056$ ($R^2 = 0,98911$)

– для малины (рисунок 3):

при температуре 30–40 °C $y_3 = -0,1436x^2 + 1,6784x + 2,108$ ($R^2 = 0,9493$)

при температуре 50–60 °C $y_2 = -0,1034x^2 + 1,3712x + 4,389$ ($R^2 = 0,9318$)

при температуре 70–80 °C $y_1 = -0,1034x^2 + 1,3712x + 5,389$ ($R^2 = 0,9318$)

– для черной смородины (рисунок 4):

при температуре 30–40 °C $y_3 = -0,375x^2 + 3,6893x + 0,24$ ($R^2 = 0,9847$)

при температуре 50–60 °C $y_2 = -0,4087x^2 + 4,0795x + 1,561$ ($R^2 = 0,9829$)

при температуре 70–80 °C $y_1 = -0,3373x^2 + 3,351x + 4,361$ ($R^2 = 0,9937$)

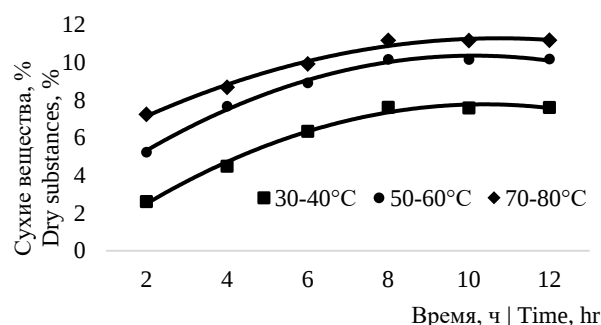


Рисунок 2. Прирост сухих веществ в землянике садовой в процессе экстрагирования, %

Figure 2. The increase in dry matter in strawberries in the process of extraction, %

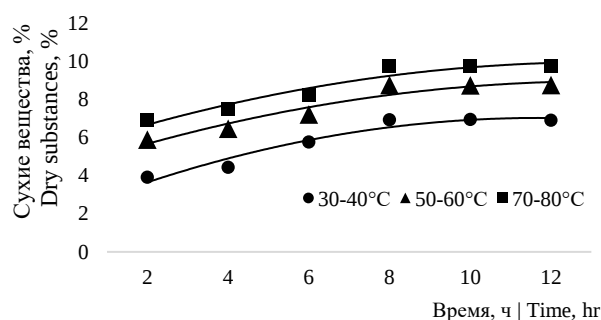


Рисунок 3. Прирост сухих веществ в малине в процессе экстрагирования, %

Figure 3. The increase in solids in raspberries during the extraction process, %

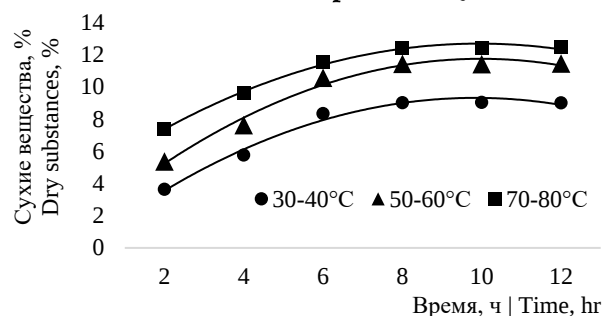


Рисунок 4. Прирост сухих веществ в черной смородине в процессе экстрагирования, %

Figure 4. The increase in solids in blackcurrant during the extraction process, %

На рисунке 5 представлены данные по изменению содержанию витамина С в зависимости от температуры экстрагирования.

Исследования показали, что экстрагирование при температуре 50–60 °C отмечается наибольшее содержание витамина С от 25,9 до 90,2 мг/100 г экстракта. При температуре от 60 до 70 °C содержание аскорбиновой кислоты уменьшилось на 26,1 и 47,5%. Это можно объяснить тем, что при высокой температуре происходят значительные потери аскорбиновой кислоты и использовать данный параметр температурного режима не рекомендуется, несмотря на выявленный значительный выход сухих веществ при экстрагировании.

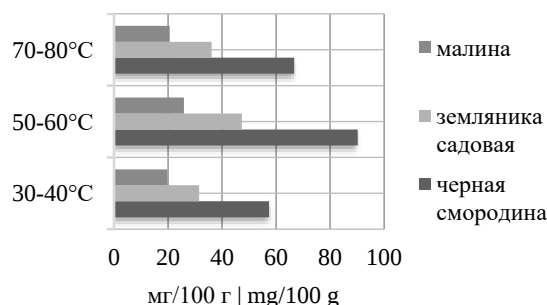


Рисунок 5. Содержание витамина С в зависимости от температурного режима экстрагирования осмодушенных ягод

Figure 5. Vitamin C content depending on the temperature regime of extraction of osmo-dried berries

Заключение

Установлено, что оптимальное время экстрагирования по выходу сухих веществ (от 20,82 до 25,07%) осмодушенных ягод при температуре от 50 до 60 °C и высокое сохранение витамина С до 20,8 и 36,4% составило 8 часов. Полученный температурный режим для процесса экстрагирования явился наиболее щадящим, способствует сохранению термостабильных соединений, которые подвержены быстрому разрушению при более высоких температурах.

Литература

- 1 Mironova E., Romanenko E., Sycheva O., Selivanova M. et al. Optimal parameters and modes of extraction of biologically active substances from natural fruit and berry raw materials // E3S Web of Conferences. 2020. V. 203. № 3. P. 04009. doi: 10.1051/e3sconf/202020304009
- 2 Грибова Н.А., Беркетова Л.В. Осмотическая дегидратация ягод: изучение параметров массопереноса // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 30–37. doi: 10.20914/2310-1202-2018-2-30-37
- 3 Gribova N.A., Eliseeva L.G., Berketova L.V., Evdokimova O.V. et al. Formation and development of consumer properties of berry products with added nutrition value // International Journal of Advanced Science and Technology this link is disabled. 2020. V. 29. № 3. P. 3782–3791.
- 4 Бакин И.А., Мустафина А.С., Алексенко Л.А., Лунин П.Н. Исследование технологических процессов получения экстрактов ягод черной смородины // Вестник КрасГАУ. 2014. № 12. С. 227–230.
- 5 Rybicka I., Kiewlicz J., Kowalczewski P.Ł. et al. Selected dried fruits as a source of nutrients // European Food Research and Technology. 2021. V. 247. P. 2409–2419. doi: 10.1007/s00217-021-03802-1
- 6 Халитова Э.Ш., Манеева Э.Ш., Быков А.В., Крахмалева Т.М., Берестова А.В. Исследование процесса извлечения экстрактивных веществ из растительного сырья // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием). Оренбург, 2015. С. 1021–1025.
- 7 Rodino S., Butu M., Herbal Extracts – New Trends in Functional and Medicinal Beverages // Functional and Medicinal Beverages. 2019. V. 11. P. 73–108. doi: 10.1016/B978-0-12-816397-9.00003-0
- 8 Mantzourania I., Terpoub A., Bekatoroub A., Mallouchosc A. et al. Functional pomegranate beverage production by fermentation with a novel synbiotic *L. paracasei* biocatalyst // Food Chemistry. 2020. V. 308. P. 125658. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125658
- 9 Чехани Н.Р., Павлова Л.А., Павлов В.М. Разработка технологии получения сухого экстракта из сбора растительного сырья методом водной экстракции // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 1–9.
- 10 Ооржак У.С., Ушанова В.М., Репях С.М. Исследование влияния технологических факторов на процесс извлечения экстрактивных веществ из лиственной губки // Химия растительного сырья. 2003. № 1. С. 69–72.
- 11 Kharshiing E.V. Aqueous Extracts of Dried Fruits of *Zanthoxylum armatum* DC., (Rutaceae) Induce Cellular and Nuclear Damage Coupled with Inhibition of Mitotic Activity *in Vivo* // AJPS. 2012. V. 3(11). P. 1646–1653.
- 12 Кравченко С.Н. Совершенствование технологических потоков производства быстрорастворимых гранулированных напитков // Техника и технология пищевых производств. 2016. Т. 43. № 4. С. 123–128.
- 13 Милевская В.В., Бутыльская Т.С., Темердашев З.А., Статкус М.А. и др. Кинетика извлечения биологически активных веществ из лекарственного растительного сырья различными способами экстракции // Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. 2017. Т. 58(6). С. 281–289.
- 14 Судакова Н.В., Кокоева В.С., Оботурова Н.П. Использование ультразвука при получении экстрактов и настоев из растительного сырья // Современные научные исследования и инновации. 2013. № 2. С. 11. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2013/02/21843>
- 15 Федотова О.С., Копысова Т.С. Разработка технологии извлечения экстрактивных веществ из растительного сырья с применением электротехнологий // Материалы VI Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». URL: [href=https://scienceforum.ru/2014/article/2014005457](https://scienceforum.ru/2014/article/2014005457)
- 16 Саламатин А.А., Хазиев Р.Ш., Макарова А.С., Иванова С.А. Кинетика экстракции биологически активных веществ из растительного сырья кипящим растворителем теоретические основы химической технологии // Теоретические основы химической технологии. 2015. Т. 49(2). С. 206–213.
- 17 Bucic-Kojic A., Sovova H., Planinic M., Tomas S. Tem – perature-dependent kinetics of grape seed phenolic compounds extraction: Experiment and model // Food Chem. 2013. V. 136. № 3–4. P. 1136–1140.
- 18 Жамсаранова С.Д., Замбулаева Н.Д. Анализ и оптимизация технологического процесса извлечения фенольных соединений из выжимок ягод дикоросов // Вестник ВСГУТУ. 2015. № 4. С. 61–66.
- 19 Овсянникова Е.А., Киселева Т.Ф., Потапов А.Н., Дюжев А.В. Исследование процесса экстрагирования дикорастущих ягод Сибири с использованием биокаталитических методов // Техника и технология пищевых производств. 2012. № 4(27). С. 110–114.
- 20 Оробинская В.Н., Коновалов Д.А. Ресурсосберегающая технология экстрагирования биологически ценных веществ из плодово-ягодного сырья // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2013. Т. 3. С. 1811–1815.
- 21 Шарилов А.Ю., Степанов В.И., Иванов В.В., Поливановская Д.В. и др. Экструдирование смесей пшеницы и выжимок моркови повышенной влажности в технологии продуктов, готовых к употреблению // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 3. С. 43–49. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-43-49

References

- 1 Mironova E., Romanenko E., Sycheva O., Selivanova M. et al. Optimal parameters and modes of extraction of biologically active substances from natural fruit and berry raw materials. E3S Web of Conferences. 2020. vol. 203. no. 3. pp. 04009. doi: 10.1051/e3sconf/202020304009
- 2 Gribova N.A., Berketova L.V. Osmotic dehydration of berries: study of mass transfer parameters. Proceedings of VSUET. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 30–37. doi: 10.20914/2310-1202-2018-2-30-37 (in Russian).
- 3 Gribova N.A., Eliseeva L.G., Berketova L.V., Evdokimova O.V. et al. Formation and development of consumer properties of berry products with added nutrition value. International Journal of Advanced Science and Technology this link is disabled. 2020. vol. 29. no. 3. pp. 3782–3791.

- 4 Bakin I.A., Mustafina A.S., Aleksenko L.A., Lunin P.N. Study of technological processes for obtaining extracts of black currant berries. Bulletin of KrasGAU. 2014. no. 12. pp. 227–230. (in Russian).
- 5 Rybicka I., Kiewlicz J., Kowalczewski P.L. et al. Selected dried fruits as a source of nutrients. European Food Research and Technology. 2021. vol. 247. pp. 2409–2419. doi: 10.1007/s00217-021-03802-1
- 6 Khalitova E.Sh., Maneeva E.Sh., Bykov A.V., Krakhmaleva T.M., Berestova A.V. Study of the process of extracting extractive substances from plant materials. University complex as a regional center of education, science and culture: materials of the All-Russian scientific and methodological conference (with international participation). Orenburg, 2015. pp. 1021–1025. (in Russian).
- 7 Rodino S., Butu M., Herbal Extracts – New Trends in Functional and Medicinal Beverages. Functional and Medicinal Beverages. 2019. vol. 11. pp. 73–108. doi: 10.1016/B978-0-12-816397-9.00003-0
- 8 Mantzourania I., Terpoub A., Bekatoroub A., Mallouchosc A. et al. Functional pomegranate beverage production by fermentation with a novel synbiotic *L. paracasei* biocatalyst. Food Chemistry. 2020. vol. 308. pp. 125658. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125658
- 9 Chekhani N.R., Pavlova L.A., Pavlov V.M. Development of technology for obtaining a dry extract from the collection of plant raw materials using the method of water extraction. Modern problems of science and education. 2014. no. 5. pp. 1–9. (in Russian).
- 10 Oorzhak U.S., Ushanova V.M., Repyakh S.M. Study of the influence of technological factors on the process of extracting extractive substances from deciduous sponge. Chemistry of plant raw materials. 2003. no. 1. pp. 69–72. (in Russian).
- 11 Kharshiing E.V. Aqueous Extracts of Dried Fruits of *Zanthoxylum armatum* DC., (Rutaceae) Induce Cellular and Nuclear Damage Coupled with Inhibition of Mitotic Activity in Vivo. AJPS. 2012. vol. 3(11). pp. 1646–1653.
- 12 Kravchenko S.N. Improving technological flows for the production of instant granulated drinks. Equipment and technology of food production. 2016. vol. 43. no. 4. pp. 123–128. (in Russian).
- 13 Milevskaya V.V., Butylskaya T.S., Temerdashev Z.A., Statkus M.A. and others. Kinetics of extraction of biologically active substances from medicinal plant raw materials by various extraction methods. Bulletin of Moscow University. Series 2. Chemistry. 2017. vol. 58(6). pp. 281–289. (in Russian).
- 14 Sudakova N.V., Kokoeva V.S., Oboturova N.P. The use of ultrasound in obtaining extracts and infusions from plant materials. Modern scientific research and innovation. 2013. no. 2. pp. 11. Available at: <https://web.snauka.ru/issues/2013/02/21843> (in Russian).
- 15 Fedotova O.S., Kopysova T.S. Development of technology for extracting extractive substances from plant raw materials using electrotechnologies. Materials of the VI International Student Scientific Conference “Student Scientific Forum”. Available at: [href=https://scienceforum.ru/2014/article/2014005457](https://scienceforum.ru/2014/article/2014005457) (in Russian).
- 16 Salamatina A.A., Khaziev R.Sh., Makarova A.S., Ivanova S.A. Kinetics of extraction of biologically active substances from plant raw materials with a boiling solvent. Theoretical foundations of chemical technology. Theoretical foundations of chemical technology. 2015. vol. 49(2). pp. 206–213. (in Russian).
- 17 Bucic-Kojic A., Sovova H., Planinic M., Tomas S. Temperature dependent kinetics of grape seed phenolic compounds extraction: Experiment and model. Food Chem. 2013. vol. 136. no. 3–4. pp. 1136–1140.
- 18 Zhamsaranova S.D., Zambulaeva N.D. Analysis and optimization of the technological process for extracting phenolic compounds from wild plant berry marc. Vestnik VSGUTU. 2015. no. 4. pp. 61–66. (in Russian).
- 19 Ovsyannikova E.A., Kiseleva T.F., Potapov A.N., Dyuzhev A.V. Study of the process of extraction of wild berries of Siberia using biocatalytic methods. Equipment and technology of food production. 2012. no. 4(27). pp. 110–114. (in Russian).
- 20 Orobinskaya V.N., Konovalov D.A. Resource-saving technology for extracting biologically valuable substances from fruit and berry raw materials. Scientific and methodological electronic journal “Concept”. 2013. vol. 3. pp. 1811–1815. (in Russian).
- 21 Sharikov A.Yu., Stepanov V.I., Ivanov V.V., Polivanovskaya D.V. and others. Extrusion of mixtures of wheat and carrot pomace of high humidity in the technology of ready-to-eat products. Proceedings of VSUET. 2018. vol. 80. no. 3. pp. 43–49. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-43-49 (in Russian).

Сведения об авторах

Наталья А. Грибова к.т.н., доцент, кафедра пищевых технологий и биоинженерии, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, г. Москва, 117997, Россия, natali-g@bk.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-8440-5325>

Вклад авторов

Наталья А. Грибова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Natalya A. Gribova Cand. Sci. (Engin.), food technology and engineering department, Plekhanov Russian Economic University, Stremyanniy lane, 36, Moscow, 117997, Russia, natali-g@bk.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-8440-5325>

Contribution

Natalya A. Gribova 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 10/07/2023	После редакции 03/08/2023	Принята в печать 01/09/2023
Received 10/07/2023	Accepted in revised 03/08/2023	Accepted 01/09/2023

Получение пектина из столовой свёклы как сырья для продуктов функционального назначения

Наталья А. Матвиенко	¹	natali25_81@mail.ru	 0000-0003-4777-003X
Лариса Н. Фролова	¹	fln-84@mail.ru	 0000-0002-6505-4136
Светлана Ф. Яковлева	¹	svetlana.yakovleva.68@mail.ru	 0000-0003-3686-9966
Екатерина А. Мотина	¹	emotina18@mail.ru	 0000-0002-3433-2754
Татьяна С. Ковалева	¹	tanyakova2501@gmail.com	 0000-0002-3531-3811
Алексей Н. Яковлев	¹	vip.alex2702@mail.ru	 0000-0002-3246-6628

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

Аннотация. В условиях ухудшающейся экологической обстановки, радиоактивного загрязнения в организм человека могут поступать вместе с пищей радионуклиды – продукты радиоактивного распада, которые в свою очередь могут распадаться с испусканием ионизирующих излучений. Этому же подвержены люди, работающие с радиоактивными веществами или находящиеся под воздействием ионизирующих облучений. В мире ведется интенсивный поиск эффективных экологически безопасных способов производства новых видов продуктов питания защитного, оздоровительного, лечебно-профилактического назначения. Продукты функционального назначения очень популярны в последнее время, так как люди стали обращать больше внимания на свое здоровье и хотят включать полезные элементы в свой рацион питания. Одним из компонентов, которые могут быть использованы для создания продуктов, является пектин столовой свёклы. Пектин – это вещество, которое можно найти во многих фруктах и овощах. Он используется в продуктах питания в качестве загустителя и стабилизатора. Пектин обладает уникальными свойствами, благодаря которым привлекает внимание производителей продуктов. Он способен связывать воду и твердые частицы, придавая различным продуктам определенную консистенцию. Кроме того, пектин также обладает целым рядом полезных свойств для здоровья. В данной статье мы рассмотрим получение пектина из столовой свёклы на ЭХА растворе как ценного ингредиента для создания функциональных продуктов и улучшения их характеристик.

Ключевые слова: пектин, столовая свёкла, ЭХА растворы, продукты функционального назначения, пектиновые вещества.

Obtaining pectin from table beets as a raw material for functional products

Natalia A. Matvienko	¹	natali25_81@mail.ru	 0000-0003-4777-003X
Larisa N. Frolova	¹	fln-84@mail.ru	 0000-0002-6505-4136
Svetlana F. Yakovleva	¹	svetlana.yakovleva.68@mail.ru	 0000-0003-3686-9966
Ekaterina A. Motina	¹	emotina18@mail.ru	 0000-0002-3433-2754
Tatiana S. Kovaleva	¹	tanyakova2501@gmail.com	 0000-0002-3531-3811
Alexey N. Yakovlev	¹	vip.alex2702@mail.ru	 0000-0002-3246-6628

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

Abstract. Annotation. In conditions of deteriorating environmental conditions, radioactive contamination in the human body can enter with food radionuclides - products of radioactive decay, which in turn can decay with the emission of ionizing radiation. People who work with radioactive substances or are exposed to ionizing radiation are also susceptible. In the world there is an intensive search for effective environmentally safe methods of production of new types of food products of protective, health-improving, therapeutic and preventive purpose. Products of functional purpose are very popular recently, as people have started to pay more attention to their health and want to include useful elements in their diet. One of the components that can be used to create products is table beet pectin. Pectin is a substance that can be found in many fruits and vegetables. It is used in foods as a thickener and stabilizer. Pectin has unique properties that make it attract the attention of food manufacturers. It is able to bind water and solids, giving various products a certain consistency. In addition, pectin also has a number of health benefits. In this article, we will discuss the extraction of pectin from table beets by ECA solution as a valuable ingredient for creating functional products and improving their characteristics.

Keywords: pectin, table beets, ECA solutions, functional products, pectic substances.

Для цитирования

Матвиенко Н.А., Фролова Л.Н., Яковлева С.Ф., Мотина Е.А., Ковалева Т.С., Яковлев А.Н. Получение пектина из столовой свёклы как сырья для продуктов функционального назначения // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 158–164. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-158-164

For citation

Matvienko N.A., Frolova L.N., Yakovleva S.F., Motina E.A., Kovaleva T.S., Yakovlev A.N. Obtaining pectin from table beets as a raw material for functional products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 158–164. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-158-164

Введение

Задача обеспечения населения страны необходимым количеством биологически полноценных продуктов питания для массового потребления является одной из первоочередных в развитии пищевых отраслей АПК.

Пектиновые вещества связывают нитраты, радиоактивные и токсичные металлы в нерастворимые, безвредные комплексы, которые не всасываются и выводятся из организма. Таким образом, пектин обладает способностью очищать организм от вредных веществ, не нарушая при этом бактериологический баланс организма. Кроме того, пектиновые вещества обладают антимикробными, противовоспалительными, обволакивающими и защитными свойствами. Пектины способны проявлять лечебные и профилактические свойства при ряде заболеваний, не уступая по эффективности некоторым лекарственным препаратам.

Комплексообразующие свойства пектинов выдвигают их на роль важнейшего профилактического средства при угрозах интоксикации, загрязнения территорий или повышенной радиации. По рекомендации ВОЗ, пектины должны дополнительно применяться, как профилактическое средство в экологически загрязненных территориях.

Комплексообразующие свойства пектинов из свёклы рассматриваются в контексте их применения в пищевых продуктах. В качестве загустителей и стабилизаторов пектин из свёклы может быть использован для приготовления джемов, повидел, конфет, пирогов и других продуктов. Например, пектин из свёклы может использоваться в качестве стабилизатора при производстве масляных эмульсий, таких как майонез и салатный соус.

Кроме того, пектин из свёклы может использоваться в качестве функциональных ингредиентов для улучшения характеристик продуктов, таких как текстура и вязкость. Например, при добавлении пектина из свёклы в качестве загустителя к молочным продуктам, таким как йогурт, можно повысить вязкость и улучшить текстуру продукта.

Учитывая большую значимость пектина для пищевой, фармацевтической и медицинской промышленности, с целью снижения зависимости экономики России от импортных поставок и внедрения инновационных технологий проблема производства пектина приобретает чрезвычайную актуальность. Продолжительная ориентация на импортные поставки пектина негативно повлияла на развитие его производства в России. Одной из главных причин, тормозящих развитие производства пектина, является отсутствие экологически безопасной технологии комплексной переработки вторичных

сырьевых ресурсов. Традиционная технология получения пектина обладает рядом существенных недостатков:

- применение в больших объемах химически агрессивных сред, требующее их экологической регенерации и обуславливающее высокие требования к коррозионной стойкости основного технологического оборудования;
- необходимость использования токсичных, взрывоопасных и легковоспламеняющихся реагентов;
- длительность, многостадийность и трудоемкость технологического процесса;
- высокая себестоимость целевого продукта;
- «жесткие» условия гидролиза-экстрагирования, приводящие к деструкции молекул пектина и снижению его качества.

Значительная потребность в пектиновых веществах определяет целесообразность изучения их различных источников. Большой интерес с точки зрения сырья для получения пектина представляет столовая свекла. Эта сельскохозяйственная культура отличается высокой урожайностью, способностью к длительному хранению, высоким содержанием пектиновых веществ. В качестве сырья для получения пектина использовали отжимы столовой свеклы, полученные после извлечения из корнеплодов сока.

Извлечение пектиновых веществ из растительного сырья производят в процессе гидролиза-экстрагирования. Режим проведения этой стадии во многом определяет выход готового продукта и его показатели качества. Исследования были направлены на изучение влияния параметров проведения процесса гидролиза-экстрагирования пектиновых веществ из столовой свеклы на их выход с использованием в качестве гидролизующего агента электрохимически активированного (ЭХА) раствора. Эффективность и преимущества использования ЭХА растворов в сравнении с классическими аналогами обоснованы и доказаны рядом авторов [1, 2].

Материалы и методы

Пектиновые вещества в клеточных стенках растений связываются межмолекулярными и водородными связями через гидроксильные и карбоксильные группы, посредством мостиков из поливалентных металлов и эфирными связями. Цепочки пектиновых веществ связываются с нейтральными полисахаридами клеточной стенки или же между собой, образуя сетчатую структуру. Чтобы выделить пектин, необходимо разрушить эти связи в таких условиях, которые не привели бы к понижению молекулярной массы макромолекулы. При температурах выше 50 °C и понижении pH от 2,5 до 1,0 происходит значительный гидролиз гликозидных

связей, что приводит к разрыву полигалактуроновой цепочки и отщеплению боковых цепей арабинов и галактанов, то есть происходит резкое уменьшение молекулярного веса пектина, а это влечет за собой снижение желирующей способности. С целью получения высокого выхода пектиновых веществ при максимальном сохранении их качества и дополнительного извлечения пищевых волокон процесс гидролиза-экстрагирования проводили с использованием ЭХА воды, как более мягкого и эффективного гидролизующего агента.

В процессе исследований определяли оптимальные режимы проведения гидролиза-экстрагирования, при этом варьировали основные факторы, влияющие на процесс: температуру (40–90 °С), pH ЭХА раствора (2,0–5,0), продолжительность (30–120 минут), гидромодуль (1:3–1:6). В качестве контрольных использовали образцы, получаемые при тех же параметрах с применением раствора соляной кислоты.

Результаты и обсуждение

Результаты эксперимента приведены на рисунках 1–2 и в таблице 1.

Как видно из экспериментальных данных при увеличении pH от 2,0 до 3,5 выход пектина повышается до максимального значения при pH 3,5 и составляет 9,64% к массе воздушно сухого жома при использовании ЭХА воды и 6,56% при использовании воды с HCl. Причем, наиболее заметно выход повышается в интервале pH 2,0–3,0. Следовательно, проведение процесса при pH менее 3,0 приводит к деполимеризации пектиновой молекулы, которая ведет к разрыву полигалактуроновой цепи на более короткие участки вплоть до разрыва на отдельные звенья и получения молекулярно-растворимой моногалактуроновой кислоты

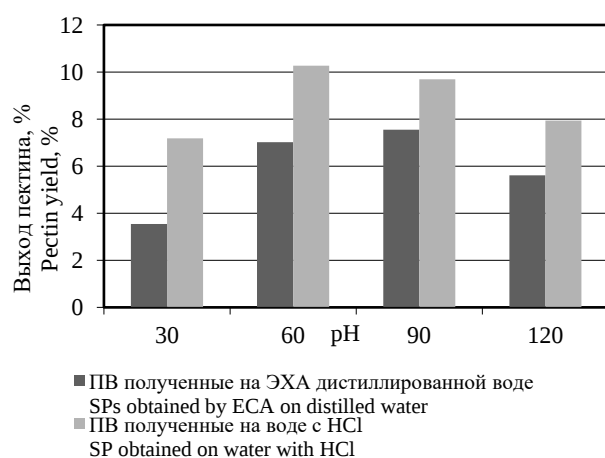


Рисунок 1. Зависимость выхода пектина столовой свёклы от pH

Figure 1. Dependence of beet pectin yield on pH

$C_5H_9O_5COOH$. В результате глубокого гидролитического распада пектиновой молекулы ухудшается качество пектина.

Дальнейшее повышение pH от 3,5 до 5,0 снижает выход пектиновых веществ, так как химически связанные пектиновые вещества практически не извлекаются, а извлекаются лишь связанные механически либо водородными связями.

Применение в качестве гидролизующего агента ЭХА воды более эффективно, так как выход повышается на 2–3%. Это связано с тем, что ЭХА растворы обладают повышенной экстрагирующей способностью, так как при их использовании кислотный гидролиз протопектина протекает под действием активированных молекул воды, за счет присутствия в среде гидролизующего агента активных радикалов H_3O^+ .

Один из важнейших факторов, обуславливающих выход и физико-химические свойства пектина, – температура процесса. С ее повышением при гидролизе-экстрагировании в растительной ткани частично разрываются водородные связи между ассоциированными полимерными молекулами протопектина, солевые связи с белковыми молекулами; увеличивается проницаемость растительных клеток.

Было выявлено, что показатель температуры является важным технологическим параметром ведения процесса, с его помощью можно регулировать выход и качество пектинов. Установлено, что температура гидролиза ниже 70 °С негативно влияет на выход пектина, процесс идет медленно и не происходит полностью за 60 минут. Увеличение температуры гидролиза от 40 °С до 70 °С повышает выход пектина до максимума при применении ЭХА воды (10,23%). Гидролиз-экстрагирование на воде с HCl дает максимальный выход пектина при температуре 80 °С (7,06%). Дальнейшее повышение температуры до 90 °С приводит к термическому разложению пектиновых веществ, их выход уменьшается.

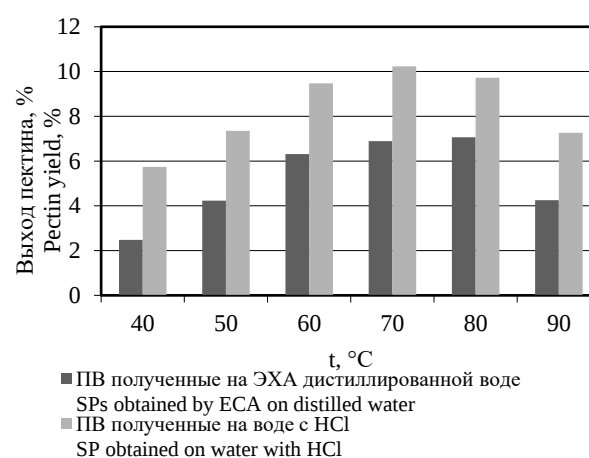


Рисунок 2. Зависимость выхода пектина столовой свёклы от температуры

Figure 2. Dependence of beet pectin yield on temperature

При исследовании влияния продолжительности гидролиза-экстрагирования на выход пектиновых веществ установлено, что при общей продолжительности процесса менее 60 минут не обеспечивается полнота выхода готового продукта. Максимальный выход пектина наблюдается при экстрагировании в течение 60 минут и составляет 10,27% с использованием в качестве гидролизующего агента ЭХА раствора. При проведении процесса на соляной кислоте требуется большее время с целью достижения максимума выхода готового продукта – 7,55%, что говорит об интенсификации процесса благодаря применению ЭХА воды. Увеличение продолжительности гидролиза-экстрагирования до 120 минут приводит к снижению выхода пектина до 7,94 и 5,61% при использовании активированной и неактивированной воды, соответственно. Это происходит за счет термоокислительно-гидролитической деструкции и увеличения вязкости, что уменьшает движущую силу процесса, поскольку при продолжительности процесса более 90 минут вследствие перемешивания сырья начинается механическое разрушение растительной ткани, что приводит к загрязнению пектинового экстракта коллоидными частицами сырья, а также затрудняет процесс разделения смеси после экстрагирования.

Влияние значений гидромодуля на стадии гидролиза-экстрагирования на выход пектина свидетельствует о том, что процесс целесообразно вести при разведении 1:4–1:5, так как наблюдается наибольший выход пектина (10,33% для ЭХА и 7,34% для воды с HCl). Снижение модуля до значения 1:3 нетехнологично, так как реакционная масса густая, затрудняется перемешивание, кроме того, значительно уменьшается выход пектина. Увеличение гидромодуля до 1:6 не приводит к значительному изменению выхода пектина, хотя этот показатель несколько уменьшается, это так же ведет к значительному повышению расхода химических реагентов и энергоёмкости производства, поэтому является экономически нерентабельным.

Согласно вышеизложенному, рациональными условиями процесса гидролиза-экстрагирования пектина из отжимов столовой свеклы с точки зрения выхода готового продукта являются: pH = 3,5, температура 70 °C, продолжительность 60 минут, гидромодуль 1:4–1:5. Пектин, полученный по предлагаемому режиму, анализировали с определением количества свободных (Kc,%), этерифицированных (Ke,%) и общих (Ko,%) карбоксильных групп, степени этерификации и массовой доли полигалактуроновой кислоты (таблица 1).

Таблица 1.

Свойства пектина из столовой свеклы

Table 1.

Properties of beet pectin

Kc, %	Ke, %	Ko, %	Степень этерификации, Degree of esterification, °	Полигалактуроновая кислота, % Polygalacturonic acid, %
7,86	10,96	18,82	58,24	77,02

Из таблицы видно, что пектин, полученный по данной технологии, обладает высоким качеством, характеризующим его как комплекссообразователь.

На основе пектина столовой свеклы возможно получение различных продуктов функционального и профилактического назначения: напитков, соусов, пюре. В настоящее время разрабатываются рецептуры функциональных напитков, содержащих пектиновые вещества столовой свеклы.

Полученный пектин может быть использован для создания широкого спектра продуктов функционального назначения. Он отличается высокой способностью связывать жидкости и образовывать гелеобразную массу, что делает его незаменимым компонентом в производстве конфитюров и джемов. Кроме того, пектин используется в качестве загустителя в мыльных пенах и других косметических продуктах, а также в производстве мороженого, где он улучшает консистенцию и структуру.

Одним из главных преимуществ получения пектина из столовой свеклы является его низкая стоимость по сравнению с другими источниками пектина. Кроме того, столовая свекла является относительно недорогим и доступным продуктом для многих регионов и стран.

Таким образом, получение пектина из столовой свеклы имеет множество преимуществ и может быть широко использовано в производстве продуктов функционального назначения. Это дешевый и доступный источник пектина, который дает возможность создавать высококачественные продукты с улучшенными текстурой и консистенцией [3, 4].

Пектины столовой свёклы обладают рядом полезных свойств, которые могут оказывать положительные эффекты на здоровье человека. Некоторые из них включают в себя:

– снижение уровня холестерина в крови.

Пектин способен связывать и выводить из организма лишний холестерин, что в свою очередь может улучшить функционирование сердечной системы и снизить риск сердечно-сосудистых заболеваний;

– поддержание здорового уровня сахара в крови. Пектин способен замедлять усвоение углеводов, что позволяет сохранять стабильный уровень сахара в крови. Это может быть особенно полезно для людей, которые страдают от диабета или предрасположены к данному заболеванию;

– содержание пищевых волокон. Пектины столовой свёклы, как правило, богаты пищевыми волокнами, которые являются необходимыми для здоровья пищеварительной системы. Они могут помочь улучшить усвоение пищи и предотвратить различные проблемы пищеварительной системы;

– поддержание здоровья кожи. Пектин может помочь сохранить здоровье кожи, улучшить ее текстуру и увлажнение. Он может также помочь осветлить пигментные пятна и уменьшить глубину морщин.

Заключение

Комплексообразующие свойства пектинов из столовой свёклы представляют широкий спектр применений в пищевой и других отраслях, а также имеют потенциал для медицинского использования. Дальнейшие исследования могут раскрыть ещё больше возможностей использования пектинов из свёклы в различных областях.

Литература

- 1 Лосева В.А. и др. Инновационная технология получения пектина из растительного сырья // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: Мосоловские чтения. 2010. С. 346–347.
- 2 Лосева В.А. и др. Получение пектина и пищевых волокон из растительного сырья с применением нанотехнологий // Вестник ВГТА. 2010. № 3. С. 33–35.
- 3 Кульнева Н.Г., Путилина Л.Н., Лазутина Н.А. Ресурсосберегающая технология переработки сахарной свёклы // Сахарная свёкла. 2019. №. 10. С. 32–36.
- 4 Пономарева Е.М., Матвиенко Н.А. Комплексная переработка сахарной свёклы // Материалы студенческой научной конференции за 2022 год. 2022. С. 205–206.
- 5 Lin J. et al. Elucidation of the cellulose nanocrystal-sugar beet pectin interactions for emulsification enhancement // Food Hydrocolloids. 2023. V. 135. P. 108198.
- 6 Zhou Y. et al. Study on the relationship between emulsion properties and interfacial rheology of sugar beet pectin modified by different enzymes // Molecules. 2021. V. 26. №. 9. P. 2829.
- 7 Jafarzadeh-Moghaddam M., Shaddel R., Peighambaroust S.H. Sugar beet pectin extracted by ultrasound or conventional heating: A comparison // Journal of Food Science and Technology. 2021. V. 58. P. 2567–2578.
- 8 Abou-Elseoud W.S., Hassan E.A., Hassan M.L. Extraction of pectin from sugar beet pulp by enzymatic and ultrasound-assisted treatments // Carbohydrate Polymer Technologies and Applications. 2021. V. 2. P. 100042.
- 9 Hotchkiss Jr A.T. et al. Structural characterization of red beet fiber and pectin // Food Hydrocolloids. 2022. V. 129. P. 107549.
- 10 Archut A. et al. Interaction of sugar beet pectin and pea protein: Impact of neutral sugar side chains and acetyl groups // Food Hydrocolloids. 2023. V. 138. P. 108454.
- 11 Peighambaroust S.H., Jafarzadeh-Moghaddam M., Pateiro M., Lorenzo J.M. et al. Physicochemical, thermal and rheological properties of pectin extracted from sugar beet pulp using subcritical water extraction process // Molecules. 2021. V. 26. №. 5. P. 1413. doi: 10.3390/molecules26051413
- 12 Pacheco M.T., Villamiel M., Moreno R., Moreno F.J. Structural and rheological properties of pectins extracted from industrial sugar beet by-products // Molecules. 2019. V. 24. №. 3. P. 392. doi: 10.3390/molecules24030392
- 13 Jafarzadeh-Moghaddam M., Shaddel R., Peighambaroust S. H. Sugar beet pectin extracted by ultrasound or conventional heating: A comparison // Journal of Food Science and Technology. 2021. V. 58. P. 2567–2578.
- 14 Niu H., Hou K., Chen H., Fu X. et al. A review of sugar beet pectin-stabilized emulsion: extraction, structure, interfacial self-assembly and emulsion stability // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022. P. 1–21. doi: 10.1080/10408398.2022.2109586
- 15 Huang X., Li D., Wang L. Characterization of pectin extracted from sugar beet pulp under different drying conditions // Journal of Food Engineering. 2017. V. 211. P. 1–6. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.04.022
- 16 Liu Z., Pi F., Guo X., Guo X. et al. Characterization of the structural and emulsifying properties of sugar beet pectins obtained by sequential extraction // Food Hydrocolloids. 2019. V. 88. P. 31–42. doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.09.036
- 17 Chen H.M., Fu X., Abbasi A.M., Luo Z.G. Preparation of environment-friendly pectin from sugar beet pulp and assessment of its emulsifying capacity // International Journal of Food Science & Technology. 2015. V. 50. №. 6. P. 1324–1330. doi: 10.1111/ijfs.12779
- 18 Prandi B., Baldassarre S., Babbar N., Bancalari E. et al. Pectin oligosaccharides from sugar beet pulp: Molecular characterization and potential prebiotic activity // Food & function. 2018. V. 9. №. 3. P. 1557–1569.
- 19 Chen H., Fu X., Luo Z. Properties and extraction of pectin-enriched materials from sugar beet pulp by ultrasonic-assisted treatment combined with subcritical water // Food chemistry. 2015. V. 168. P. 302–310. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.07.078
- 20 Hassan M.L., Berglund L., Abou Elseoud W.S., Hassan E.A. et al. Effect of pectin extraction method on properties of cellulose nanofibers isolated from sugar beet pulp // Cellulose. 2021. V. 28. P. 10905–10920.

References

- 1 Loseva V.A. et al. Innovative technology for obtaining pectin from plant raw materials. Current issues of improving the technology of production and processing of agricultural products: Mosolov readings. 2010. pp. 346–347. (in Russian).
- 2 Loseva V.A. et al. Obtaining pectin and dietary fiber from plant raw materials using nanotechnology. Vestnik VGTA. 2010. no. 3. pp. 33–35. (in Russian).

- 3 Kulneva N.G., Putilina L.N., Lazutina N.A. Resource-saving technology for processing sugar beets. Sugar beets. 2019. no. 10. pp. 32-36. (in Russian).
- 4 Ponomareva E.M., Matvienko N.A. Complex processing of sugar beet. Materials of the student scientific conference for 2022. 2022. pp. 205-206. (in Russian).
- 5 Lin J. et al. Elucidation of the cellulose nanocrystal-sugar beet pectin interactions for emulsification enhancement. Food Hydrocolloids. 2023. vol. 135. pp. 108198.
- 6 Zhou Y. et al. Study on the relationship between emulsion properties and interfacial rheology of sugar beet pectin modified by different enzymes. Molecules. 2021. vol. 26. no. 9. pp. 2829.
- 7 Jafarzadeh-Moghaddam M., Shaddel R., Peighambaroust S.H. Sugar beet pectin extracted by ultrasound or conventional heating: A comparison. Journal of Food Science and Technology. 2021. vol. 58. pp. 2567-2578.
- 8 Abou-Elseoud W.S., Hassan E.A., Hassan M.L. Extraction of pectin from sugar beet pulp by enzymatic and ultrasound-assisted treatments. Carbohydrate Polymer Technologies and Applications. 2021. vol. 2. pp. 100042.
- 9 Hotchkiss Jr A.T. et al. Structural characterization of red beet fiber and pectin. Food Hydrocolloids. 2022. vol. 129. pp. 107549.
- 10 Archut A. et al. Interaction of sugar beet pectin and pea protein: Impact of neutral sugar side chains and acetyl groups. Food Hydrocolloids. 2023. vol. 138. pp. 108454.
- 11 Peighambaroust S.H., Jafarzadeh-Moghaddam M., Pateiro M., Lorenzo J.M. et al. Physicochemical, thermal and rheological properties of pectin extracted from sugar beet pulp using subcritical water extraction process. Molecules. 2021. vol. 26. no. 5. pp. 1413. doi: 10.3390/molecules26051413
- 12 Pacheco M.T., Villamiel M., Moreno R., Moreno F.J. Structural and rheological properties of pectins extracted from industrial sugar beet by-products. Molecules. 2019. vol. 24. no. 3. pp. 392. doi: 10.3390/molecules24030392
- 13 Jafarzadeh-Moghaddam M., Shaddel R., Peighambaroust S. H. Sugar beet pectin extracted by ultrasound or conventional heating: A comparison. Journal of Food Science and Technology. 2021. vol. 58. pp. 2567-2578.
- 14 Niu H., Hou K., Chen H., Fu X. et al. A review of sugar beet pectin-stabilized emulsion: extraction, structure, interfacial self-assembly and emulsion stability. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022. pp. 1-21. doi: 10.1080/10408398.2022.2109586
- 15 Huang X., Li D., Wang L. Characterization of pectin extracted from sugar beet pulp under different drying conditions. Journal of Food Engineering. 2017. vol. 211. pp. 1-6. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.04.022
- 16 Liu Z., Pi F., Guo X., Guo X. et al. Characterization of the structural and emulsifying properties of sugar beet pectins obtained by sequential extraction. Food Hydrocolloids. 2019. vol. 88. pp. 31-42. doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.09.036
- 17 Chen H.M., Fu X., Abbasi A.M., Luo Z.G. Preparation of environment-friendly pectin from sugar beet pulp and assessment of its emulsifying capacity. International Journal of Food Science & Technology. 2015. vol. 50. no. 6. pp. 1324-1330. doi: 10.1111/ijfs.12779
- 18 Prandi B., Baldassarre S., Babbar N., Bancalari E. et al. Pectin oligosaccharides from sugar beet pulp: Molecular characterization and potential prebiotic activity. Food & function. 2018. vol. 9. no. 3. pp. 1557-1569.
- 19 Chen H., Fu X., Luo Z. Properties and extraction of pectin-enriched materials from sugar beet pulp by ultrasonic-assisted treatment combined with subcritical water. Food chemistry. 2015. vol. 168. pp. 302-310. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.07.078
- 20 Hassan M.L., Berglund L., Abou Elseoud W.S., Hassan E.A. et al. Effect of pectin extraction method on properties of cellulose nanofibers isolated from sugar beet pulp. Cellulose. 2021. vol. 28. pp. 10905-10920.

Сведения об авторах

Наталья А. Матвиенко к.т.н., доцент, кафедра технологии бро-
дильных и сахаристых производств, Воронежский государственный
университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19,
г. Воронеж, 394036, Россия, natali25_81@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4777-003X>

Лариса Н. Фролова д.т.н., профессор, кафедра машин и
аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный
университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19,
г. Воронеж, 394036, Россия, fln-84@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6505-4136>

Светлана Ф. Яковлева к.т.н., доцент, кафедра биохимии и
биотехнологии, Воронежский государственный университет
инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж,
394036, Россия, svetlana.yakovleva.68@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3686-9966>

Екатерина А. Мотина к.т.н., доцент, кафедра биохимии и
биотехнологии, Воронежский государственный университет
инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж,
394036, Россия, emotina18@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3433-2754>

Information about authors

Natalia A. Matvienko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fer-
mentation and sugar production technology department, Voronezh
State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19
Voronezh, 394036, Russia, natali25_81@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4777-003X>

Larisa N. Frolova Dr. Sci. (Engin.), professor, food processing
machines and apparatuses department, Voronezh State University
of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh,
394036, Russia, fln-84@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6505-4136>

Svetlana F. Yakovleva Cand. Sci. (Engin.), associate professor,
biochemistry and biotechnology department, Voronezh State
University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19
Voronezh, 394036, Russia, svetlana.yakovleva.68@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3686-9966>

Ekaterina A. Motina Cand. Sci. (Engin.), associate professor,
biochemistry and biotechnology department, Voronezh State
University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19
Voronezh, 394036, Russia, emotina18@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3433-2754>

Татьяна С. Ковалева к.т.н., кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tanyakova2501@gmail.com

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

Алексей Н. Яковлев к.т.н., доцент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vip.alex2702@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3246-6628>

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.

Tatiana S. Kovaleva Cand. Sci. (Engin.), biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, tanyakova2501@gmail.com

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

Alexey N. Yakovlev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vip.alex2702@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3246-6628>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 12/07/2023	После редакции 09/08/2023	Принята в печать 28/08/2023
Received 12/07/2023	Accepted in revised 09/08/2023	Accepted 28/08/2023

Современные аспекты исследования влияния физических воздействий на свойства полимеров

Марина И. Губанова	¹	gubanovami@mgupp.ru	 0000-0003-3547-716X
Анастасия О. Соловьева	¹	kytiama@mail.ru	 0000-0003-3701-5962
Ирина А. Кирш	¹	irina-kirsh@ya.ru	 0000-0003-3370-4226
Ольга А. Банникова	¹	bannikovaao@mgupp.ru	 0000-0003-0633-0003

¹ Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, Москва, 125080, Россия

Аннотация. Статья посвящена анализу современных аспектов физического воздействия на полимерные материалы и их качественные характеристики. В процессе изучения литературы были выделены как положительные, так и отрицательные стороны физического воздействия на структуру, и качество полимерных материалов. В качестве физических методов воздействия были рассмотрены: ультрафиолетовое облучение, ионизирующее и микроволновое излучения, лазерное воздействие, механическое нагружение, термическая обработка и другие. Описан опыт применения физического воздействия для расширения области применения полимеров, включая повышение прочности, термостойкости, устойчивости к коррозии и др. Затронуты риски, которые могут возникать в результате воздействия на различные структуры полимерных материалов, в том числе применяемых для упаковки пищевых продуктов. Обозначена перспективность изучения влияния микроволнового излучения, как вида физического воздействия на полимеры, с целью снижения негативных последствий. Данная статья может быть полезна специалистам, занимающимся разработкой и производством полимерных материалов, а также для научных исследователей, занимающихся изучением физических свойств материалов.

Ключевые слова: полимеры, полимерные материалы, микроволновое излучение, физическое воздействие, сверхвысокочастотное излучение, модификация полимеров.

Modern aspects of the study of the influence of physical effects on the properties of polymers

Marina I. Gubanova	¹	gubanovami@mgupp.ru	 0000-0003-3547-716X
Anastasia O. Solovyova	¹	kytiama@mail.ru	 0000-0003-3701-5962
Irina A. Kirsh	¹	irina-kirsh@ya.ru	 0000-0003-3370-4226
Olga A. Bannikova	¹	bannikovaao@mgupp.ru	 0000-0003-0633-0003

¹ Biotechnological University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, Russia

Abstract. The article is devoted to the analysis of modern aspects of physical impact on polymer materials and their qualitative characteristics. In the process of studying the literature, both positive and negative sides of physical impact on the structure and quality of polymer materials were identified. The following physical methods of exposure were considered: ultraviolet irradiation, ionizing and microwave radiation, laser exposure, mechanical loading, heat treatment and others. The experience of applying physical impact to expand the field of application of polymers, including increasing strength, heat resistance, corrosion resistance, etc., is described. The risks that may arise as a result of exposure to various structures of polymer materials, including those used for food packaging, are touched upon. The prospects of studying the effect of microwave radiation as a type of physical impact on polymers in order to reduce negative consequences are indicated. This article may be useful for specialists involved in the development and production of polymer materials, as well as for scientific researchers studying the physical properties of materials.

Keywords: polymers, polymer materials, microwave radiation, physical impact, ultrahigh frequency radiation, modification of polymers.

Введение

Бурное развитие естественных наук, наблюдающееся в последние десятилетия, основано на значительном расширении технических возможностей исследований и тесном переплетении достижений химии, физики, биологии и других областей естествознания. Это способствовало тому, что во второй

половине XX в. появились новые области химии (лазерная химия, плазменная и фотохимия, химия высоких давлений). В последние 10 – 15 лет уже в XXI в. к ним присоединилось перспективное направление химии, в которой используется сверхвысокочастотное (СВЧ) излучение, возникшее на стыке физики и химии. Данное направление включает в себя химические

Для цитирования

Губанова М.И., Соловьева А.О., Кирш И.А., Банникова О.А. Современные аспекты исследования влияния физических воздействий на свойства полимеров // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 165–172. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-165-172

For citation

Gubanova M.I., Solovyova A.O., Kirsh I.A., Bannikova O.A. Modern aspects of the study of the influence of physical effects on the properties of polymers. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 165–172. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-165-172

превращения с участием твердых диэлектриков и жидкостей, связанные с использованием энергии микроволнового (или СВЧ) поля [1].

Установлено, что микроволновое излучение способно в десятки и сотни раз ускорять многие химические реакции, вызывать быстрый объемный нагрев жидких и твердых образцов, эффективно (быстро и полностью) удалять влагу из твердых препаратов, в том числе высокопористых, модифицировать свойства различных сорбентов. Использование энергии СВЧ вместо применяемой в настоящее время тепловой энергии теплоносителей в промышленных установках позволяет значительно упростить технологические схемы, исключить все процессы и устройства, связанные с подготовкой теплоносителя, а также снизить вредные выбросы в атмосферу [2]. Данные положительные характеристики этого метода позволяют широко применять СВЧ излучение при производстве полимерных материалов. Ограничения использования СВЧ-излучения в таком случае в основном связаны с отсутствием оборудования для промышленного применения. А также на данном этапе развития науки мало изученным является вопрос негативного влияния СВЧ излучения на полимерные материалы [3].

В сравнении с СВЧ излучением, широко изучен вопрос влияния других методов физического воздействия на полимерные материалы. Среди таких методов можно выделить: механическое, термическое, электрическое, оптическое и радиационное воздействие [4]. Каждый из этих методов может привести к изменению структуры и свойств полимеров, что может быть полезно в различных областях применения или же повлечь за собой негативные последствия.

Электрические методы физического воздействия включают в себя различные способы электрической обработки, такие как электрическое поле, электрический ток, электростатический разряд и т. д. Они могут привести к изменению электрических свойств полимеров, могут увеличить их проводимость, диэлектрическую проницаемость и т. д. [5].

Оптические методы включают в себя изменение световых свойств полимеров, таких как прозрачность, цвет и т. д. Они могут использоваться для улучшения эстетических свойств полимеров или для создания новых функциональных свойств, таких как фоточувствительность [6].

Другой распространенный метод физического воздействия на полимеры – термическая обработка. При таком виде обработки полимеров

происходит изменение их молекулярной структуры и механических свойств [7]. Особенно это касается термопластичных полимеров, которые могут быть переработаны многократно. Термическая обработка может быть проведена при высокой или низкой температуре в зависимости от требуемых свойств материала [8].

Изменение свойств полимеров с помощью радиации, включая ультрафиолетовую, гамма- и электронную обработку, также позволяет получать полимеры с новыми свойствами и улучшенными характеристиками. Наноструктурирование полимеров, включая наночастицы и нановолокна, позволяет улучшать их механические, электрические и оптические свойства [9]. Модификация поверхности полимеров, включая плазменную обработку, обработку лазером и химическую функционализацию, позволяет улучшать адгезию, влагостойкость и другие свойства. Изменение морфологии полимеров, включая супрамолекулярную самоорганизацию и пространственное направление полимерных цепей, позволяет улучшать их оптические, электрические и механические свойства [10].

Используемый процесс физического воздействия на полимеры представляет собой нагрев в электрической печи при температуре выше 1000 градусов в течение нескольких дней, что делает его невозможным в промышленных масштабах. В связи с этим использование микроволнового излучения в качестве источника нагрева явилось большим шагом вперед в синтезе углеродных ксерогелей [11]. Первоначально микроволновый нагрев применялся в качестве метода сушки после реакций синтеза для удаления растворителя, оставшегося во внутренней структуре геля. В настоящее время эта технология используется для всего процесса синтеза [12], в результате чего время синтеза сокращается с 5 дней (необходимых для обычного нагрева) до 5 часов при использовании микроволновой технологии. Это делает процесс намного более экономически эффективным и дает возможность синтезировать органические ксерогели в больших масштабах с помощью простой и быстрой процедуры. Микроволновое устройство, используемое для синтеза углеродных ксерогелей, представляет собой многорежимную микроволновую печь (лабораторная разработка и конструкция) с магнетроном мощностью 1000 Вт на частоте 2,45 ГГц. Он также оснащен термпарой типа К, которая позволяет контролировать и контролировать температуру с помощью ПИД-регулятора, который подключен к термопаре и регулирует количество подаваемой мощности [13–15].

Обсуждение

Введение многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) и СВЧ-модификация полиэфирной матрицы влияет на показатели прочности, процессы структурообразования, морфологию и термостойкость полимерного композитного материала [16–18]. Введение МУНТ в полиэфирную матрицу повышает прочность композита, что, вероятно, связано с изменением структуры композита в результате химического взаимодействия функциональных групп на поверхности МУНТ с олигомером, что подтверждается данными дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Микроволновая обработка полиэфирной матрицы на стадии олигомера инициировала реакцию отверждения; при этом наблюдалось изменение характера разрушения образца с образованием углублений, свидетельствующее о способности композита противостоять образованию микротрещин. Обработка полимеризованного композита в поле СВЧ изменила его структуру за счет релаксационных процессов, повысив прочностные показатели [19].

В работе [20] изучалась возможность модификации эпоксидного композита с помощью микроволнового излучения на стадии олигомера. Оптимальная мощность и время обработки привели к увеличению прочности композита на изгиб и растяжение на 26% и 29% соответственно. На основе результатов, полученных при помощи сканирующего электронного микроскопа, исследователями было отмечено изменение структуры композита. СВЧ-обработка привела к увеличению доли пластического разрушения, которое авторы связывают с образованием более плотной трехмерной сшитой структуры вокруг частиц наполнителя [21].

Использование микроволнового излучения в качестве метода нагрева не только значительно сокращает время синтеза и делает его масштабируемым, но и позволяет модифицировать режим нагрева как метод управления свойствами получаемых материалов. С одной стороны, изменение температуры и / или времени синтеза может привести к получению материалов с другими свойствами [22]. С другой стороны, микроволновый нагрев позволяет синтезировать различные количества образцов при правильном выборе мощности микроволн [23]. Несмотря на то, что эти переменные можно использовать для управления свойствами, их значимость не так велика, как у химических переменных, что является преимуществом для применения процесса в промышленных масштабах. Подобно обычному методу синтеза, микроволновый нагрев позволяет модифицировать химические параметры, что включает в себя концентрацию всех используемых реагентов. Одной из основных химических переменных является pH раствора прекурсора [24].

Существует практика применения микроволнового излучения для улучшения эксплуатационных характеристик полимеров. Среди возможных наиболее важной является концепция о возможности использования СВЧ-излучения для инициирования перестроения структуры полярных полимеров с целью получения необходимых в конкретном случае свойств. Проводилась обработка ПВХ-пленки сверхвысокочастотным излучением с удельной энергией 205,8 кДж/кг, с целью определения механизма перестроения ее структуры (рисунок 1). Сравнительный анализ структур пленок показал, что у необработанной СВЧ-излучением ПВХ-пленки преобладает аморфная структура (рисунок 1а, в). Под воздействием СВЧ-излучения в ПВХ изменяется ориентация боковых ответвлений его макромолекул, что способствует росту числа центров кристаллизации. В результате уменьшается общая площадь аморфных областей структуры в пользу вновь образующейся кристаллической фазы (рисунок 1б), что сопровождается повышением степени упорядоченности в расположении макромолекул полимера (рисунок 1г). Молекулы ПВХ начинают перестраиваться в параллельные строчки (рисунок 1г), что является признаком роста его кристалличности, обеспечивающего улучшение физико-механических свойств ПВХ пленки [25].

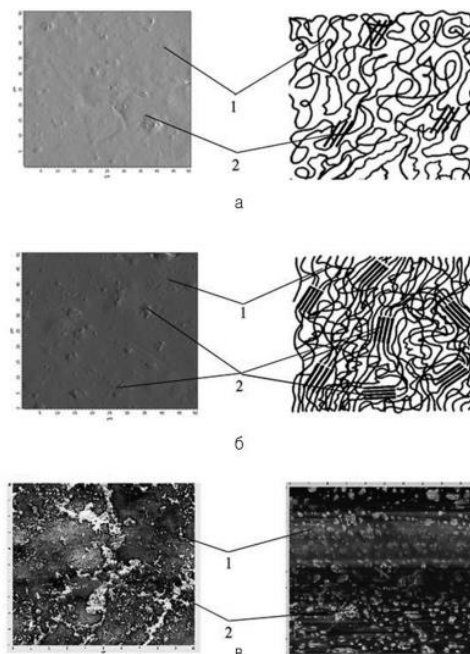


Рисунок 1. Изображения структуры ПВХ-пленки ($\times \cdot 106$) 1 – аморфная область; 2 – область кристаллизации; а, в-без СВЧ-обработки; б, г – после СВЧ-обработки (удельная энергия излучения 205,8 кДж/кг)

Figure 1. Images of the PVC film structure ($\times \cdot 106$) 1 – amorphous region; 2 – crystallization region; а, в – without microwave treatment; б, г – after microwave treatment (specific radiation energy 205.8 kJ/kg)

Также существуют расчетные результаты рентгеновской спектроскопии иллюстрирующие, что доля кристаллической фазы поливинилхлорида, обработанного удельной энергией СВЧ-излучения 205,8 кДж/кг, лежит в интервале 85–88%, что немного выше доли кристалличности необработанного поливинилхлорида (рисунок 2) [25].

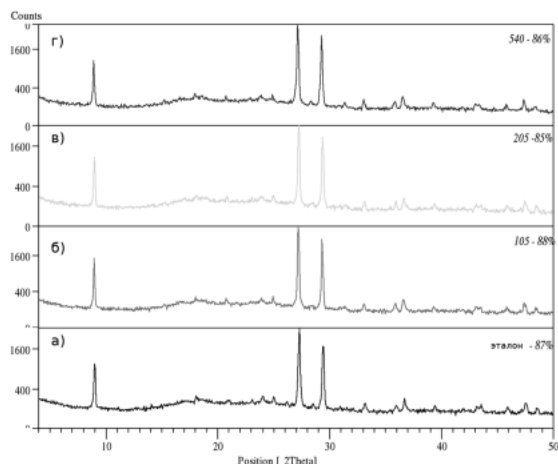


Рисунок 2. Рентгеновские дифрактограммы поливинилхлорида с различной обработкой: а – эталон, б – подвергнутого воздействию энергии 102,5 кДж/кг, в – 205,8 кДж/кг, г – 540 кДж/кг

Figure 2. X-ray diffractograms of polyvinyl chloride with various treatments: а – standard, б – exposed to energy 102.5 kJ/kg, в – 205.8 kJ/kg, г – 540 kJ/kg

При эксплуатации многие полимеры могут деградировать и терять свои свойства. Деструкция полимеров может быть вызвана механическими воздействиями, ультрафиолетовым излучением, тепловым воздействием и т. д. Отрицательное влияние может проявляться в изменении механических свойств, термостойкости, устойчивости к химическим воздействиям и других свойств, что может привести к потере функциональности материала [26]. Физическая модификация полимеров может происходить на разных стадиях их жизненного цикла: в процессе синтеза, влияние на переработку, улучшение свойств и при эксплуатации. В процессе синтеза полимеры могут быть модифицированы путем добавления различных мономеров, катализаторов или ингибиторов, что может привести к изменению их свойств, таких как прочность, термостойкость, устойчивость к химическим воздействиям и т. д. [27].

Механическая обработка является одним из методов физического воздействия на полимеры. Она может проводиться в разных формах, например, растяжение, сжатие, изгиб, удар и т. д. В результате механической обработки полимерных материалов может происходить изменение их структуры и свойств [28]. Например, при растяжении полимеры могут становиться

более прочными и упругими, а также приобретать новые свойства, такие как память формы. В то же время, излишнее механическое напряжение может приводить к разрушению полимеров под воздействием высоких температур. При нагревании полимеров до высоких температур происходят различные процессы, которые могут привести к разрушению материала. Одним из таких процессов является термическое разложение полимера. При этом высокотемпературные молекулы начинают распадаться на более мелкие фрагменты, что приводит к образованию газов и понижению молекулярной массы полимера. Эти процессы могут сопровождаться образованием свободных радикалов, которые способствуют дальнейшему разрушению материала [29, 30].

Термические методы включают в себя нагревание, охлаждение, термообработку и т. д. Нагревание также может привести к изменению молекулярной структуры полимеров, что может привести к улучшению их свойств или наоборот, к деградации материала [31]. Охлаждение может привести к изменению твердости и хрупкости полимеров.

Также высокие температуры могут приводить к изменению морфологии полимера, что в свою очередь может влиять на его механические свойства. Например, при нагревании полиэтилена до температур выше его температуры плавления происходит изменение кристаллической структуры материала, что приводит к уменьшению его прочности и упругости [32]. В целом, высокие температуры являются одним из наиболее опасных факторов для полимерных материалов, и необходимо учитывать их воздействие при выборе материала и проектировании конструкций [33].

Кроме термического разложения, при высоких температурах происходит диффузия различных веществ, которые могут вступать в химические реакции с полимером и приводить к его разрушению. При нагревании полиэтилена в присутствии кислорода происходит окисление материала, что может привести к образованию трещин и дальнейшему разрушению [34].

Но в тоже время изучено, что термическая обработка может приводить к увеличению кристалличности полимеров, что повышает их прочность и жесткость. Такой вид обработки также можно применять для изменения формы полимерных материалов и для формовки изделий или приведения их в нужную форму. Для этого используются специальные оборудование, такие как экструдеры, пресс-формы и другие. Но в то же время, слишком высокая температура может привести к деградации полимерных материалов и ухудшению их свойств [35].

Механические методы воздействия включают в себя различные способы механической обработки, такие как деформация, растяжение, изгиб, сжатие и т. д. Они могут привести к изменению физических свойств полимеров, таких как прочность, упругость, твердость и т. д. Влияние механических методов воздействия может быть как положительным, так и отрицательным, в зависимости от того, как именно они применяются [36].

Ультрафиолетовое излучение может приводить к изменению механических свойств полимеров, таких как прочность на разрыв и усталость материала [37]. Для того чтобы избежать нежелательных изменений в свойствах полимерных материалов, часто применяют ультрафиолетостойкие добавки, которые защищают материалы от действия ультрафиолетовых лучей [38]. Также можно использовать специальные методы обработки, например, лакирование, покрытие пленкой или применение специальных покрытий.

Многочисленные исследования, свидетельствуют от том, что в результате воздействия микроволн на упаковку, состоящую из полимерных материалов, происходит миграция вредных веществ в пищевую продукцию [39]. Исследовано, что приоритетными контаминантами, в таком случае являются: из полипропилена – ацетон, метанол, кадмий, медь, никель, свинец и цинк; из полистирола – свинец, никель и хром; из полиэтилентерефталата – гексан, ацетон, бензол, диоктилфталат, дибутилфталат, железо, медь; из меламина – формальдегид, из силикона – изопропанол, железо, цинк, медь и хром; из керамики – кадмий, медь, свинец, цинк, алюминий, бор. Также установлено, что под влиянием микроволн происходит увеличение миграции в модельные среды большинства исследованных металлов: железа, никеля в 100% случаев; меди – 72,2%, бора – 71,4%, свинца – 69,2%, марганца – 66,6%,

кадмия – 64,3%, алюминия – 60%, цинка – 58,3% и хрома – 50% [34]. Данные результаты свидетельствуют о негативном воздействии СВЧ-излучения на полимерные материалы, используемые в качестве упаковки для пищевой продукции [40].

Заключение

Анализ научно-технической литературы в области изучения влияния физического воздействия на полимерные материалы свидетельствует о необходимости и важности исследования специфики негативного влияния таких воздействий. Наиболее мало изученным является вопрос безопасности использования микроволнового излучения, так как есть свидетельства, сообщающие о возникновении высоких рисков при данном способе физического воздействия. Накопленный к настоящему времени экспериментальный материал позволил приступить к созданию теоретических основ для определения степени важности негативного влияния СВЧ-излучения на полимерные материалы. В течение последних нескольких лет появились исследования посвященные проблеме ухудшения качественных показателей полимеров в результате определенных видов физического воздействия на них. Однако, исследования в этом направлении нельзя считать полными.

Так, дискуссионным остается вопрос о безопасности использования излучения СВЧ-диапазона в процессе производства и эксплуатации полимерной продукции. Экспериментальные данные по исследованию миграции вредных веществ из полимерной упаковки непосредственно в пищевую продукцию приводятся в литературе редко. Наиболее изучена миграция мономеров, например, винилхлорида и некоторых других добавок из ПВХ-материалов, что вызвано их широким использованием в пищевой промышленности и установлением канцерогенной опасности указанного мономера.

Литература

- 1 Шавшукова С.Ю., Вихарева И.Н., Удалова Е.А. Применение микроволнового излучения в химии полимеров // Башкирский химический журнал. 2010. Т. 17. № 2. С. 116–120.
- 2 Шаганов О.Т., Янов В.В., Зенитова Л.А. Исследование поведения полиэтилена, наполненного шунгитом в условиях климатических воздействий // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 15. С. 113–116.
- 3 Калганова С.Г., Архангельский Ю.С., Лаврентьев В.А., Тригорный С.В. Научные основы модификации полимерных материалов в СВЧ электромагнитном поле // Вопросы электротехнологии. 2017. № 1. С. 26–35.
- 4 Абуталипова Е.М., Кузеев И.Р., Шулаев Н.С. Улучшение эксплуатационных свойств изоляционных покрытий с использованием сверхвысокочастотного излучения // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2013. № 4. С. 316–327.
- 5 Насыбуллин А.Р. Разработка и исследование СВЧ-устройств для технологий переработки полиэтилентерефталата. 2012.
- 6 Банный В.А., Игнатенко В.А. Применение полимерных радиопоглощающих материалов в решении проблемы электромагнитной безопасности // Проблемы здоровья и экологии. 2016. № 3 (49). С. 9–13.
- 7 Бокова Е.С., Сайдук А.А., Андрианова Г.П. Влияние электромагнитной обработки на условия получения и свойства полимер-полимерных комплексов на основе полиакриловой кислоты и мочевиноформальдегидного сополимера // Пластические массы. 2007. № 2. С. 44–47.
- 8 Сулейманов Д.Ф., Сулейманова А.А. Конструкция вальцов для получения рифленых листов из поливинилхлоридных материалов // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2019. № 16. С. 8–10.
- 9 Бараненко Д.А. и др. Влияние микроволновой обработки на показатели качества и безопасности упакованных пищевых ингредиентов с низким содержанием влаги // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2017. № 3. С. 3–9.

- 10 Мудров А.Н. Влияние микроволнового нагрева на кинетические закономерности процесса радикальной полимеризации виниловых мономеров. 2013.
- 11 Абуталипова Е.М. и др. Влияние энергии СВЧ-излучения на эволюцию структуры полимерных материалов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2015. №. 4. С. 151–162.
- 12 Рахманкулов Д.Л., Шавшукова С.Ю., Выхарева И.Н. Применение микроволнового излучения в пищевой отрасли // Башкирский химический журнал. 2008. Т. 15. №. 1. С. 73–75.
- 13 Горин Д.А. и др. Влияние микроволнового излучения на полимерные микрокапсулы с неорганическими наночастицами // Письма в ЖТФ. 2006. Т. 32. №. 2. С. 45.
- 14 Кузнецов Р.Е. Влияние микроволнового излучения на синтез и свойства водорастворимых полимеров N-винилпирролидона и акриламида. 2009.
- 15 Абуталипова Е.М., Бугай Д.Е. Научные основы применения свч излучения для улучшения технологических свойств полимерных изоляционных покрытий // Нефтегазовое дело. 2015. Т. 13. №. 3. С. 94–98.
- 16 Симиленной Б.С. Некоторые аспекты миграции химических веществ под влиянием СВЧ-излучения // Токсикологический вестник. 2011. №. 2 (107). С. 42–45.
- 17 Абуталипова Е.М. и др. Исследование влияния энергии электромагнитного излучения СВЧ-диапазона на структуру и свойства полимерных изоляционных материалов // Нефтегазохимия. 2016. №. 4. С. 51–55.
- 18 Нефедов В.Н. и др. Перспективы применения наукоёмких микроволновых технологий // T-Comm-Телекоммуникации и Транспорт. 2017. Т. 11. №. 6. С. 33–37.
- 19 Катаева С.Е. О санитарно-химических исследованиях полимерных материалов, применяемых в народном хозяйстве // Гигиена и санитария. 1992. №. 2. С. 57–58.
- 20 Баронин Г.С. и др. Влияние СВЧ-излучения на формирование структурно-механических свойств модифицированных полимер-углеродных материалов при твердофазной экструзии // Прикладная математика & Физика. 2011. Т. 23. №. 11 (106). С. 123–128.
- 21 Чихачева И.П. и др. Влияние микроволнового излучения на фазовое состояние и свойства поливинилового спирта // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2010. Т. 53. №. 3. С. 93–97.
- 22 Завражин Д.О., Попов А.Г. Влияние СВЧ-излучения на формирование структуры с улучшенными физико-механическими характеристиками модифицированных полимер-углеродных материалов при твердофазной обработке давлением // Перспективные материалы. 2011. №. 11. С. 389–395.
- 23 Сулейманов Д.Ф. и др. Технология изменения характеристик изоляционных материалов на основе поливинилхлорида под влиянием микроволнового излучения // Sciences of Europe. 2017. №. 13–2 (13). С. 94–98.
- 24 Румянцева Ю.В. и др. Влияние микроволнового излучения на радикальную полимеризацию акриламида в растворе в режиме динамической мощности // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2012. Т. 55. №. 12. С. 114–117.
- 25 Фазуллин Д.Д., Маврин Г.В., Шайхiev И.Г. Воздействие СВЧ-излучения на тонкопленочные полимерные мембраны // Электронная обработка материалов. 2019. Т. 55. №. 3. С. 58–65.
- 26 Abutalipova E.M. et al. Investigation of the effect of microwave-radiation energy flux on the structure and properties of polymeric insulating materials // Chemical and Petroleum Engineering. 2016. V. 52. №. 3–4. P. 212–216.
- 27 Afzal H.M. et al. Influence of microwave irradiation on thermal properties of PVA and PVA/graphene nanocomposites // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2020. V. 139. P. 353–365.
- 28 Rawat N.K., Ghosal A., Ahmad S. Influence of microwave irradiation on various properties of nanopolythiophene and their anticorrosive nanocomposite coatings // RSC Advances. 2014. V. 4. №. 92. P. 50594–50605.
- 29 Heidarpour M., Movahed S.O., Jourabchi S. The effect of microwave irradiation on the flotation of the selected polymers as a potential solution for plastic recycling // Journal of Polymers and the Environment. 2021. V. 29. P. 3130–3144.
- 30 Икромов Н.А. Исследования физико-механических свойств радиационно модифицированных эпоксидных композиций и покрытий на их основе // Universum: технические науки. 2021. №. 12-6 (93). С. 59-60.
- 31 Аристов В.М., Аристова Е.П. Влияние структурной неоднородности на физические свойства частично кристаллических полимеров // Пластические массы. 2016. №. 3–4. С. 15–18.
- 32 Столяренко В.И., Ольшанский В.И. Анализ элементов технологии производства геленков из композиционного материала на основе стеклоткани // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2021. №. 2 (41). С. 81–89.
- 33 Дедов А.В., Черноусова Н.В. Эффективность снижения скорости десорбции пластификатора из поливинилхлорида // Пластические массы. 2017. №. 1–2. С. 12–14.
- 34 Аристов В.М., Аристова Е.П. Влияние релаксационных явлений на физические свойства полимерных материалов // Пластические массы. 2017. №. 5–6. С. 3–6.
- 35 Негматов С.С. и др. Исследование вязкоупругих и адгезионно-прочностных свойств и разработка эффективных вибропоглощающих композиционных полимерных материалов и покрытий машиностроительного назначения // Пластические массы. 2020. №. 7–8. С. 32–36.
- 36 Студцов В.Н., Черемухина И.В. Оценка физико-химической активности различных способов физической модификации // Фундаментальные исследования. 2016. №. 2–2. С. 299–302.
- 37 Черниговская М.А. Способы модификации полимерных материалов для формирования гибридных композитов с протонпроводящими свойствами // Вестник АНГТУ №. 2019. Т. 13. С. 101.
- 38 Аккубикова В.А., Даутова И.Ф. Создание композиционных полимерных материалов методами модификации // Образование, наука и технологии: проблемы и перспективы. 2020. С. 120–122.
- 39 Симиленной Б.С. Некоторые аспекты миграции химических веществ под влиянием СВЧ-излучения // Токсикологический вестник. 2011. №. 2 (107). С. 42-45.
- 40 Тверитникова И.С. и др. Модификация полимерных смесей с сополимерами для получения полимерных композиций с улучшенными деформационно-прочностными характеристиками // Health, Food & Biotechnology. 2019. Т. 1. №. 3. С. 92–105.
- 41 Абдукаримова С.А., Бозорова Н.Х., Тураев Э.Р. Особенности модификации полипропилена // Universum: технические науки. 2022. №. 1–2 (94). С. 80–84.

42 Nakajima H., Dijkstra P., Loos K. The recent developments in biobased polymers toward general and engineering applications: Polymers that are upgraded from biodegradable polymers, analogous to petroleum-derived polymers, and newly developed // *Polymers*. 2017. V. 9. №. 10. P. 523.

43 Кириш И.А. и др. Регулирование физико-механических свойств вторичного полиэтиленотерефталата путем химической и физической модификации // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. №. 7. С. 79–82.

44 Жазаева Е.М. Влияние термической обработки на макроскопические характеристики смесей полимеров // Нальчик: КБГУ им. ХМ Бербекова. 2015.

References

1 Shavshukova S.Yu., Vikhareva I.N., Udalova E.A. Application of microwave radiation in polymer chemistry. *Bashkir Chemical Journal*. 2010. vol. 17. no. 2. pp. 116–120. (in Russian).

2 Shaganov O.T., Yanov V.V., Zenitova L.A. Investigation of the behavior of polyethylene filled with shungite under climatic influences. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2016. vol. 19. no. 15. pp. 113–116. (in Russian).

3 Kalganova S.G., Arkhangelsky Yu.S., Lavrentiev V.A., Trigorly S.V. Scientific principles of modification of polymer materials in a microwave electromagnetic field. *Issues of electrotechnology*. 2017. no. 1. pp. 26–35. (in Russian).

4 Abutalipova E.M., Kuzev I.R., Shulaev N.S. Improvement of operational properties of insulating coatings using ultrahigh-frequency radiation. *Electronic scientific journal Oil and Gas business*. 2013. no. 4. pp. 316–327. (in Russian).

5 Nasybullin A.R. Development and research of microwave devices for polyethylene terephthalate processing technologies. 2012. (in Russian).

6 Banny V.A., Ignatenko V.A. Application of polymer radio-absorbing materials in solving the problem of electromagnetic safety. *Problems of health and ecology*. 2016. no. 3 (49). pp. 9–13. (in Russian).

7 Bokova E.S., Saiduk A.A., Andrianova G.P. Influence of electromagnetic treatment on the conditions for obtaining and properties of polymer-polymer complexes based on polyacrylic acid and urea-formaldehyde copolymer. *Plastic masses*. 2007. no. 2. pp. 44–47. (in Russian).

8 Suleymanov D.F., Suleymanova A.A. Design of rollers for producing corrugated sheets from polyvinyl chloride materials. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2019. no. 16. pp. 8–10. (in Russian).

9 Baranenko D.A. et al. The effect of microwave processing on the quality and safety of packaged food ingredients with low moisture content. *Scientific journal of NIU ITMO. The series "Processes and devices of food production"*. 2017. no. 3. pp. 3–9. (in Russian).

10 Mudrov A.N. The effect of microwave heating on the kinetic laws of the process of radical polymerization of vinyl monomers. 2013. (in Russian).

11 Abutalipova E.M. et al. The effect of microwave radiation energy on the evolution of the structure of polymer materials. *Problems of collection, preparation and transportation of oil and petroleum products*. 2015. no. 4. pp. 151–162. (in Russian).

12 Rakhmankulov D.L., Shavshukova S.Yu., Vikhareva I.N. Application of microwave radiation in the food industry. *Bashkir Chemical Journal*. 2008. vol. 15. no. 1. pp. 73–75. (in Russian).

13 Gorin D.A. et al. The effect of microwave radiation on polymer microcapsules with inorganic nanoparticles. *Letters to ZhTF*. 2006. vol. 32. no. 2. pp. 45. (in Russian).

14 Kuznetsov R.E. The effect of microwave radiation on the synthesis and properties of water-soluble polymers of N-vinylpyrrolidone and acrylamide. 2009. (in Russian).

15 Abutalipova E.M., Bugai D.E. Scientific foundations of the use of microwave radiation to improve the technological properties of polymer insulation coatings. *Oil and gas business*. 2015. vol. 13. no. 3. pp. 94–98. (in Russian).

16 Simileyskaya B.S. Some aspects of chemical migration under the influence of microwave radiation. *Toxicological Bulletin*. 2011. no. 2 (107). pp. 42–45. (in Russian).

17 Abutalipova E.M. et al. Investigation of the effect of electromagnetic radiation energy in the microwave range on the structure and properties of polymer insulation materials. *Oil and gas chemistry*. 2016. no. 4. pp. 51–55. (in Russian).

18 Nefedov V.N. et al. Prospects for the application of high-tech microwave technologies. *T-Comm-Telecommunications and Transport*. 2017. vol. 11. no. 6. pp. 33–37. (in Russian).

19 Kataeva S.E. On sanitary and chemical studies of polymer materials used in the national economy. *Hygiene and sanitation*. 1992. no. 2. pp. 57–58. (in Russian).

20 Baronin G.S. et al. The effect of microwave radiation on the formation of structural and mechanical properties of modified polymer-carbon materials during solid-phase extrusion. *Applied Mathematics & Physics*. 2011. vol. 23. no. 11 (106). pp. 123–128. (in Russian).

21 Chikhacheva I.P. et al. The effect of microwave radiation on the phase state and properties of polyvinyl alcohol. *News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology*. 2010. vol. 53. no. 3. pp. 93–97. (in Russian).

22 Zavrzhin D.O., Popov A.G. The effect of microwave radiation on the formation of a structure with improved physical and mechanical characteristics of modified polymer-carbon materials during solid-phase pressure treatment. *Promising materials*. 2011. no. 11. pp. 389–395. (in Russian).

23 Suleymanov D.F. et al. Technology of changing the characteristics of insulating materials based on polyvinyl chloride under the influence of microwave radiation. *Sciences of Europe*. 2017. no. 13–2 (13). pp. 94–98. (in Russian).

24 Rumyantseva Yu. V. et al. Effect of microwave radiation on radical polymerization of acrylamide in solution in dynamic power mode. *News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology*. 2012. vol. 55. no. 12. – pp. 114–117. (in Russian).

25 Fazullin D.D., Mavrin G.V., Shaikhiev I.G. The effect of microwave radiation on thin-film polymer membranes. *Electronic processing of materials*. 2019. vol. 55. no. 3. pp. 58–65. (in Russian).

26 Abutalipova E.M. et al. Investigation of the effect of microwave-radiation energy flux on the structure and properties of polymeric insulating materials. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2016. vol. 52. no. 3–4. pp. 212–216.

27 Afzal H.M. et al. Influence of microwave irradiation on thermal properties of PVA and PVA/graphene nanocomposites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2020. vol. 139. pp. 353–365.

28 Rawat N.K., Ghosal A., Ahmad S. Influence of microwave irradiation on various properties of nanopolythiophene and their anticorrosive nanocomposite coatings. *RSC Advances*. 2014. vol. 4. no. 92. pp. 50594–50605.

29 Heidarpour M., Movahed S.O., Jourabchi S. The effect of microwave irradiation on the flotation of the selected polymers as a potential solution for plastic recycling. *Journal of Polymers and the Environment*. 2021. vol. 29. pp. 3130–3144.

- 30 Ikromov N.A. Research on the physical and mechanical properties of radiation-modified epoxy compositions and coatings based on them. *Universum: technical sciences*. 2021. no. 12-6 (93). pp. 59-60. (in Russian).
- 31 Aristov V.M., Aristova E.P. The effect of structural heterogeneity on the physical properties of partially crystalline polymers. *Plastic masses*. 2016. no. 3-4. pp. 15-18. (in Russian).
- 32 Stolyarenko V.I., Olshansky V.I. Analysis of the elements of the technology for the production of gaskets from a composite material based on fiberglass. *Bulletin of the Vitebsk State Technological University*. 2021. no. 2 (41). pp. 81-89. (in Russian).
- 33 Dedov A.V., Chernousova N.V. Efficiency of reducing the rate of desorption of plasticizer from polyvinyl chloride. *Plastic masses*. 2017. no. 1-2. pp. 12-14. (in Russian).
- 34 Aristov V.M., Aristova E.P. Influence of relaxation phenomena on the physical properties of polymer materials. *Plastic masses*. 2017. no. 5-6. pp. 3-6. (in Russian).
- 35 Negmatov S.S. et al. Research of viscoelastic and adhesive-strength properties and development of effective vibration-absorbing composite polymer materials and coatings for machine-building purposes. *Plastic masses*. 2020. no. 7-8. pp. 32-36. (in Russian).
- 36 Studetsov V.N., Cheremukhina I.V. Evaluation of physicochemical activity of various methods of physical modification. *Fundamental research*. 2016. no. 2-2. pp. 299-302. (in Russian).
- 37 Chernihiv M.A. Methods of modification of polymer materials for the formation of hybrid composites with proton-conducting properties. *Bulletin of AnGTU No. 2019. vol. 13. pp. 101. (in Russian).*
- 38 Akkubikova V.A., Dautova I.F. Creation of composite polymer materials by modification methods. *Education, science and technology: problems and prospects*. 2020. pp. 120-122. (in Russian).
- 39 Simileiskaya B.S. Some aspects of migration of chemical substances under the influence of microwave radiation. *Toxicological Bulletin*. 2011. no. 2 (107). pp. 42-45. (in Russian).
- 40 Tveritnikova I.S. et al. Modification of polymer mixtures with copolymers to obtain polymer compositions with improved deformation and strength characteristics. *Health, Food & Biotechnology*. 2019. vol. 1. no. 3. pp. 92-105. (in Russian).
- 41 Abduraimova S.A., Bozorova N.H., Turaev E.R. Features of polypropylene modification. *Universum: technical sciences*. 2022. no. 1-2 (94). pp. 80-84. (in Russian).
- 42 Nakajima H., Dijkstra P., Loos K. The recent developments in biobased polymers towards general and engineering applications: Polymers that are upgraded from biodegradable polymers, analogous to petroleum-derived polymers, and newly developed. *Polymers*. 2017. vol. 9. no. 10. pp. 523.
- 43 Kirsh I.A. et al. Regulation of physical and mechanical properties of secondary polyethylene terephthalate by chemical and physical modification. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2015. vol. 18. no. 7. pp. 79-82. (in Russian).
- 44 Zhazayeva E.M. The effect of heat treatment on the macroscopic characteristics of polymer mixtures. *Nalchik: KBSU named after HM Berbekov*. 2015. (in Russian).

Сведения об авторах

Марина И. Губанова к.т.н., доцент, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, Москва, 125080, Россия, gubanovami@mgupp.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3547-716X>

Анастасия О. Соловьева аспирант, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, Москва, 125080, Россия, kytiam@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3701-5962>

Ирина А. Кириш д.х.н., зав. кафедрой, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, Москва, 125080, Россия, irina-kirsh@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3370-4226>

Ольга А. Банникова к.т.н., доцент, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, Москва, 125080, Россия, bannikovaoa@mgupp.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0633-0003>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Marina I. Gubanov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, industrial design, packaging technology and expertise department, Biotechnological University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, gubanovami@mgupp.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3547-716X>

Anastasia O. Solovyova graduate student, industrial design, packaging technology and expertise department, Biotechnological University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, kytiam@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3701-5962>

Irina A. Kirsh Dr. Sci. (Chem.), head of department, Industrial design, packaging technology and expertise department, Biotechnological University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, irina-kirsh@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3370-4226>

Olga A. Bannikova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, industrial design, packaging technology and expertise department, Biotechnological University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, bannikovaoa@mgupp.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0633-0003>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 21/06/2023	После редакции 11/07/2023	Принята в печать 18/08/2023
Received 21/06/2023	Accepted in revised 11/07/2023	Accepted 18/08/2023

Динамические свойства бутадиен-стирольных резин со слоистыми силикатами

Азат Ф. Гильмутдинов	¹	azat@savrin.ru	 0009-0000-9220-4091
Ахмет А. Акмырадов	¹	akmyradow_2015@mail.ru	 0000-0002-0678-9626
Вадим А. Антонов	¹	ks90.90@bk.ru	 0009-0004-5965-0777
Марат А. Ибрагимов	¹	ibragimovmarat2008@ya.ru	 0000-0002-3970-1475
Елена Г. Зиновьева	²	zinelgen@mail.ru	 0000-0002-5591-4446

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

² Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, пр-т Московский, 15, г. Чебоксары, 428015, Россия

Аннотация. В нашем исследовании мы провели модификацию бутадиен-стирольного латекса СК-30 АРКМ-15, используя разнообразные варианты бентонитовой глины. Среди них были отечественный натриевый бентонит, отечественный бентонит, предварительно обработанный поверхностно-активными веществами (ПАВ), а также органоглины, созданные на основе зарубежных слоистых силикатов и также подвергнутые обработке ПАВ на этапе коагуляции с последующим выделением каучука. Далее, в рамках нашего исследования, мы провели подробное сравнительное изучение физико-механических свойств резин, произведенных с использованием модифицированных бутадиен-стирольных каучуков. Рассмотрели резины, содержащие разные варианты бентонита, включая как отечественное происхождение, так и импортный. Был проведен анализ динамических свойств этих резин, включая модуль упругости и тангенс угла механических потерь, с использованием метода динамического термомеханического анализа (ДТМА). В результате исследования было установлено, что образцы резин, содержащие глину РТ и Cloisite 30B, демонстрировали снижение тангенса механических потерь на 20% в пределах рабочих температур. Это свидетельствует о повышении механических свойств резины в разнообразных условиях эксплуатации. В дополнение, образцы резин, содержащие импортные слоистые силикаты и обработанные ПАВ, проявили повышенную прочность как до, так и после термоокислительного старения при 150°C. Эти результаты подчеркивают важность выбора состава силикатов и ПАВ при создании резин с улучшенными механическими свойствами и долговечностью. Выводы данного исследования имеют важное значение для индустрии и научного сообщества, подчеркивая роль правильного выбора бентонита и его обработки в создании резин с оптимальными характеристиками для различных приложений

Ключевые слова: бутадиен-стирольные эластомеры, слоистые силикаты, модификация, физико-механические свойства, динамические свойства.

Dynamic properties of butadiene styrene rubbers with layered silicates

Azat F. Gilmutdinov	¹	azat@savrin.ru	 0009-0000-9220-4091
Akhmet A. Akmyradow	¹	akmyradow_2015@mail.ru	 0000-0002-0678-9626
Vadim A. Antonov	¹	ks90.90@bk.ru	 0009-0004-5965-0777
Marat A. Ibragimov	¹	ibragimovmarat2008@ya.ru	 0000-0002-3970-1475
Elena G. Zinovjeva	²	zinelgen@mail.ru	 0000-0002-5591-4446

¹ Kazan National Research Technological University, 68, Karla Marksa St., Kazan, 420015, Russia

² Chuvash State University named I.N. Ulyanov, 15, Moskovsky Ave., Cheboksary, 428015, Russia

Abstract. In our study, modification of SBR-1705 butadiene styrene latex using a variety of bentonite clay variants was carried out. Among them were domestic sodium bentonite, domestic bentonite pretreated with surfactants (surfactants), as well as organoclays based on foreign layered silicates and also treated with surfactants at the coagulation stage with subsequent rubber release. Further, within the framework of our study, we carried out a detailed comparative study of physical and mechanical properties of rubbers produced using modified butadiene-styrene rubbers. We considered rubbers containing different variants of bentonite, including both domestic origin and imported bentonite. The dynamic properties of these rubbers, including elastic modulus and mechanical loss angle tangent, were analyzed using dynamic thermomechanical analysis (DTMA). The study found that the rubber samples containing PT clay and Cloisite 30B showed a 20% reduction in mechanical loss tangent within the operating temperature range. This indicates an improvement in the mechanical properties of the rubber under a variety of operating conditions. In addition, rubber samples containing imported layered silicates and treated with surfactants exhibited increased strength both before and after thermo-oxidative aging at 150°C. These results emphasize the importance of silicate and surfactant composition selection in developing rubbers with improved mechanical properties and durability. The findings of this study have important implications for industry and academia, emphasizing the role of proper bentonite selection and processing in creating rubbers with optimal performance for a variety of applications

Keywords: butadiene styrene elastomers, layered silicates, modification, physical and mechanical properties, dynamic properties.

Для цитирования

Гильмутдинов А.Ф., Акмырадов А.А., Антонов В.А., Ибрагимов М.А., Зиновьева Е.Г. Динамические свойства бутадиен-стирольных резин со слоистыми силикатами // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 173–179. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-173-179

For citation

Gilmutdinov A.F., Akmyradow A.A., Antonov V.A., Ibragimov M.A., Zinovjeva E.G. Dynamic properties of butadiene styrene rubbers with layered silicates. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 173–179. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-173-179

Введение

Для обеспечения прогресса в российской экономике необходимо расширить ассортимент полимерных материалов с уникальными свойствами, которые отсутствуют в существующих композитных материалах [1–5]. Для достижения этой цели недостаточно просто создавать новые полимеры; сегодня наука сосредотачивает внимание на модификации традиционных полимеров с целью придания им необходимых характеристик [6–9].

Модификация полимеров может включать в себя разнообразие добавки, которые выступают в качестве наполнителей или активных компонентов. Одним из интересных направлений в этой области является использование монтмориллонитовых глин, слоистых силикатов, которые могут улучшить свойства каучуков [10–12].

Крупные производители шин по всему миру активно внедряют модифицированные каучуки для улучшения сцепных характеристик и снижения потерь на качение. Бутадиен-стирольные каучуки (БСК) играют ключевую роль в создании протекторных резин, и поэтому их модификация и замена на немодифицированные БСК является актуальной для шинной промышленности.

Слоистые силикаты уже зарекомендовали себя в качестве наполнителей для полимеров [13–16], включая бутадиен-стирольные каучуки, полученные как методом растворной, так и эмульсионной полимеризации.

Для создания композиций на основе БСК и глины можно использовать процесс смешивания латекса каучука с водной суспензией глины, за которым следует коагуляция [17–20]. Исследования воздействия слоистых силикатов на механические и термические характеристики бутадиен-стирольных каучуков показали, что их добавление способствует сохранению физико-механических свойств после термоокислительной деструкции [21].

Основная цель данной работы заключается в проведении сравнительного анализа физико-механических и динамических свойств резин, в которых используются бутадиен-стирольные каучуки с добавками слоистых силикатов, как отечественного, так и зарубежного происхождения.

Материалы и методы

В дополнение к ранее изученным материалам [21] была применена отечественная бентонитовая глина: Республика Татарстан (РТ), Дрожжановский район, с. Городище: Внешний вид – порошок светло-серого цвета. Минеральный состав: ММТ менее 50%, гидрослюда – 20–30%, каолинит – 10–20%. ПАВ – Диметилбензил-аммоний хлорид.

Выделение каучука из латекса, приготовление композиций, вулканизация и испытания резин также проводилось по ранее описанным методикам [21].

Состав резиновых смесей представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Состав резиновых смесей [21]

Table 1.

Composition of rubber compounds [21]

Компонент Component	Образец резины Rubber sample					
Содержание, масс. ч. Content, wt. h.	Контроль Control	Бентонит HYG 220 Bentonite HYG 220	Cloisite 10A	Cloisite 15A	Cloisite 30B	Глина Татарстан Clay Tatarstan
Каучук СК-30 АРКМ-15 Rubber SBR-1705	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Технический углерод Technical carbon	50,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0
Слоистый силикат Layered silicate	-	5	5	5	5	5
Оксид цинка Zinc oxide	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Стеариновая кислота Stearic acid	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Альтакс Altax	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Сера Sulphur	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Дифенилгуанидин Diphenylguanidine	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Примечание: глину татарстанского месторождения применяли также в концентрациях 2,5 и 10% мас. на 100 м.ч. каучука.
Note: clay from Tatarstan deposit was also used in concentrations of 2.5 and 10 wt% per 100 m.h. of rubber

Исследование резин методом динамического механического анализа проводили на приборе динамического механического анализа DMA 242 С фирмы NETZSCH. Режим испытания: интервал температур нагрева – от комнатной до 350 °С, скорость нагрева – 3 °С/мин, сила – 1 Н, частота – 1 Гц.

Результаты и обсуждения

Слоистый силикат в каучуке составлял 5% масс. весу резины. Глину татарстанского месторождения применяли также в концентрациях 2,5 и 10% масс. на 100 м.ч. каучука. При этом снизилось содержание основного наполнителя – технического углерода.

После проведения тестирования, как видно из представленных данных в таблице 2, можно заключить, что физико-механические свойства резиновых образцов, содержащих слоистые силикаты из зарубежных месторождений, остаются на уровне характеристик контрольного образца. Образец с добавкой Cloisite® 30B демонстрирует наивысшую прочность. Кроме того,

образцы, включающие в себя Cloisite и глину РТ, обладают более высокой твердостью, что может быть результатом воздействия поверхностно-активных веществ в процессе вулканизации резины [21]. Также стоит отметить, что образец с добавкой глины РТ в количестве 10% массы проявляет повышенное сопротивление разрыву.

Таблица 2.

Физико-механические показатели резин со слоистыми силикатами [21]

Table 2.

Physical and mechanical parameters of rubbers with layered silicates [21]

Показатель Indicator	Контроль Control	Бентонит HYG 220 Bentonite HYG 220	Cloisite 10A	Cloisite 15A	Cloisite 30B	Глина Татарстан 2,5% Clay Tatarstan 2,5%	Глина Татарстан 5% Clay Tatarstan 5%	Глина Татарстан 10% Clay Tatarstan 10%
Условная прочность при растяжении, Мпа Conditional tensile strength, MPa	19,9	20,1	20,2	19,9	20,5	10,9	12,7	14,1
Относительное удлинение при разрыве, % Relative elongation at break, %	306	403	373	293	303	183	90	300
Остаточное удлинение после разрыва, % Residual elongation after rupture, %	8	9	8	6	8	4	4	4
Твёрдость, ед. по Шору А Hardness, Shore A units	81	82	86	85	85	91	95	86
Эластичность по отскоку, % Bounce elasticity, %	32	34	24	28	30	34	24	39
Сопротивление раздиру, кН/м Tear resistance, kN/m	39,2	47,2	35,6	30,7	35,5	27,1	32,0	53,9

Несмотря на то, что результаты прочностных испытаний резин с глинами отечественных месторождений оказались гораздо ниже, чем у зарубежных (таблица 2), тем не менее, у резины с глиной РТ происходит повышение прочностного показателя с увеличением концентрации глины. показывает наибольшие результаты среди отечественных образцов.

Результаты испытаний, проведенных после выдержки при температуре 150 °С, представленные в таблице 3, свидетельствуют о том, что образцы, с Cloisite, выделяются более высокой прочностью. При этой температуре наблюдается низкое удлинение образцов, исключая образец с необработанным бентонитом. Это явление,

возможно, объясняется воздействием поверхностно-активных веществ слоистого силиката, которые создают ограничения в пространстве из-за присутствия объемных заместителей в молекуле поверхностно-активного вещества.

Похожие тесты, проведенные для отечественного образца (таблица 3), демонстрируют, что значения физических характеристик практически идентичны тем, что обнаружены в контрольном образце. Особенно стоит отметить, что образец с 10% массовой добавкой глины РТ выделяется более высоким относительным удлинением, превосходя даже образец с Cloisite по этому параметру.

Таблица 3.

Физико-механические показатели резин после термоокислительного старения при температуре 150 °С

Table 3.

Physical and mechanical parameters of rubbers after thermo-oxidative aging at 150 °С

Показатель Indicator	Контроль Control	Бентонит HYG 220 Bentonite HYG 220	Cloisite 10A	Cloisite 15A	Cloisite 30B	Глина Татарстан 2,5% Clay Tatarstan 2,5%	Глина Татарстан 5% Clay Tatarstan 5%	Глина Татарстан 10% Clay Tatarstan 10%
Условная прочность при растяжении, Мпа Conditional tensile strength, MPa	5,1	4,4	8,2	8,2	8,9	5,6	3,1	4,3
Относительное удлинение при разрыве, % Relative elongation at break, %	20	66	35	10	20	45	13	110
Остаточное удлинение после разрыва, % Residual elongation after rupture, %	4	2	0	0	0	0	0	0

При исследовании модуля упругости (рисунок 1, 2) образцов резин методом ДТМА для всех образцов характерна убывающая, даже экстремальная зависимость модуля упругости от температуры: понижение от нуля до 150 °С с последующим увеличением в интервале от 220–240 °С, связанное с изменением структуры резины (появление хрупкости и последующее разрушение) при увеличении температуры. В начале наиболее высокое значение модуля упругости у образца резины с глиной РТ. Причем с увеличением ее концентрации значение модуля упругости в интервале температур от нуля до 50 °С выше, чем у образцов с зарубежной глиной.

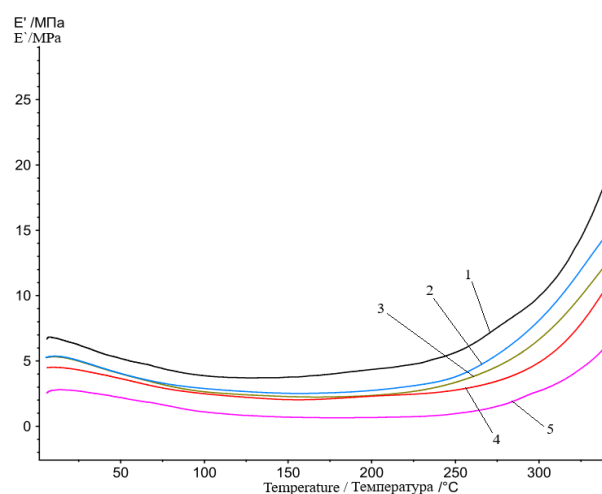


Рисунок 1. Кривые ДТМА образцов резин зависимости модуля упругости от температуры при частоте: 1 – образец без наполнителя, 2 – образец с MAX GEL, 3 – образец с Cloisite® 10A, 4 – образец с Cloisite® 15A, 5 – образец с Cloisite® 30B

Figure 1. DTMA curves of rubber samples of elastic modulus dependence on temperature at frequency: 1 – sample without filler, 2 – sample with MAX GEL, 3 – sample with Cloisite® 10A, 4 – sample with Cloisite® 15A, 5 – sample with Cloisite® 30B

Изучение тангенса угла механических потерь у образцов резин со слоистыми силикатами (рисунок 3, 4) показало, что все кривые имеют монотонно убывающий характер. При этом у резин с зарубежными слоистыми силикатами он более резкий. Наибольшее значение этого показателя в начальный момент времени наблюдается у образца с бентонитом MAX GEL, а наименьшее – с глинами РТ, в частности при концентрации 2,5% масс. Образцы с глиной РТ имеют более низкое значение

возрастание этого показателя наблюдается в интервале температур от 200 до 350 °С.

В начальный момент времени образцы резины со слоистыми силикатами зарубежного производства имеют наиболее низкие значения модуля упругости (рисунок 1, 2). Следует отметить более плавный характер изменения их кривых ДТМА. Это может быть связано с влиянием большей концентрации основного минерала – монтмориллонита, а также с меньшим количеством примесей. В свою очередь это объясняет большую стабильность свойств при воздействии температуры.

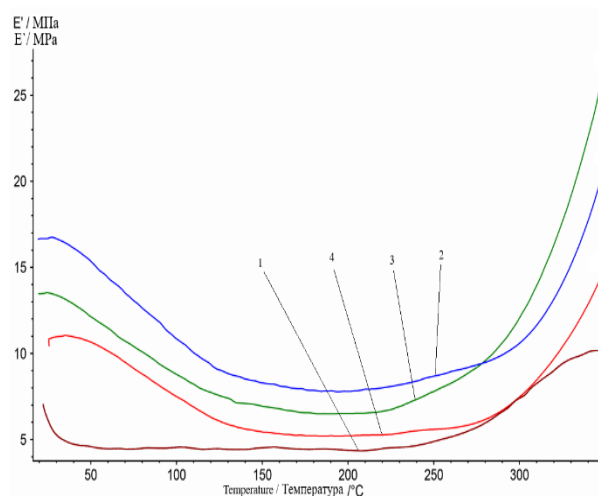


Рисунок 2. Кривые ДТМА образцов резин зависимости модуля упругости от температуры при частоте: 1 – образец без наполнителя, 2 – образец с глиной Татарстан 2,5%, 3 – образец с глиной Татарстан 5%, 4 – образец с глиной Татарстан 10%

Figure 2. DTMA curves of rubber samples of elastic modulus dependence on temperature at frequency: 1 – sample without filler, 2 – sample with Tatarstan clay 2.5%, 3 – sample with Tatarstan clay 5%, 4 – sample with Tatarstan clay 10%

механических потерь, вплоть до температур 100–150 °С. Далее значения сравнимы.

При сравнении образцов с одинаковой концентрацией слоистого силиката у глины РТ значение тангенса механических потерь ниже вплоть до 50 °С. В интервале температур 75–100 °С по этому показателю сопоставимы значения образцов глиной РТ 5% масс. и Cloisite® 30B. Это можно объяснить более равномерным их распределением и не следует исключать и влияние ПАВ.

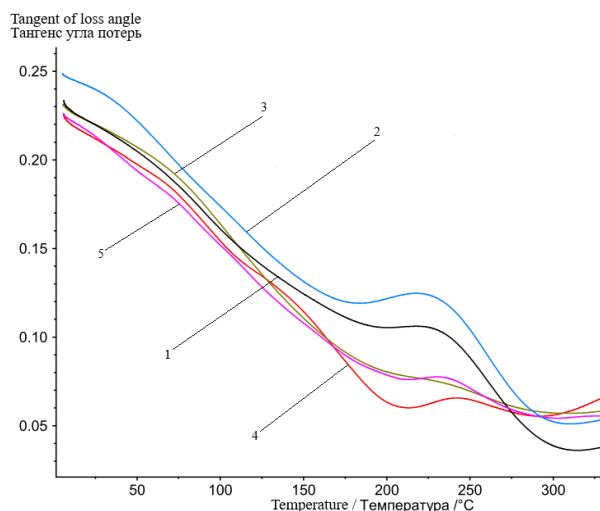


Рисунок 3. Кривые ДТМА образцов резин зависимости тангенса угла потерь от температуры при частоте 1 Гц: 1 – образец без слоистого силиката, 2 – образец с MAX GEL, 3 – образец с Cloisite® 10A, 4 – образец с Cloisite® 15A, 5 – образец с Cloisite® 30B.

Figure 3. DTMA curves of rubber samples of loss angle dependence on temperature at a frequency of 1 Hz: 1 – sample without layered silicate, 2 – sample with MAX GEL, 3 – sample with Cloisite® 10A, 4 – sample with Cloisite® 15A, 5 – sample with Cloisite® 30B

Закключение

Проведена модификация в процессе коагуляции латекса каучука СКС-30 АРКМ-15 слоистыми силикатами монтмориллонитового типа отечественных и импортных месторождений, необработанными и обработанными различными ПАВ. Изготовлены и испытаны резины на основе модифицированных каучуков.

Проведено сравнение физико-механических и динамических характеристик резин, модифицированных отечественным и импортными слоистыми силикатами. Образцы резин изучены методом ДТМА. Обнаружено, что образцы зарубежных резин со слоистыми силикатами имеет более высокие прочностные свойства до

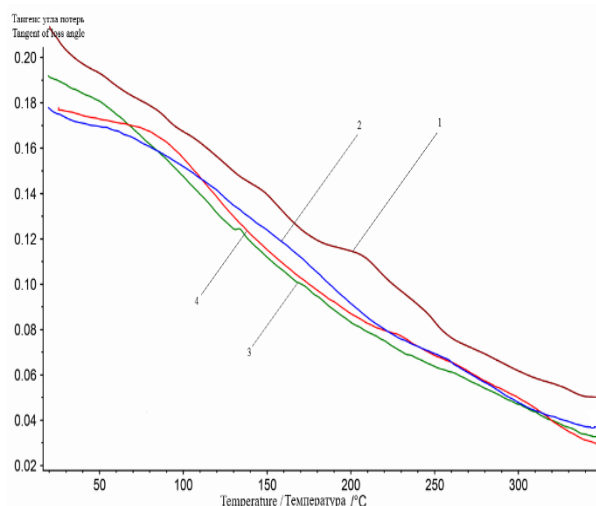


Рисунок 4. Кривые ДТМА образцов резин зависимости тангенса угла потерь от температуры при частоте 1 Гц: 1 – образец без наполнителя, 2 – образец с глиной Татарстан 2,5%, 3 – образец с глиной Татарстан 5%, 4 – образец с глиной Татарстан 10%.

Figure 4. DTMA curves of rubber samples of loss tangent angle dependence on temperature at a frequency of 1 Hz: 1 – sample without filler, 2 – sample with Tatarstan clay 2.5%, 3 – sample with Tatarstan clay 5%, 4 – sample with Tatarstan clay 10%

и после термоокислительного старения. Наиболее высокие значения условной прочности при растяжении имеет образец, содержащий Cloisite 30B. Улучшение показателя связано с составом слоистых силикатов. Тем не менее, резина с глиной РТ при концентрации 10% по каучуку имеет наиболее высокие значения сопротивления раздиру и более высокую относительное удлинение.

С помощью динамического механического анализа установлено, что образцы резин, содержащие глину РТ и Cloisite 30B, имеют ниже на 20% значения тангенса механических потерь в интервале температур эксплуатации.

Литература

- 1 Uddin F. Clays, nanoclays, and montmorillonite minerals // Metallurgical and Materials Transactions A. 2008. V. 39. №. 12. P. 2804-2814.
- 2 Caccamo M.T., Mavilia G., Mavilia L., Lombardo D. et al. Self-assembly processes in hydrated montmorillonite by FTIR investigations // Materials. 2020. V. 13. №. 5. P. 1100. doi: 10.3390/ma13051100
- 3 Li B., Mao H., Li X., Ma W. et al. Synthesis of mesoporous silica-pillared clay by intragallery ammonia-catalyzed hydrolysis of tetraethoxysilane using quaternary ammonium surfactants as gallery templates // Journal of Colloid and Interface Science. 2009. V. 336. №. 1. P. 244-249. doi: 10.1016/j.jcis.2009.03.039
- 4 De Paiva L.B., Morales A.R., Díaz F.R.V. Organoclays: Properties, preparation and applications // Applied Clay Science. 2008. V. 42. №. 1-2. P. 8-24. doi: 10.1016/j.clay.2008.02.006
- 5 De Stefanis A., Tomlinson A.A.G. Towards designing pillared clays for catalysis // Catalysis Today. 2006. V. 114. №. 2-3. P. 126-141. doi: 10.1016/j.cattod.2006.01.019
- 6 Guggenheim S., Martin R.T. Definition of clay and clay mineral: joint report of the AIPEA nomenclature and CMS nomenclature committees // Clays and clay minerals. 1995. V. 43. P. 255-256.
- 7 Chen J., Liu X., Li G., Nie X. et al. Synthesis and characterization of novel SiO₂ and TiO₂ co-pillared montmorillonite composite for adsorption and photocatalytic degradation of hydrophobic organic pollutants in water // Catalysis Today. 2011. V. 164. №. 1. P. 364-369. doi: 10.1016/j.cattod.2010.11.014

- 8 Mishra T., Parida K. Transition metal pillared clay 4. A comparative study of textural, acidic and catalytic properties of chromia pillared montmorillonite and acid activated montmorillonite // *Applied Catalysis A: General*. 1998. V. 166. №. 1. P. 123-133. doi: 10.1016/S0926-860X(97)00247-0
- 9 Qin Z., Yuan P., Zhu J., He H. et al. Influences of thermal pretreatment temperature and solvent on the organosilane modification of Al13-intercalated/Al-pillared montmorillonite // *Applied Clay Science*. 2010. V. 50. №. 4. P. 546-553. doi: 10.1016/j.clay.2010.10.011
- 10 Aouad A., Mandalia T., Bergaya F. A novel method of Al-pillared montmorillonite preparation for potential industrial up-scaling // *Applied Clay Science*. 2005. V. 28. №. 1-4. P. 175-182. doi: 10.1016/j.clay.2004.02.003
- 11 Manaratne C.H., Rajapakse R.M.G., Dissanayake M. Ionic conductivity of poly (ethylene oxide)(PEO)-montmorillonite (MMT) nanocomposites prepared by intercalation from aqueous medium // *Int. J. Electrochem. Sci*. 2006. V. 1. P. 32-46.
- 12 Coiai S., Cicogna F., de Santi A., Pérez Amaro L. et al. MMT and LDH organo-modification with surfactants tailored for PLA nanocomposites // *Express Polymer Letters*. 2017. V. 11. №. 3. doi: 10.3144/expresspolymlett.2017.18
- 13 Cumkur E.A., Baouz T., Yilmazer U. Poly(lactic acid) – layered silicate nanocomposites: The effects of modifier and compatibilizer on the morphology and mechanical properties // *Journal of Applied Polymer Science*. 2015. V. 132. №. 38. doi: 10.1002/app.42553
- 14 Goswamee R.L., Ayril A., Bhattacharyya K.G., Dutta D.K. Novel synthesis of active metal oxide surface from a self-organizing system of inorganic solids, Mater // *Lett*. 2000. V. 46. №. 2-3. P. 105-108. doi: 10.1016/S0167-577X(00)00150-6
- 15 Lagaly G., Ziesmer S. Colloid chemistry of clay minerals: The coagulation of montmorillonite dispersions // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2003. V. 100. P. 105-128. doi: 10.1016/S0001-8686(02)00064-7
- 16 Ibragimov M.A., Shishkina N.N., Zinovjeva E.G. Reinforcement of elastomers based on butadiene rubbers and their mixtures with layered silicates // *Key Engineering Materials*. 2020. V. 869. №. 4. P. 158–162. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.869.158
- 17 Пат. № 2569791, RU, В41М 5/00. Способ получения вещества защитной метки, содержащего микрокристаллы алмаза с активными пv-центрами, обладающими свойствами, модифицированными радиационным воздействием, способ защиты от подделок и проверки подлинности изделий с помощью указанной метки / Елисеєва И.В., Туренко С.В., Лемпорт П., Рахматуллин А., Киселев И., Багряшов С.В. № 2014143418/12; Заявл. 28.10.2014; Опубл. 27.11.2015, Бюл. № 33.
- 18 Zhang L.Q., Wang Y.Z., Wang Y.Q., Sui Y. et al. Morphology and mechanical properties of clay/styrene-butadiene rubber nanocomposites // *J. Appl. Polym. Sci*. 2000. V. 78. P. 1873–1878.
- 19 Пат. № 98101496, CN. Process for preparing clay-rubber nm-class composite material / Zhang L.Q., Wang Y.Z., Yu D.S., Wang Y.Q. et al. Publ. 1998.
- 20 Polonik V.D., Prokopchuk N.R., Shashok Zh.S. Properties of elastomeric composites with fluorinated additive // *Proceedings of BSTU*. 2013. V. 4. P. 129–131.
- 21 Ибрагимов М.А., Хуссейн Фадл Х.Х., Акмырадов А.А., Антонов В.А. и др. Влияние слоистых силикатов на механические и термические свойства резин на основе бутадиен-стирольного каучука // *Инновации и инвестиции*. 2021. № 7. С. 77–81.

References

- 1 Uddin F. Clays, nanoclays, and montmorillonite minerals. *Metallurgical and Materials Transactions A*. 2008. V. 39. no. 12. pp. 2804-2814.
- 2 Caccamo M.T., Mavilia G., Mavilia L., Lombardo D. et al. Self-assembly processes in hydrated montmorillonite by FTIR investigations. *Materials*. 2020. vol. 13. no. 5. pp. 1100. doi: 10.3390/ma13051100
- 3 Li B., Mao H., Li X., Ma W. et al. Synthesis of mesoporous silica-pillared clay by intragallery ammonia-catalyzed hydrolysis of tetraethoxysilane using quaternary ammonium surfactants as gallery templates. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2009. vol. 336. no. 1. pp. 244-249. doi: 10.1016/j.jcis.2009.03.039
- 4 De Paiva L.B., Morales A.R., Díaz F.R.V. Organoclays: Properties, preparation and applications. *Applied Clay Science*. 2008. vol. 42. no. 1-2. pp. 8-24. doi: 10.1016/j.clay.2008.02.006
- 5 De Stefanis A., Tomlinson A.A.G. Towards designing pillared clays for catalysis. *Catalysis Today*. 2006. vol. 114. no. 2-3. pp. 126-141. doi: 10.1016/j.cattod.2006.01.019
- 6 Guggenheim S., Martin R.T. Definition of clay and clay mineral: joint report of the AIPEA nomenclature and CMS nomenclature committees. *Clays and clay minerals*. 1995. vol. 43. pp. 255-256.
- 7 Chen J., Liu X., Li G., Nie X. et al. Synthesis and characterization of novel SiO₂ and TiO₂ co-pillared montmorillonite composite for adsorption and photocatalytic degradation of hydrophobic organic pollutants in water. *Catalysis Today*. 2011. vol. 164. no. 1. pp. 364-369. doi: 10.1016/j.cattod.2010.11.014
- 8 Mishra T., Parida K. Transition metal pillared clay 4. A comparative study of textural, acidic and catalytic properties of chromia pillared montmorillonite and acid activated montmorillonite. *Applied Catalysis A: General*. 1998. vol. 166. no. 1. pp. 123-133. doi: 10.1016/S0926-860X(97)00247-0
- 9 Qin Z., Yuan P., Zhu J., He H. et al. Influences of thermal pretreatment temperature and solvent on the organosilane modification of Al13 intercalated/Al-pillared montmorillonite. *Applied Clay Science*. 2010. vol. 50. no. 4. pp. 546-553. doi: 10.1016/j.clay.2010.10.011
- 10 Aouad A., Mandalia T., Bergaya F. A novel method of Al-pillared montmorillonite preparation for potential industrial up-scaling. *Applied Clay Science*. 2005. vol. 28. no. 1-4. pp. 175-182. doi: 10.1016/j.clay.2004.02.003
- 11 Manaratne C.H., Rajapakse R.M.G., Dissanayake M. Ionic conductivity of poly (ethylene oxide)(PEO)-montmorillonite (MMT) nanocomposites prepared by intercalation from aqueous medium. *Int. J. Electrochem. Sci*. 2006. vol. 1. pp. 32-46.
- 12 Coiai S., Cicogna F., de Santi A., Pérez Amaro L. et al. MMT and LDH organo-modification with surfactants tailored for PLA nanocomposites. *Express Polymer Letters*. 2017. vol. 11. no. 3. doi: 10.3144/expresspolymlett.2017.18

13 Cumkur E.A., Baouz T., Yilmazer U. Poly(lactic acid) – layered silicate nanocomposites: The effects of modifier and compatibilizer on the morphology and mechanical properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 2015. vol. 132. no. 38. doi: 10.1002/app.42553

14 Goswamee R.L., Ayral A., Bhattacharyya K.G., Dutta D.K. Novel synthesis of active metal oxide surface from a self-organizing system of inorganic solids, *Mater. Lett.* 2000. vol. 46. no. 2-3. pp. 105-108. doi: 10.1016/S0167-577X(00)00150-6

15 Lagaly G., Ziesmer S. Colloid chemistry of clay minerals: The coagulation of montmorillonite dispersions. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2003. vol. 100. pp. 105-128. doi: 10.1016/S0001-8686(02)00064-7

16 Ibragimov M.A., Shishkina N.N., Zinovjeva E.G. Reinforcement of elastomers based on butadiene rubbers and their mixtures with layered silicates. *Key Engineering Materials*. 2020. vol. 869. no. 4. pp. 158–162. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.869.158

17 Eliseeva I.V., Turenko S.V., Lempert P., Rakhmatullin A., Kiselev I., Bagryashov S.V. A method for producing a protective mark substance containing diamond microcrystals with active nv-centers having properties modified by radiation exposure, a method for protecting against counterfeiting and verifying the authenticity of products using the specified mark. Patent RF, no. 2569791, 2015.

18 Zhang L.Q., Wang Y.Z., Wang Y.Q., Sui Y. et al. Morphology and mechanical properties of clay/styrene-butadiene rubber nanocomposites. *J. Appl. Polym. Sci.* 2000. vol. 78. pp. 1873–1878.

19 Zhang L.Q., Wang Y.Z., Yu D.S., Wang Y.Q. et al. Process for preparing clay-rubber nm-class composite material. Patent CN, no. 98101496, 1998.

20 Polonik V.D., Prokopchuk N.R., Shashok Zh.S. Properties of elastomeric composites with fluorinated additive. *Proceedings of BSTU*. 2013. vol. 4. pp. 129–131.

21 Ibragimov M.A., Hussein Fadl H.H., Akmyradov A.A., Antonov V.A. and others. The influence of layered silicates on the mechanical and thermal properties of rubbers based on styrene-butadiene rubber. *Innovations and investments*. 2021. no. 7. pp. 77–81. (in Russian)

Сведения об авторах

Азат Ф. Гильмутдинов аспирант, кафедра технологии синтетического каучука, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, azat@savrin.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-9220-4091>

Ахмет А. Акмырадов аспирант, кафедра технологии синтетического каучука, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, akmyradov_2015@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0678-9626>

Вадим А. Антонов старший преподаватель, кафедра физического воспитания и спорта, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, ks90.90@bk.ru

 <https://orcid.org/0009-0004-5965-0777>

Марат А. Ибрагимов к.т.н., доцент, кафедра технологии синтетического каучука, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, ibragimovmarat2008@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3970-1475>

Елена Г. Зиновьева к.х.н., доцент, кафедра общей, неорганической и аналитической химии, Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, пр-т Московский, 15, г. Чебоксары, 428015, Россия, zinelgen@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5591-4446>

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

Azat F. Gilmutdinov graduate student, technology of synthetic rubber department, Kazan National Research Technological University, 68, Karla Marksa St., Kazan, 420015, Russia, azat@savrin.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-9220-4091>

Akhmet A. Akmyradov graduate student, technology of synthetic rubber department, Kazan National Research Technological University, 68, Karla Marksa St., Kazan, 420015, Russia, akmyradov_2015@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0678-9626>

Vadim A. Antonov head teacher, physical education and sports department, Kazan National Research Technological University, 68, Karla Marksa St., Kazan, 420015, Russia, ks90.90@bk.ru

 <https://orcid.org/0009-0004-5965-0777>

Marat A. Ibragimov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of synthetic rubber department, Kazan National Research Technological University, 68, Karla Marksa St., Kazan, 420015, Russia, ibragimovmarat2008@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3970-1475>

Elena G. Zinovjeva Cand. Sci. (Chem.), associate professor, general, inorganic and analytical chemistry department, Chuvash State University named by I.N. Ulyanov, 15, Moskovsky Ave., Cheboksary, 428015, Russia, zinelgen@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5591-4446>

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 03/07/2023	После редакции 26/07/2023	Принята в печать 01/09/2023
Received 03/07/2023	Accepted in revised 26/07/2023	Accepted 01/09/2023

Исследование влияния ультразвукового воздействия на растворы полимеров при получении биоразлагаемых упаковочных материалов

Владислав А. Астахов¹astashik27v@mail.ru 0009-0002-5462-0646Марина И. Губанова¹gubanovami@mgupp.ru 0000-0003-3547-716X¹ РОСБИОТЕХ, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080 Россия

Аннотация. Одним из вариантов улучшения структуры и свойств пленок получаемых из растворов полимеров является ультразвуковое воздействие на растворы различной химической природы. Использование данного влияния на растворы полимеров с разными добавками и агентами, показало не только улучшение физико-механических свойств, но и антибактериальных, что способствовало увеличению срока хранения пищевых продуктов. Основными компонентами композиций исследования которых представлены в научных статьях являлись: поливиниловый спирт, белки и пуллулан, их смешивали с различными добавками и агентами, с разной длительностью воздействия ультразвуковой обработки растворов. Исследуемые композиции имели следующие составы: поливиниловый спирт и гемицеллюлоза с антиоксидантным агентом чая; поливиниловый спирт, натрий-карбоксиметилцеллюлоза, наночастицы оксида цинка, а также многослойные графеновые нанопластины; поливиниловый спирт и хитозан; коллаген рыбьей чешуи, поливиниловый спирт и сорбат калия; яичный белок; белок киноа и хитозан; белок гороха; гидролизат рисового белка и хитозан; гидролизат сывороточного белка; водный экстракт сои с пчелиным воском и эфирным маслом гвоздики; овсяный белок с пуллуланом и низином; пуллулан с добавлением наномульсии с эфирным маслом корицы; пуллулан и трегалоза с насыщением полифенолами чая. Некоторые изготовленные пленки из данных составов тестировались на пищевых продуктах, таких как клубника, яблоко, груша и кексы. Исходя из рассмотренных научных данных можно сделать вывод, что для улучшения свойств пленок из растворов полимеров необходимо оптимальное время воздействия ультразвука на растворы, так как более длительное ультразвуковое воздействие может ухудшить физико-механические свойства, а именно снизить прочность на растяжение и удлинение при разрыве, в отличие от умеренного воздействия.

Ключевые слова: ультразвук, растворы полимеров, поливиниловый спирт, биоразлагаемые материалы, белок, пуллулан.

Investigation of the effect of ultrasonic exposure on polymer solutions in the production of biodegradable packaging materials

Vladislav A. Astakhov¹astashik27v@mail.ru 0009-0002-5462-0646Marina I. Gubanova¹gubanovami@mgupp.ru 0000-0003-3547-716X¹ Russian Biotechnological University, Volokolamsk highway, 11, Moscow, 125080 Russia

Abstract. One of the options for improving the structure and properties of films obtained from polymer solutions is ultrasonic exposure to solutions of various chemical nature. The use of this effect on polymer solutions with various additives and agents showed not only an improvement in physical and mechanical properties, but also antibacterial properties, which contributed to an increase in the shelf life of food products. The main components of the compositions whose studies are presented in scientific articles were: polyvinyl alcohol, proteins and pullulan, they were mixed with various additives and agents, with different duration of exposure to ultrasonic treatment of solutions. The studied compositions had the following compositions: polyvinyl alcohol and hemicellulose with an antioxidant agent of tea; polyvinyl alcohol, sodium-carboxymethyl cellulose, zinc oxide nanoparticles, as well as multilayer graphene nanoplates; polyvinyl alcohol and chitosan; fish scale collagen, polyvinyl alcohol and potassium sorbate; egg white; quinoa protein and chitosan; pea protein; rice protein hydrolysate and chitosan; whey protein hydrolysate; aqueous soy extract with bee wax and essential oil of cloves; oat protein with pullulan and nizin; pullulan with the addition of nanoemulsion with cinnamon essential oil; pullulan and trehalose with tea polyphenols saturation. Some of the films made from these formulations were tested on food products such as strawberries, apples, pears and cupcakes. Based on the considered scientific data, it can be concluded that in order to improve the properties of films from polymer solutions, it is necessary to have an optimal time of ultrasound exposure to solutions, since longer ultrasonic exposure can worsen the physical and mechanical properties, namely, to reduce the tensile strength and elongation at break, in contrast to moderate exposure.

Keywords: polymers, ultrasound, polyvinyl alcohol, protein, pullulan.

Введение

Полимерная упаковка постоянно используется в современной жизни. В пищевом производстве в основном используют упаковку из синтетических полимеров, которую трудно переработать. В результате увеличивается поток пластика в океаны, который может привести к глобальной проблеме с окружающей средой [1]. Поэтому упаковка из биоразлагаемых полимеров

набирает популярность в пищевой отрасли. В большинстве случаев в состав биоразлагаемой упаковки входит несколько полимеров, а также добавки, которые могут увеличить срок годности продуктов питания при хранении и транспортировке. Такую упаковку можно дополнить различными агентами и добавками, выделенными из отходов производств пищевой промышленности [2]. Антиоксидантные агенты

Для цитирования

Астахов В.А., Губанова М.И. Исследование влияния ультразвукового воздействия на растворы полимеров при получении биоразлагаемых упаковочных материалов // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 180–186. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-180-186

For citation

Astakhov V.A., Gubanova M.I. Investigation of the effect of ultrasonic exposure on polymer solutions in the production of biodegradable packaging materials. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 180–186. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-180-186

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

могут увеличить срок хранения продуктов питания, тем самым превращая обычную биоразлагаемую упаковку в антимикробную, такая упаковка называется активной упаковкой.

Для изготовления упаковки применяют природное сырье в виде крахмалов [3], целлюлозы, белков и подобных пленкообразующих веществ [4]. Производство активной упаковки из растворов биополимеров с различными агентами требует хорошего смешения компонентов и однородности, что не всегда можно достичь за счет физико-механического воздействия. Для улучшения совмещения компонентов исследователи начали использовать ультразвуковую обработку растворов, которая улучшает однородность структуры для изготовления пленки. В данном обзоре рассмотрим информацию о влиянии ультразвука на свойства растворов полимеров при изготовлении упаковки из растительных и синтетических биоразлагаемых растворов полимеров.

Цель работы – обобщить и проанализировать найденные данные и оценить влияние ультразвуковой обработки полимерных растворов.

Материалы и методы

В обзор были включены статьи, монографии, опубликованные на английском и русском языках электронных баз данных ScienceDirect, Scopus, Web of Science, cyberleninka.ru и elibrary.ru. Поиск был ограничен периодом с 2019 по 2023 год; В центре внимания были статьи, опубликованные в научных журналах, прошедшие процедуру рецензирования, подтверждающую ее качество.

Результаты

Композитные биоразлагаемые пленки, изготовленные физико-механическим путём при помощи обычного смешения компонентов, не всегда имеют однородную структуру. Таким образом, исследование получения упаковки из поливинилового спирта и гемицеллюлозы с антиоксидантным агентом чая, показывает, что включение антиоксидантного агента чая в композитные пленки путем физического смешения может привести к плохой дисперсии антиоксидантного агента в матрице пленки. Так как в большинстве случаев, пленки, изготовленные из растительных пленкообразователей, имеют вязкую структуру с множеством микропузырьков. Для однородной структуры пленки с антиоксидантом чая использовали ультразвук, который влиял на микропузырьки, разбивая их на мелкие частицы, превращая все компоненты

в однородную массу. При помощи ультразвуковой обработки, множественное скопление используемого агента распределилось по всему раствору пленкообразующего состава, благодаря этому, исследование показало, что поверхности образцов обработанных ультразвуком в течении 45 минут получились гладкими с хорошим поверхностным сцеплением и с минимальным значением шероховатости в пределах 22–24 нм (рисунок 1), в отличие от необработанных образцов, что показывает положительное воздействие на однородность структуры [5].

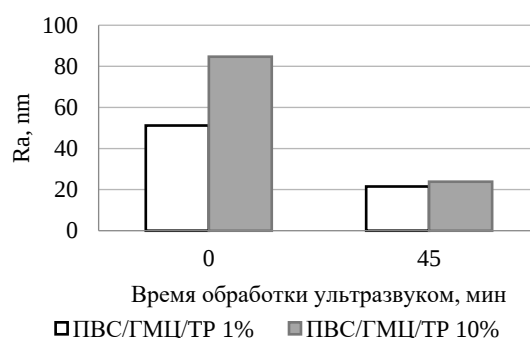


Рисунок 1. Влияние ультразвуковой обработки на шероховатость поверхности: ПВС – поливиниловый спирт; ГМЦ – гемицеллюлоза; ТР – антиоксидантный агент чая

Figure 1. The effect of ultrasonic treatment on a rough surface: PVA – polyvinyl alcohol; HMC – hemicellulose; TP – antioxidant agent of tea

Другими исследователями проводилось аналогичное исследование с изготовлением композитной пленки. В качестве пленкообразователя использовали поливиниловый спирт с добавлением антиоксидантного агента чая, в разном соотношении с воздействием ультразвуковой обработки в временном диапазоне от 0 до 40 минут. Данные образцы пленок были сделаны методом литья на ленту, результаты исследования показали, что обработка ультразвуком повысила барьерные свойства, но при длительной обработке свыше 30 минут физико-механические свойства стали ухудшаться, а именно снизился предел прочности на растяжение и удлинение при разрыве [6].

Кроме использования полифенолов чая с поливиниловым спиртом, исследователи Китая изготовили упаковку для продолжительного хранения клубники, которая увеличила срок хранения, а также способствовала уменьшению потери веса образцов клубники. В данном эксперименте композитные пленки были с разным составом в который входил поливиниловый спирт, натрий-карбоксиметилцеллюлоза, наночастицы оксида цинка, а также многослойные

графеновые нанопластины с обработкой ультразвуком. Для эксперимента брали разные сочетания компонентов. В ходе проведенных исследований было выявлено, что добавление наночастиц оксида цинка и графеновых нанопластин в состав поливинилового спирта, натрий-карбоксиметилцеллюлозы уменьшило прочность полученной пленки, но увеличило ее антибактериальные свойства против грамположительных и грамотрицательных патогенных пищевых бактерий. Наиболее эффективная упаковка для хранения клубники получилась со следующим составом: поливиниловый спирт, натрий-карбоксиметилцеллюлоза, наночастицы оксида цинка, многослойные графеновые нанопластины в соотношении (7:3). Данное исследование доказало, что обработка пленкообразующих растворов при помощи ультразвука улучшило механические свойства пленки [7].

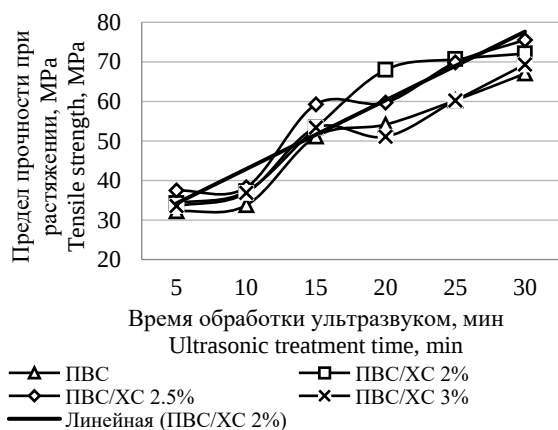


Рисунок 2. Влияние ультразвуковой обработки на предел прочности при растяжении: ПВС – поливиниловый спирт; ХС – хитозан

Figure 2. Effect of ultrasonic treatment on ultimate tensile strength: PVA – polyvinyl alcohol; CS – chitosan

В качестве пленкообразователей с поливиниловым спиртом можно использовать коллаген рыбьей чешуи, который улучшает свойства упаковки с ультразвуковой обработкой, что показали исследователи Xue Liang, Shiyi Feng, Saeed Ahmed и другие. Они изготовили композитную пленку на основе коллагена рыбьей чешуи, поливинилового спирта и сорбата калия в роли антибактериального агента. Проанализировав данные, можно сделать вывод, что добавление коллагена рыбьей чешуи снизило светопропускание композитной пленки, в то время, как сорбат калия не оказал существенного влияния на данный показатель. Также обработка ультразвуком снизила паропроницаемость, улучшила прочность на разрыв и удлинение при разрыве (рисунок 4).

Также можно привести пример изготовления двухслойной пленки на основе поливинилового спирта и хитозана для упаковки клубники. Поливиниловый спирт и хитозан брали в разном соотношении и с разным временем обработки от 0–30 минут. Наилучший эффект получился при обработке в 25 минут, что показывает, то что увеличение времени обработки ультразвуком не всегда улучшает качество пленки. Образец с 25 минутной ультразвуковой обработкой получился с однородной структурой, также данный метод изготовления увеличил предел прочности при растяжении (рисунок 2) и уменьшил вязкость готового раствора полимеров (рисунок 3), что позволяет создать наиболее тонкое покрытие. Благодаря данному смешению компонентов, у пленки появились антибактериальные свойства, что хорошо повлияло на эксперимент с увеличением срока годности клубники в период низкотемпературного хранения [8].

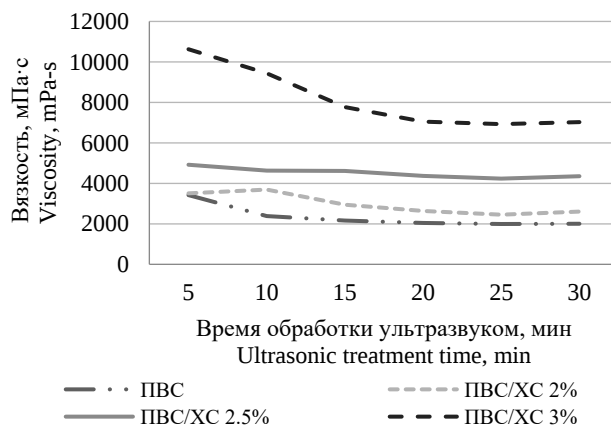


Рисунок 3. Влияние ультразвуковой обработки на вязкость пленкообразующего раствора: ПВС – поливиниловый спирт; ХС – хитозан

Figure 3. Influence of ultrasonic treatment on the viscosity of the film-forming solution: PVA – polyvinyl alcohol; CS, chitosan

Кроме того, пленка проявила антибактериальные свойства в отношении *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*. Пленка с содержанием коллагена рыбьей чешуи, поливинилового спирта и сорбата калия 9% с ультразвуковой обработкой в 45 минут, показала лучшие показатели паропроницаемости в отличие от аналогичной пленки обрабатываемой ультразвуком 60 минут. Таким образом, увеличение времени обработки ультразвуком повлекло за собой уменьшение предела прочности при растяжении и удлинение при разрыве, а паропроницаемость увеличилась. Это доказывает, что увеличение времени обработки может ухудшить свойства, из-за разрыва большого количества химических связей, что повлияло на ухудшение формирования сетчатой

структуры пленки. Подобную пленку можно использовать в качестве антимикробной упаковки для пищевых продуктов [9].

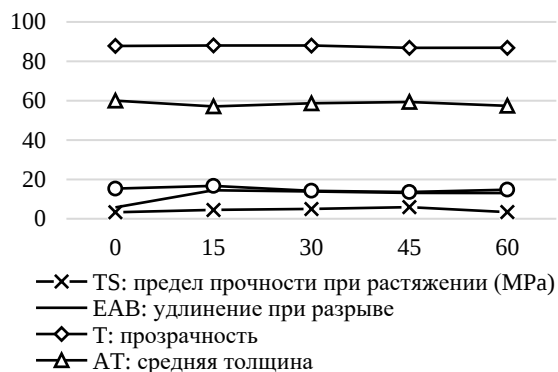


Рисунок 4. Свойства пленки, полученной с использованием ультразвуковой обработки композитной пленки с содержанием коллагена рыбьей чешуи, поливинилового спирта и сорбата калия 9%

Figure 4. Properties of a film obtained using ultrasonic treatment of a composite film containing fish scale collagen, polyvinyl alcohol and potassium sorbate 9%

Хорошим пленкообразователем является белок, в данном случае яичный. На его основе изготавливали пищевые пленки с улучшенными свойствами, которые модифицировали при помощи высокоинтенсивного звукового излучения. Свойства пленок изменились в лучшую сторону, а именно: повысилась термическая стабильность, увеличилось количество гидрофобных групп и межмолекулярных водородных связей, а также и сшивка между белками. В результате пленка стала наиболее гибкой с лучшими физическими качествами. Данное улучшение свойств наблюдалось при 10 минутной обработке высокоинтенсивным звуковым излучением, в отличие от более длительной обработки, при которой ухудшались свойства пленки [10]. Как, и в исследовании с изготовлением пленки из поливинилового спирта и хитозана, чрезмерная обработка ухудшает свойства пленки [8].

Кроме белков животного происхождения используют растительные белки для изготовления биоразлагаемого упаковочного материала. Комбинированное воздействие высокоинтенсивного ультразвука с воздействием трансклутаминазой с включением наночастиц улучшает барьерные и физико-механические свойства пищевых пленок на основе белка киноа и хитозана. Данное комбинированное воздействие увеличило толщину пленки и прочность на растяжение, уменьшив процент удлинения [11].

Одним из видов растительного белка является белок гороха. Который был изучен Американскими учеными из университета

штата Флорида. Исследователи использовали изолят горохового белка для изготовления пленок на белковой основе под влиянием высокой интенсивности ультразвука. Учеными было обнаружено, что ультразвук изменяет структуру белка, что вызывает появление гидрофобных групп в большем количестве на поверхности при снижении электростатического отталкивания. Также ультразвук улучшает структуру пленки устраняя трещины и уменьшая белковые скопления на ее поверхности. Кроме этого, ультразвуковая обработка не повлияла на толщину пленки и удлинение при разрыве. Эти структурные изменения были подтверждением улучшения свойств пленки из изолята горохового белка [12].

Изолят горохового белка имеет плохую растворимость и эмульгирование. Исследования показали, что при комбинированной обработке ультразвуком и изменением pH, растворимость и эмульгирование значительно улучшаются, особенно при мощности ультразвуковой обработки 500 Вт [13].

Кроме исследований изолятов белка также в качестве эксперимента проводились исследования с использованием гидролизата рисового белка, но так как гидролизат рисового белка не способен образовывать пленку, в качестве модификатора добавляли хитозан под действием ультразвука. Результаты исследований показали хорошее смешение компонентов за счет уменьшения размера частиц и вязкости пленкообразующих растворов. Также увеличилось удлинение при разрыве. Ультразвуковая обработка улучшила водородные связи и ковалентные взаимодействия, за счет чего образовалась пленка [14].

Комбинированная обработка ультразвуком микробной трансклутаминазы способна модифицировать структуру концентрата сывороточного белка. Данные комбинации показали, что ультразвуковая обработка пленкообразующих растворов сывороточного белка способствовала уменьшению паропроницаемости, толщины пленки и увеличению устойчивости к механическим воздействиям, а добавление микробной трансклутаминазы в растворы обработанные ультразвуком не повлияли на свойства, кроме их цвета. Проницаемость пленок, обработанных ультразвуком, была ниже, чем у пленок, обработанных термообработкой. Пленки из термообработанных растворов показали лучшие механические свойства [15].

Ультразвук за счет акустического эффекта способен совместить водный экстракт сои, пчелиный воск и эфирное масло гвоздики

превращая данные компоненты в пленку, а в дальнейшем в упаковку для продукции. Как показывают проведенные исследования ультразвуком улучшил совмещение компонентов, повысив барьерные и механические свойства пленки. Данная упаковка из этой пленки тестировалась на продолжительности срока годности кексов и показала, что эта упаковка способна сохранить влажность и внешний вид кексов до 6 дней в условиях окружающей среды. Качественный тест пленки показал, что пленка разлагается в течении 12 дней, что делает ее экологичной [16].

Овсяный белок также используют в качестве пленкообразователей вместе с пуллуланом с использованием воздействия ультразвука для улучшения различных свойств пленок. Результаты исследований с изготовлением такой пленки показали уменьшение коэффициента пропускания света, проницаемости водяного пара и кислорода, а также увеличение однородности. Кроме этого данный состав изменяли и добавляли низин. Добавление низина сопровождалось снижением прозрачности и влажности пленки, а также уменьшением общего содержания растворимых веществ. Тем самым ультразвуковая обработка по сравнению с обычным смешением повлияла на данный состав пленки увеличив удлинение при разрыве и прозрачность, а также усиление межмолекулярных связей, тем самым превращая в однородную поверхность [17].

В другом исследовании для изготовления антибактериальной пленки из пуллулана была добавлена наноземля эфирного масла корицы при ультразвуковой обработке. За счет ультразвуковой эмульсации удалось совместить наноземлю масла с пуллуланом получив антибактериальную пленку с улучшенными свойствами. Ультразвук значительно уменьшил размер капель масла и превратил раствор в однородную структуру. Пленка, изготовленная из данных компонентов показала наименьшую паропроницаемость и максимальное удлинение при разрыве за счет пластифицирующего действия наноземли [18].

Упаковка на основе пуллулана [19] испытывалась на свежесрезанных яблоках и грушах, но уже с иным составом. Она изготавливалась из пуллулана и трегалозы с насыщением полифенолами чая. Под действием ультразвука данный состав значительно увеличил удлинение при разрыве, прочность на растяжение, а также повысил барьерные свойства композитной пленки по отношению к ультрафиолету, воде и кислороду. Кроме того, пленка показала хорошие антибактериальные свойства в отношении *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*. Таким образом, ультразвук оказался эффективным воздействием для улучшения качества упаковочных пленок для пищевых продуктов с широким спектром применения [20].

Заключение

Ультразвук улучшает структуру различных растворов биополимеров, воздействуя на микропузырьки разбивая их, тем самым улучшая смешение компонентов с дополнительными антиоксидантными и противомикробными агентами. Полученные покрытия становятся более эластичными, приобретают однородную структуру, уменьшается шероховатость полученных пленок из растворов биоразлагаемых полимеров различной химической природы. Данные пленки исходя из исследований, показали хорошие результаты по продолжительности сохранения товарного вида различных продуктов питания. Ультразвуковая обработка растворов биополимеров является перспективным направлением для развития по исследованию различных материалов в связке с различными противомикробными и антиоксидантными агентами для изготовления активных упаковок. Данные упаковки могут не только помочь сохранять экологию всей планеты, благодаря своей биоразлагаемости и экологичности, но и также увеличивать срок годности продуктов при хранении и транспортировке. Метод ультразвуковой обработки актуален, потому, что за счет данного воздействия на растворы полимеров, можно улучшить их свойства и изготовить новую активную модифицированную упаковку.

Литература

- 1 Талипова Г.А., Галяветдинов Н.Р. Разработка биоразлагаемых композиционных материалов из полимера и растительного наполнителя // Актуальные проблемы биологии и экологии: материалы международной научно-практической конференции. 2019. С. 235–240.
- 2 Espinosa E., Rincón E., Morcillo-Martín R., Rabasco-Vílchez L. et al. Orange peel waste biorefinery in multi-component cascade approach: Polyphenolic compounds and nanocellulose for food packaging // *Industrial Crops and Products*. 2022. V. 187. doi: 10.1016/j.indcrop.2022.115413
- 3 Тверитникова И.С., Кириш И.А., Безнаева О.В., Банникова О.А. и др. Разработка упаковочных материалов с антимикробными свойствами и способностью к биоразложению // *Вестник Технологического университета*. 2021. № 7. С. 78–83.
- 4 Shima J., Seid M.J., Ali S., Abdorreza M.N. et al. Biodegradable green packaging with antimicrobial functions based on the bioactive compounds from tropical plants and their by-products. // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. V. 100. P. 262–277. doi: 10.1016/j.tifs.2020.04.017

- 5 Wang Y., Li J., Guo X., Wang H. et al. Active Biodegradable Polyvinyl Alcohol–Hemicellulose/Tea Polyphenol Films with Excellent Moisture Resistance Prepared via Ultrasound Assistance for Food Packaging. // *Coatings*. 2021. V. 11. doi: 10.3390/coatings11020219
- 6 Yaowen L., Shuyao W., Weijie L., Wen Q. Development of ultrasound treated polyvinyl alcohol/tea polyphenol composite films and their physicochemical properties // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2019. V. 51. P. 386. doi: 10.1016/j.ultsonch.2018.07.043
- 7 Ji T., Zhang R., Dong X., Sameen D.E. et al. Effects of Ultrasonication Time on the Properties of Polyvinyl Alcohol/Sodium Carboxymethyl Cellulose/Nano-ZnO/Multilayer Graphene Nanoplatelet Composite Films // *Nanomaterials*. 2020. V. 10. doi: 10.3390/nano10091797
- 8 Ding J., Zhang R., Ahmed S., Liu Y. et al. Effect of Sonication Duration in the Performance of Polyvinyl Alcohol/Chitosan Bilayer Films and Their Effect on Strawberry Preservation // *Molecules*. 2019. V. 24. doi: 10.3390/molecules24071408
- 9 Liang X., Feng S., Ahmed S., Qin W. et al. Effect of Potassium Sorbate and Ultrasonic Treatment on the Properties of Fish Scale Collagen/Polyvinyl Alcohol Composite Film // *Molecules*. 2019. V. 24. doi: 10.3390/molecules24132363
- 10 Wanqing D., Qiong X., Xiaoxian H., Long S. Structure and properties of egg white protein films modified by high-intensity ultrasound: An effective strategy // *Food Research International*. 2022. V. 157. doi: 10.1016/j.foodres.2022.111264
- 11 Antonia V., Cristian T., Lilian A. Effect of high-intensity ultrasound treatment in combination with transglutaminase and nanoparticles on structural, mechanical, and physicochemical properties of quinoa proteins/chitosan edible films // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. V. 144. P. 536. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.12.120
- 12 Jingjing C., Leqi C. Effects of high-intensity ultrasound on the structural, optical, mechanical and physicochemical properties of pea protein isolate-based edible film // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021. V. 80. doi: 10.1016/j.ultsonch.2021.105809
- 13 Jingnan Z., Qian L., Qian C., Fangda S. et al. Synergistic modification of pea protein structure using high-intensity ultrasound and pH-shifting technology to improve solubility and emulsification // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022. V. 88. doi: 10.1016/j.ultsonch.2022.106099
- 14 Lingling W., Jian D., Yong F., Xin P. et al. Effect of ultrasonic power on properties of edible composite films based on rice protein hydrolysates and chitosan // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020. V. 65. doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105049
- 15 Karen C.–D., Ángel C., María E.F.–V., Olga D. et al. Characterization of edible films from whey proteins treated with heat, ultrasounds and/or transglutaminase. Application in cheese slices packaging // *Food Packaging and Shelf Life*. 2019. V. 22. doi: 10.1016/j.fpsl.2019.100397
- 16 Kumar V.A., Pravitha M., Yadav A., Pandiselvam R. et al. Influence of ultrasonic application on soybean aqueous extract based composite edible film: Characterization and their food application // *Food Hydrocolloids*. 2023. V. 135. P. 108210. doi: 10.1016/j.foodhyd.2022.108210
- 17 Lixin K., Qiufang L., Huanxin C., Qiusuo Z. et al. Insights into ultrasonic treatment on the properties of pullulan/oat protein/nisin composite film: mechanical, structural and physicochemical properties // *Food Chemistry*. 2023. V. 402. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.134237
- 18 Yifu C., Weiwei C., Xiao F., Chengcheng G. et al. Fabrication, structure and properties of pullulan-based active films incorporated with ultrasound-assisted cinnamon essential oil nanoemulsions // *Food Packaging and Shelf Life*. 2020. V. 25. doi: 10.1016/j.fpsl.2020.100547
- 19 Ben N., Ping S., Hangjun C., Peilong S. Structural and physiochemical characterization of novel hydrophobic packaging films based on pullulan derivatives for fruits preservation // *Carbohydrate Polymers*. 2019. V. 208. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.12.070
- 20 Lixin K., Qiufang L., Arif R., Abdul Q. et al. Ultrasound-assisted development and characterization of novel polyphenol-loaded pullulan/trehalose composite films for fruit preservation // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2023. V. 92. doi: 10.1016/j.ultsonch.2022.106242

References

- 1 Talipova G.A., Galyavetdinov N.R. Development of biodegradable composite materials from polymer and plant filler. Current problems of biology and ecology: materials of the international scientific and practical conference. 2019. pp. 235–240. (in Russian).
- 2 Espinosa E., Rincón E., Morcillo-Martín R., Rabasco-Vílchez L. et al. Orange peel waste biorefinery in multi-component cascade approach: Polyphenolic compounds and nanocellulose for food packaging. *Industrial Crops and Products*. 2022. vol. 187. doi: 10.1016/j.indcrop.2022.115413
- 3 Tveritnikova I.S., Kirsh I.A., Beznaeva O.V., Bannikova O.A. and others. Development of packaging materials with antimicrobial properties and biodegradability. *Bulletin of the Technological University*. 2021. no. 7. pp. 78–83. (in Russian).
- 4 Shima J., Seid M.J., Ali S., Abdorreza M.N. et al. Biodegradable green packaging with antimicrobial functions based on the bioactive compounds from tropical plants and their by-products. *Trends in Food Science & Technology*. 2020. vol. 100. pp. 262–277. doi: 10.1016/j.tifs.2020.04.017
- 5 Wang Y., Li J., Guo X., Wang H. et al. Active Biodegradable Polyvinyl Alcohol–Hemicellulose/Tea Polyphenol Films with Excellent Moisture Resistance Prepared via Ultrasound Assistance for Food Packaging. *Coatings*. 2021. vol. 11. doi: 10.3390/coatings11020219
- 6 Yaowen L., Shuyao W., Weijie L., Wen Q. Development of ultrasound treated polyvinyl alcohol/tea polyphenol composite films and their physicochemical properties. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2019. vol. 51. pp. 386. doi: 10.1016/j.ultsonch.2018.07.043
- 7 Ji T., Zhang R., Dong X., Sameen D.E. et al. Effects of Ultrasonication Time on the Properties of Polyvinyl Alcohol/Sodium Carboxymethyl Cellulose/Nano-ZnO/Multilayer Graphene Nanoplatelet Composite Films. *Nanomaterials*. 2020. vol. 10. doi: 10.3390/nano10091797

- 8 Ding J., Zhang R., Ahmed S., Liu Y. et al. Effect of Sonication Duration in the Performance of Polyvinyl Alcohol/Chitosan Bilayer Films and Their Effect on Strawberry Preservation. *Molecules*. 2019. vol. 24. doi: 10.3390/molecules24071408
- 9 Liang X., Feng S., Ahmed S., Qin W. et al. Effect of Potassium Sorbate and Ultrasonic Treatment on the Properties of Fish Scale Collagen/Polyvinyl Alcohol Composite Film. *Molecules*. 2019. vol. 24. doi: 10.3390/molecules24132363
- 10 Wanqing D., Qiong X., Xiaoxian H., Long S. Structure and properties of egg white protein films modified by high-intensity ultrasound: An effective strategy. *Food Research International*. 2022. vol. 157. doi: 10.1016/j.foodres.2022.111264
- 11 Antonia V., Cristian T., Lilian A. Effect of high-intensity ultrasound treatment in combination with transglutaminase and nanoparticles on structural, mechanical, and physicochemical properties of quinoa proteins/chitosan edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. vol. 144. pp. 536. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.12.120
- 12 Jingjing C., Leqi C. Effects of high-intensity ultrasound on the structural, optical, mechanical and physicochemical properties of pea protein isolate-based edible film. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021. vol. 80. doi: 10.1016/j.ultsonch.2021.105809
- 13 Jingnan Z., Qian L., Qian C., Fangda S. et al. Synergistic modification of pea protein structure using high-intensity ultrasound and pH-shifting technology to improve solubility and emulsification. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022. vol. 88. doi: 10.1016/j.ultsonch.2022.106099
- 14 Lingling W., Jian D., Yong F., Xin P. et al. Effect of ultrasonic power on properties of edible composite films based on rice protein hydrolysates and chitosan. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020. vol. 65. doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105049
- 15 Karen C.-D., Ángel C., María E.F.-V., Olga D. et al. Characterization of edible films from whey proteins treated with heat, ultrasounds and/or transglutaminase. Application in cheese slices packaging. *Food Packaging and Shelf Life*. 2019. vol. 22. doi: 10.1016/j.foodres.2019.100397
- 16 Kumar V.A., Pravitha M., Yadav A., Pandiselvam R. et al. Influence of ultrasonic application on soybean aqueous extract based composite edible film: Characterization and their food application. *Food Hydrocolloids*. 2023. vol. 135. pp. 108210. doi: 10.1016/j.foodhyd.2022.108210
- 17 Lixin K., Qiufang L., Huanxin C., Qiusuo Z. et al. Insights into ultrasonic treatment on the properties of pullulan/oat protein/nisin composite film: mechanical, structural and physicochemical properties. *Food Chemistry*. 2023. vol. 402. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.134237
- 18 Yifu C., Weiwei C., Xiao F., Chengcheng G. et al. Fabrication, structure and properties of pullulan-based active films incorporated with ultrasound-assisted cinnamon essential oil nanoemulsions. *Food Packaging and Shelf Life*. 2020. vol. 25. doi: 10.1016/j.foodres.2020.100547
- 19 Ben N., Ping S., Hangjun C., Peilong S. Structural and physicochemical characterization of novel hydrophobic packaging films based on pullulan derivatives for fruits preservation. *Carbohydrate Polymers*. 2019. vol. 208. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.12.070
- 20 Lixin K., Qiufang L., Arif R., Abdul Q. et al. Ultrasound-assisted development and characterization of novel polyphenol-loaded pullulan/trehalose composite films for fruit preservation. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2023. vol. 92. doi: 10.1016/j.ultsonch.2022.106242

Сведения об авторах

Владислав А. Астахов аспирант, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080 Россия, astashik27v@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0002-5462-0646>

Марина И. Губанова к.т.н., доцент, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080 Россия, gubanovami@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3547-716X>

Вклад авторов

Владислав А. Астахов написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Марина И. Губанова консультация в ходе исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Vladislav A. Astakhov graduate student, industrial design, packaging technology and expertise department, Russian Biotechnological University, Volokolamsk highway, 11, Moscow, 125080, Russia, astashik27v@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0002-5462-0646>

Marina I. Gubanova Cand Sci. (Engin.) assistant professor, industrial design, packaging technology and expertise department, Russian Biotechnological University, Volokolamsk highway, 11, Moscow, 125080, Russia, gubanovami@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3547-716X>

Contribution

Vladislav A. Astakhov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Marina I. Gubanova consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 21/05/2023	После редакции 18/06/2023	Принята в печать 18/08/2023
Received 21/05/2023	Accepted in revised 18/06/2023	Accepted 18/08/2023

Исследование эффективности электромембранного разделения технологических растворов очистных сооружений ООО «РКС–Тамбов»

Олег А. Абоносимов	¹	abontam@inbox.ru	 0000-0002-51057782
Сергей И. Лазарев	¹	sergey.lazarev.1962@mail.ru	 0000-0003-07465161
Марина А. Хребтова	¹	hrebtowa@icloud.com	
Константин К. Полянский	²	kaf-kit@vfreu.ru	
Сергей И. Котенев	¹	kotenev.igor@yandex.ru	
Дмитрий С. Лазарев	¹	sergey.lazarev.1962@mail.ru	

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

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

Аннотация. Совершенствование процессов очистки отходов производства связано с решением экологических задач, предполагающих экономию потребляемых ресурсов окружающей среды и сокращение объема отходов, размещаемых в ней. И то и другое достигается за счёт внедрения малоотходных технологий с возможностью извлечения ценных компонентов и использования очищенных вод в оборотном цикле, среди которых электро-мембранные технологии занимают достойное место. В работе рассмотрена возможность применения электромембранного разделения при очистке технологических растворов очистных сооружений ООО «РКС–Тамбов». В целях изучения влияния параметров проведения процесса разделения на основные кинетические характеристики проведены экспериментальные исследования удельной производительности и коэффициента задержания мембран МГА-95 и ОПМН-П при разделении технологических растворов от фосфат-ионов PO_4^{3-} . Предложены к использованию критериальные зависимости расчета удельной производительности и коэффициента задержания при электромембранном разделении технологических растворов, содержащих фосфат-ионы. Проведен расчет экономической эффективности технологической схемы очистки сточных вод ООО «РКС–Тамбов» с использованием электромембранного аппарата и оценена ее рентабельность. Индекс доходности составит 1,703, то есть больше 1, что считается рентабельным бизнесом. Высокий показатель и рентабельности продукции. Срок окупаемости проекта составляет 2 года, что следует признать хорошим показателем, то есть через 2 года вложенные в проект денежные ресурсы вернутся в хозяйственный оборот. Рассчитанный срок окупаемости предположительно может быть уменьшен, так как цена концентрата нами не проиндексирована на величину инфляции.

Ключевые слова: технологические растворы, мембрана, коэффициент задержания, удельная производительность, электромембранный аппарат.

Study of the efficiency of electromembrane separation of technological solutions of treatment facilities of RKS-Tambov

Oleg N. Abonosimov	¹	abontam@inbox.ru	 0000-0002-51057782
Sergey I. Lazarev	¹	sergey.lazarev.1962@mail.ru	 0000-0003-07465161
Marina A. Hrebtova	¹	hrebtowa@icloud.com	
Konstantin K. Polyansky	²	kaf-kit@vfreu.ru	
Sergey I. Kotenev	¹	kotenev.igor@yandex.ru	
Dmitriy S. Lazarev	¹	sergey.lazarev.1962@mail.ru	

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

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

Abstract. Improving industrial waste treatment processes is associated with solving environmental problems that involve saving consumed environmental resources and reducing the volume of waste disposed of in it. Both are achieved through the introduction of low-waste technologies with the ability to extract valuable components and use purified water in the recycling cycle, among which electro-membrane technologies occupy a worthy place. The paper considers the possibility of using electromembrane separation in the treatment of technological solutions of treatment facilities of RKS-Tambov. In order to study the influence of the parameters of the separation process on the main kinetic characteristics, experimental studies of the specific productivity and retention coefficient of MGA-95 and OPMN-P membranes were carried out during the separation of technological solutions from PO_4^{3-} phosphate ions. Criteria-based dependences for calculating the specific productivity and retention coefficient in the electromembrane separation of process solutions containing phosphate ions are proposed for use. The calculation of the economic efficiency of the technological scheme of wastewater treatment of RKS-Tambov using an electromembrane apparatus was carried out and its profitability was assessed. The profitability index will be 1.703, that is, more than 1, which is considered a profitable business. High rate and profitability of products. The payback period of the project is 2 years, which should be considered a good indicator, that is, after 2 years, the monetary resources invested in the project will return to economic circulation. The calculated payback period can presumably be reduced, since we have not indexed the price of the concentrate to inflation.

Keywords: process solutions, membrane, retention factor, specific productivity, electromembrane apparatus.

Для цитирования

Абоносимов О.А., Лазарев С.И., Хребтова М.А., Полянский К.К., Котенев С.И., Лазарев Д.С. Исследование эффективности электромембранного разделения технологических растворов очистных сооружений ООО «РКС–Тамбов» // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 187–198. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-187-198

For citation

Abonosimov O.N., Lazarev S.I., Hrebtova M.A., Polyansky K.K., Kotenev S.I., Lazarev D.S. Study of the efficiency of electromembrane separation of technological solutions of treatment facilities of RKS-Tambov. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 187–198. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-187-198

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

Введение

Совершенствование процессов очистки отходов производства связано с решением экологических задач, предполагающих экономию потребляемых ресурсов окружающей среды и сокращение объема отходов, размещаемых в ней [1–3]. И то и другое достигается за счёт внедрения малоотходных технологий с возможностью извлечения ценных компонентов и использования очищенных вод в оборотном цикле, среди которых электромембранные технологии занимают достойное место [4–6].

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

В статье [7] представлены данные по электрохимическим и кинетическим характеристикам при исследовании электромембранного процесса с перфторированными сульфокатионитовыми мембранами марки МФ-4СК с варьирующейся удельной влагемкостью и различной концентрацией раствора NaCl. Отмечается, что эффективность использования в электромембранных процессах модифицированных ионообменных мембран доказана результатами измерений их транспортных характеристик.

В статье [8] получены новые композиционные материалы на основе катионообменной мембраны МК-40, модифицированной тонким слоем мембраны МФ-4СК с допированной 2 и 5% оксидом церия. Транспортные характеристики модифицированной мембраны при этом возрастают в ряду $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{H}^+$.

В работе [9] проведены исследования электрохимических характеристик ионообменных мембран, являющимися важнейшими кинетическими характеристиками, получаемыми в результате измерений электрического сопротивления. Зависимости электросопротивления и удельной электропроводности от числа и частоты переменного тока исследуемых катионообменной МК-40 и анионообменной МА-41 мембран соответственно указывают на возможность расчета энергозатрат при математическом моделировании электродиализа раствора NaCl с чередующимися катионообменными и анионообменными мембранами.

В литературе [10] исследован процесс деминерализации растворов алкилароматической аминокислоты и хлорида натрия методами электродиализа и электродеионизации. Установлено, что большие значения степени обессоливания достигаются при использовании турбулентного режима течения жидкости, но потери целевого продукта при этом увеличиваются.

Работа [11] посвящена ресурсосбережению и решению экологических проблем при водоподготовке в условиях гальванического производства (линии никелирования). Авторами с использованием разработанной программы показано, что на уменьшение расхода технической воды гальванических производств влияют противоточные промывки вместе с такими методами очистки, как механическая фильтрация, электродиализ с использованием анионообменной и катионообменной мембран Ralex AM(H) – PP, Ralex CM(H) – PP), а также ионообменные колонны с катионитами и анионитами Purolite C150, Purolite A100Plus. Приведены оптимальные режимы электродиализа в производственных условиях гальванического цеха.

В работе [12] приведено, что с ростом плотности тока в процессе электродиализного разделения раствора нитрата аммония потоки ионов соли проходят через максимум при предельном токе. С ростом плотности тока выше предельного значения поток ионов аммония уменьшается. На уменьшение потока нитрат-ионов в «сверхпредельных токовых режимах» оказывает влияние меняющийся состав и каталитическая активность функциональных групп анионообменной мембраны в отношении к процессу диссоциации молекул воды.

Авторами работы [13] представлены результаты исследований ионообменных и мембранных методов как комплексных методов очистки природных подземных вод с повышенным содержанием катионов металлов (железо, кальций, магний). Изучена селективность и проницаемость нанофильтрационных мембран при очистке модельных растворов и реальных вод, показано влияние соединений железа в исходной воде. Установлено заметное снижение проницаемости мембраны при очистке железосодержащих подземных вод. Представлены рекомендации по использованию ионного обмена и нанофильтрации в качестве комплексных методов очистки природных подземных вод.

Авторами работы [14] исследовано влияние расхода ретентата на формирование потоков воды и хлоридов натрия, магния и кальция при их переносе через нанофильтрационную мембрану Vontron VNF. Установлен рост задерживающей способности мембраны с повышением расхода ретентата, при этом трансмембранный перенос компонентов раствора в мембране Vontron VNF не останавливается даже при рабочем давлении ниже осмотического, что является перспективным результатом при повышении качества энергосберегающего разделения и выделения солей разновалентных металлов.

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

Цель работы – исследование эффективности электро-мембранного разделения технологических растворов очистных сооружений ООО «РКС – Тамбов».

Материалы и методы

В настоящее время в существующем положении схемы очистки сточных вод на очистных сооружениях «РКС – Тамбов» осадок с первичных отстойников и избыточный ил с вторичных отстойников не удаляется из системы в необходимом количестве. При этом происходит накопление загрязняющих веществ и большой прирост биомассы ила, что приводит к снижению эффективности работы первичных и вторичных отстойников, повышенной нагрузки на аэротенки, вторичному загрязнению сточных вод и ухудшению характеристик активного ила (загнивание, повышенный вынос, обескислороживание очищенной воды), что снижает качество очистки сточных вод.

Переработка сточных вод в предлагаемой схеме предусматривает использование электро-мембранного аппарата. Традиционная схема

очистки, не позволяет утилизировать отходы в том виде, который позволял бы их применять в дальнейшем в технологическом процессе, например, вовлекать в хозяйственный оборот очищенную воду и использовать для промышленных нужд концентрат, полученный из отходов в результате их мембранной обработки.

В таблице 1 представ усредненный состав технологических растворов очистных сооружений «РКС–Тамбов». В исследованиях использовали модельные растворы с концентрацией фосфатов в диапазоне 6,0–52,0 г/м³.

Исследования влияния трансмембранного давления и плотности тока на изменение электрохимических и кинетических характеристик выполнялись на экспериментальной установке, представленной в статьях [15–18]. Для оценки погрешности данных, полученных при электро-мембранном разделении исследуемого раствора, экспериментальные исследования повторяли 10 раз при варьировании трансмембранного давления и плотности тока. В результате статистической обработки полученных данных относительное стандартное отклонение не превышало 0,1.

Паспортные характеристики исследуемых мембран марки МГА-95П и ОПМН-П приведены в таблице 2.

Таблица 1.

Состав технологических растворов

Table 1.

Composition of technological solutions

Показатель, мг/дм ³ Indicator, mg/	Первичный отстойник Primary sedimentation tank	Общий сбор Total discharge	ПДК для воды хозяйственно-питьевого назначения MAC for drinking and household water
Фосфаты Phosphates	12,40	6,58	3,5
Хлориды Chlorides	170,30	150,10	350
Сульфаты Sulfates	65,70	85,15	500
Железо Iron	3,15	0,54	0,3
Медь Copper	0,015	0,005	0,1
Цинк Zinc	0,034	0,002	0,5
Никель Nickel	0,012	0,001	0,2
Нефтепродукты Petroleum	2,85	0,070	0,3

Таблица 2.

Паспортные характеристики мембран марки МГА-95П и ОПМН-П [19]

Table 2.

Passport characteristics of MGA-95P and OPMN-P nanofiltration membranes [19]

Марка мембраны Membrane brand	Рабочие характеристики мембран				
	Рабочее давление, МПа Operating pressure, MPa	Минимальная производительность по воде, при T = 298 K, м ³ /м ² ·с Minimum water capacity, at T = 298 K, m ³ /m ² ·s	Коэффициент задержания по 0,15% NaCl, не менее Retention coefficient of 0.15% NaCl, not less	Рабочий диапазон pH Operating pH range	Максимальная температура, K Maximum temperature, K
МГА-95П	4,0	2,22·10 ⁻⁵	0,95	2–12	323
ОПМН-П	1,6	2,77·10 ⁻⁵	0,55		

Мембраны марки МГА-95П имеет активный слой из ацетата целлюлозы. В качестве пористой подложки используется полипропилен или тканый лавсан. Мембрана марки ОПМН-П имеет селективный слой из полиамида. В качестве пористой подложки используется нетканый полипропилен.

Выбор плотностей тока (5,2–22,5 А/м²) обусловлен тем, что пористые полимерные мембраны являются слабо ионизированными и достаточно высокоэффективны при разделении растворов с малыми плотностями тока. Верхняя граница выбрана на основании теоретических и предварительных экспериментальных исследо-

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

Основной кинетической характеристикой электромембранного процесса является удельный выходной поток, который определяется по ниже приведенной зависимости [16–18]:

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

где V – объем полученного пермеата на мембране, м³; F_m – рабочая площадь мембраны, м²;

τ – время выполнения экспериментальных исследований, с.

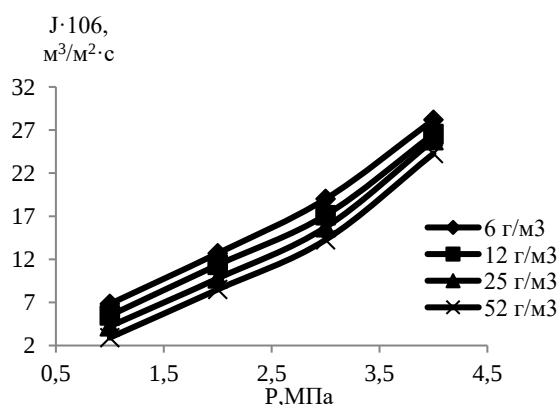
Значение коэффициента задержания, полученного в процессе электромембранного разделения, определяется по формуле:

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

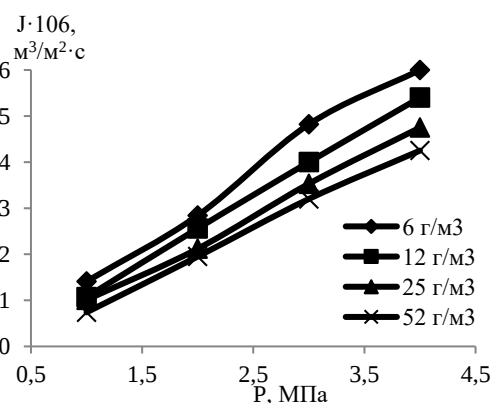
где c , $c_{\text{пер}}$ – концентрация ионов в разделяемом растворе и пермеате.

Результаты и обсуждение

На рисунках 1–3 представлены зависимости удельного потока мембран МГА-95П и ОПМН-П для водного раствора фосфат – ионов от трансмембранного давления и плотности тока.



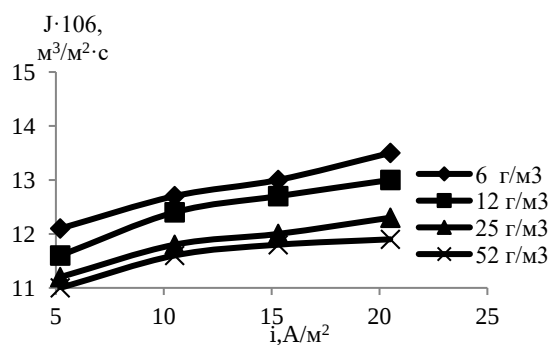
(a)



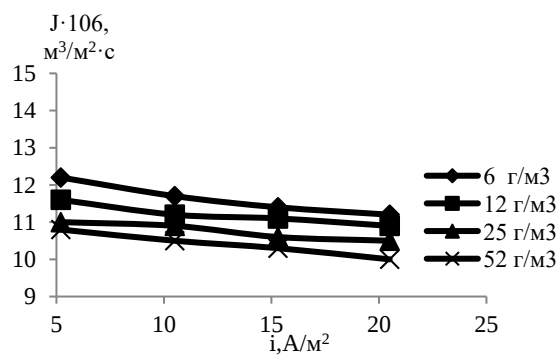
(b)

Рисунок 1. Зависимости удельного потока мембраны ОПМН-П (а) и МГА-95П (б) от трансмембранного давления с постоянной плотностью тока $i = 15,2$ А/м² при электромембранном разделении модельного раствора фосфат-ионов при различной концентрации

Figure 1. Dependences of the specific flux of the membrane OPMN-P (a) and MGA-95P (b) on the transmembrane pressure with a constant current density $i = 15.2$ A/m² during electromembrane separation of a model solution of phosphate ions at different concentrations



(a)



(b)

Рисунок 2. Зависимости удельного потока мембраны ОПМН-П при катодной (а) и анодной (б) от плотности тока $i = 15,2$ А/м² с постоянным трансмембранном давлении $P = 2,0$ МПа при электромембранном разделении модельного раствора фосфат-ионов при различной концентрации

Figure 2. Dependences of the specific flux of the OPMN-P membrane near the cathode (a) and near the anode (b) on the current density $i = 15.2$ A/m² with a constant transmembrane pressure $P = 2.0$ MPa during electromembrane separation of a model solution of phosphate ions at different concentrations

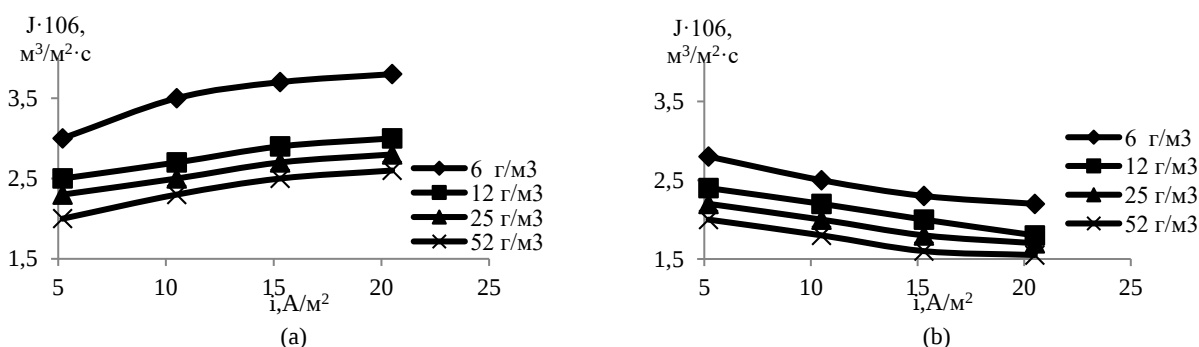


Рисунок 3. Зависимости удельного потока мембраны МГА-95П при катодной (а) и при анодной (б) от плотности тока $i = 15,2 \text{ A/m}^2$ с постоянным трансмембранным давлением $P = 2,0 \text{ МПа}$ при электромембранном разделении модельного раствора фосфат-ионов при различной концентрации

Figure 3. Dependences of the specific flux of the MGA-95P membrane near the cathode (a) and near the anode (b) on the current density $i = 15.2 \text{ A/m}^2$ with a constant transmembrane pressure $P = 2.0 \text{ MPa}$ during electromembrane separation of a model solution of phosphate ions at different concentrations

Значения эмпирических коэффициентов увеличением давления возрастает величина проницаемости мембран, так как увеличивается эффективная движущая сила процесса [16]. Мембрана ОПМН-П имеет большую величину удельного потока по сравнению с МГА-95П, что объясняется различной пористой структурой активного слоя мембран [20]. В тех случаях, когда мембрана не изменяет своей структуры под действием давления, проницаемость воды линейно возрастает с увеличением эффективной движущей силы. Однако, при повышенных давлениях реальные полимерные мембраны не сохраняют свою первоначальную структуру и уплотняются. В связи с этим, начиная с некоторой величины рабочего давления, проницаемость снижается и при определенных давлениях достигает максимума. При дальнейшем увеличении давления проницаемость снижается [20].

Анализ зависимости удельного потока от концентрации показал, что удельный поток через исследуемые мембраны незначительно уменьшается с ростом концентрации для всех веществ. По значениям концентраций исследуемых растворов их можно отнести к разбавленным. Для таких растворов характерно незначительное влияние роста концентрации на проницаемость мембран.

Рассмотрение зависимости удельного потока растворителя от плотности тока показало неоднозначное поведение кривых для прикатодных и прианодных мембран. Данный факт можно объяснить различными величинами групп ионов различных зарядов, влияющих на перенос воды через исследуемые мембраны.

Для теоретического расчета удельного потока растворителя нами было предложено уравнение следующего вида [21]:

$$J = k \left(\Delta P - (k_1 + i^m k_2) C \right) \exp(k_3 C^n) \exp\left(\frac{A}{T}\right), \quad (3)$$

где k_1 , k_2 , k_3 , n , A – числовые коэффициенты, ΔP – перепад трансмембранного давления, МПа;

C – концентрация, кг/м^3 ; T – температура, К; k – коэффициент водопроницаемости мембраны, $\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{МПа}$; i – плотность тока (A/m^2).

В таблице 3 представлены значения эмпирических коэффициентов для уравнения 3.

Таблица 3.
Значения эмпирических коэффициентов

Table 3.
Values of empirical coefficients

Мембрана Membrane	k_1	m	k_2	k_3	n	A
МГА-95 (прианодная) MGA 95 (anode)	-1,43	-0,39	-113,36	2,93	-0,09	9,29
МГА-95 (прикатодная) MGA 95 (near-cathode)	-16,35	0,87	-0,52	3,98	-0,1	7,67
ОПМН-П (прианодная) OPMN P (anode)	0,34	-0,42	-56,61	1,68	-0,13	9,72
ОПМН-П (прикатодная) OPMN P (near-cathode)	-107,63	-0,28	252,03	1,88	-0,15	9,1

На рисунках 4–6 представлены зависимости коэффициента задержания мембран МГА-95П и ОПМН-П для водного раствора фосфат – ионов от трансмембранного давления и плотности тока.

Анализ зависимости коэффициента задержания от градиента давления показал увеличение коэффициента задержания с ростом давления. С ростом давления увеличивается усилие на активный слой мембраны, которая в результате деформации уплотняется [20, 21].

Также отмечено, что с ростом концентрации растворов для всех мембран коэффициенты задержания незначительно уменьшаются, что характерно для электромембранного разделения весьма разбавленных растворов, к которым можно отнести исследуемые растворы.

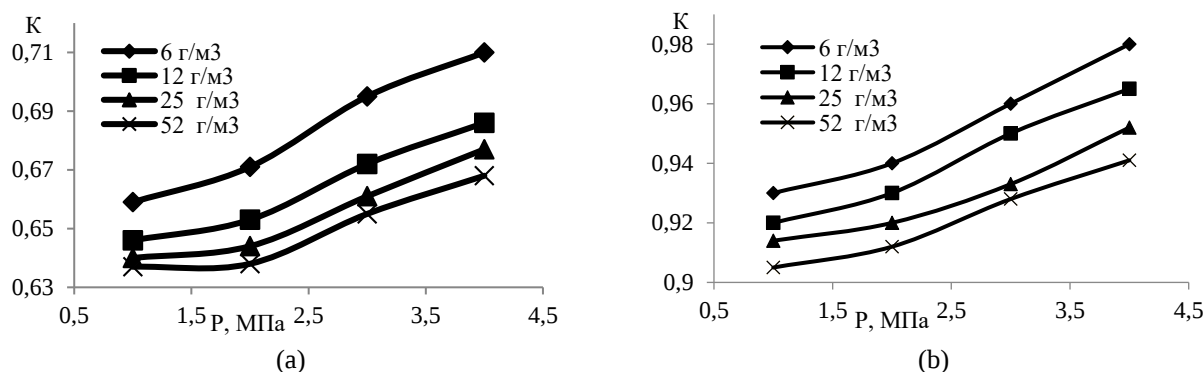


Рисунок 4. Зависимости коэффициента задержания мембраны ОПМН-П (а) и МГА-95П (б) от трансмембранного давления с постоянной плотностью тока $i = 15,2 \text{ A/m}^2$ при электромембранном разделении модельного раствора фосфат-ионов при различной концентрации

Figure 4. Dependences of the retention coefficient of the membrane OPMN-P (a) and MGA-95P (b) on the transmembrane pressure with a constant current density $i = 15.2 \text{ A/m}^2$ during electromembrane separation of a model solution of phosphate ions at different concentrations

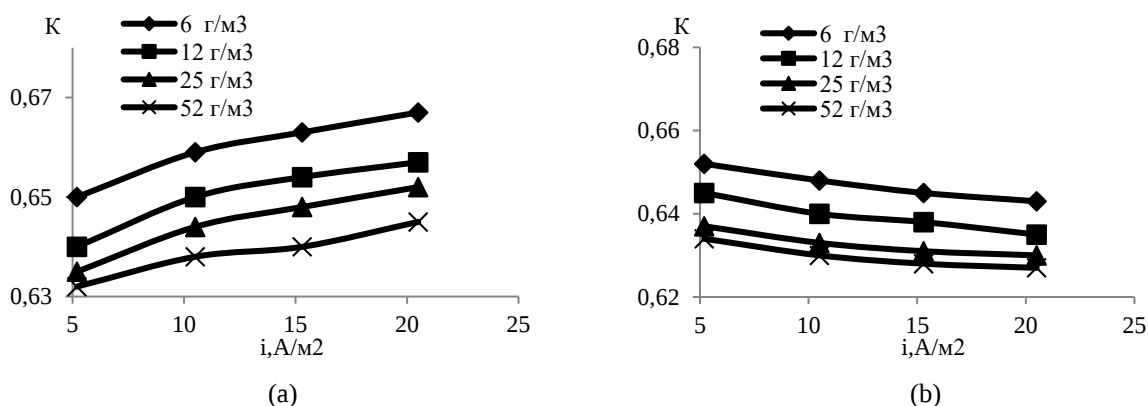


Рисунок 5. Зависимости коэффициента задержания мембраны ОПМН-П прикатодной (а) и прианодной (б) от плотности тока $i = 15,2 \text{ A/m}^2$ с постоянным трансмембранном давлением $P = 2,0 \text{ МПа}$ при электромембранном разделении модельного раствора фосфат-ионов при различной концентрации

Figure 5. Dependences of the retention coefficient of the OPMN-P membrane near the cathode (a) and near the anode (b) on the current density $i = 15.2 \text{ A/m}^2$ with a constant transmembrane pressure $P = 2.0 \text{ MPa}$ during electromembrane separation of a model solution of phosphate ions at different concentrations

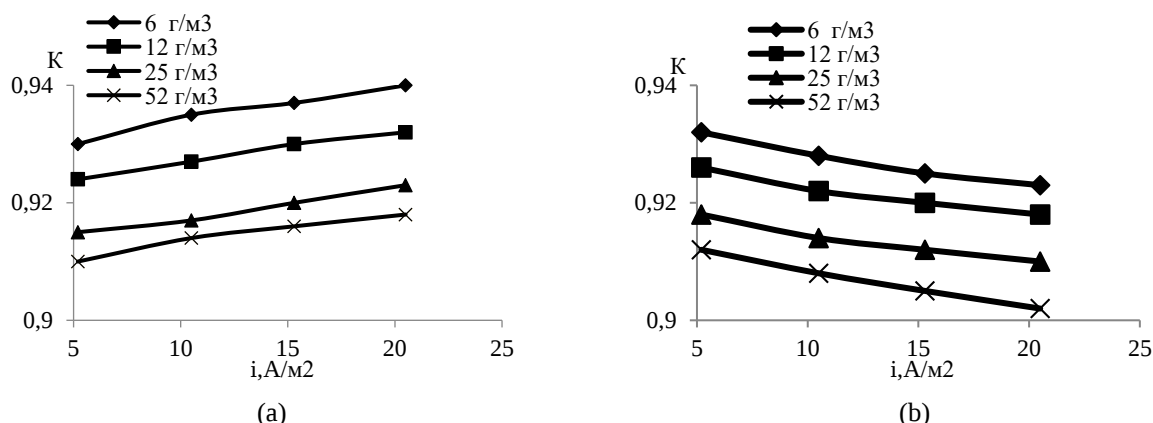


Рисунок 6. Зависимости коэффициента задержания мембраны МГА-95П прикатодной (а) и прианодной (б) от плотности тока $i = 15,2 \text{ A/m}^2$ с постоянным трансмембранном давлением $P = 2,0 \text{ МПа}$ при электромембранном разделении модельного раствора фосфат-ионов при различной концентрации

Figure 6. Dependences of the retention coefficient of the MGA-95P membrane near the cathode (a) and near the anode (b) on the current density $i = 15.2 \text{ A/m}^2$ with a constant transmembrane pressure $P = 2.0 \text{ MPa}$ during electromembrane separation of a model solution of phosphate ions at different concentrations

Коэффициент задержания также находится в линейной зависимости от плотности тока, однако отмечается различное поведение кривых коэффициента задержания для прианодных и прикатодных мембран. Данное явление вызвано «блокировкой» пор прикатодных мембран за счет отвода основной группы ионов [19,20].

Для теоретического расчета коэффициента задержания с наложением электрического тока было получено выражение следующего вида [22]:

$$K = 1 - \left[1 + \left(\frac{1}{k_1 k_p} - 1 \right) \times \left[1 - \exp \left(- \frac{k_2 J k_p i \eta}{D k_p i \eta} \right) \right] \exp(-k_3 J) \right]^{-1}, \quad (4)$$

где k_1 , k_2 , k_3 – эмпирические коэффициенты; i – плотность тока, А/м²; η – выход по току; D – коэффициент диффузии, м²/с.

В таблице 4 представлены значения эмпирических коэффициентов для уравнения 4.

Таблица 4.
Значения эмпирических коэффициентов
для уравнения 4

Table 4.
Values of empirical coefficients for equation 4

Мембрана	k_1	k_2	k_3
МГА-95 (прианодная) MGA 95 (anode)	0,32	1,27	1,05
МГА-95 (прикатодная) MGA 95 (near-cathode)	0,24	1,23	1,02
ОПМН-П (прианодная) OPMN P (anode)	2,33	0,52	11,44
ОПМН-П (прикатодная) OPMN P (near-cathode)	2,24	0,27	10,25

Сравнение экспериментальных и расчетных значений коэффициента задержания показало их удовлетворительное совпадение.

Для проведения оценки экономической эффективности предложенной технологической схемы очистки сточных вод ООО «РКС – Тамбов» были проведены следующие расчёты на основе данных предприятия и полученных результатов по удельному потоку и коэффициентам задержания электромембранных процессов в производстве разделения промышленных растворов.

Отходы производства на предприятии отправляются в иловый резервуар, то есть существующая схема очистки представляет собой механическую технологию.

Себестоимость очистки по данным предприятия составляет 215 руб./т.

За месяц на предприятии накапливается 4500 т. отхода (коэффициент перевода 0,7 для осадков) или 3150 м³. Предприятие работает в 2 смены, 30 календарных дней.

Разработка технологии переработки осадков на предприятии предусматривает монтаж электромембранного оборудования, пусконаладочные работы и ввод объекта в эксплуатацию,

подготовку кадров, что суммарно оценивается в 3,8 млн. руб. (по данным анализа рынка мембранного оборудования в 2022 г. цены на оборудование отечественных производителей в среднем по России снижены на 10–15%). Производительность оборудования по электромембранной очистке технологических растворов – 270–300 т./сутки. Исходя из режима работы предприятия, средний объём промышленных стоков в сутки составляет 150 т. Поэтому оборудование такой производительности вполне обеспечит процесс очистки.

Расчёт затрат на очистку сточных вод ООО «РКС-Тамбов» при электромембранной технологии (в ценах 2022 г.):

1. Затраты на реагенты 47 руб./т. и составят в среднем за месяц:

$$4500 \times 47 = 211500 \text{ руб.}$$

2. Затраты на энергоносители (в месяц):
в смену (4 х 37 кВт/час х 12 час. + 2 х 75кВт. /час х 12 час.)х4 = 14304 руб.
в месяц: 14304 х 30 = 429120 руб.

3. Расходы на оплату труда персонала, включая премии, страховые взносы и взносы на страхование от несчастных случаев на производстве за месяц:

Предусмотрен следующий штат работников, обслуживающих электробаромембранное оборудование: 1 аппаратчик (оклад 15000 р./мес.), 1 технолог (оклад 17000 р./мес.), 1 слесарь (оклад 15000 р./мес.), 1 мастер (17000 р./мес.), 1 лаборант (17000 р./мес.).

Расходы по этой статье за месяц составят: (15000 х 1 + 17000 х 1 + 15000 х 1 + 17000 х 1 + 17000 х 1) х 1,34* = 108540 руб.

*Тарифы страховых взносов в 2022 г.: на пенсионное страхование – 22%; на обязательное социальное страхование – 2,9%; на обязательное медицинское страхование – 5,1%; на страхование от несчастных случаев на производстве – 0,2% (класс предприятия – 1).

4. Стоимость годового обслуживания электромембранного аппарата (по данным поставщика оборудования) составляют 72 000 руб. в год.

За месяц затраты составят: 72 000 руб./12 мес. = 6000 руб.

5. Затраты на амортизацию мембранного оборудования при сроке окупаемости, равным 3 года, в месяц составят:

$$3\,080\,000 \text{ руб.} / 3 \text{ года} / 12 \text{ мес.} = 85\,555 \text{ руб.}$$

6. Производственная себестоимость очистки технологического раствора составит в месяц:

$$211500 + 429120 + 108540 + 6000 = 755\,160 \text{ руб.}$$

В расчете на 1 т. отходов равны: 167,8 руб./т. (755160/4500т.).

В таблице 5 приведена сравнительная оценка традиционной и электромембранной технологий очистки технологических растворов на ООО «РКС-Тамбов».

Сравнительная оценка традиционной и электромембранной технологий очистки технологических растворов на ООО «РКС-Тамбов»

Table 5.

Comparative evaluation of traditional and electromembrane technologies for cleaning technological solutions at RKS-Tambov

Показатели Indicators	Существующая технология очистки Existing treatment technology	Предлагаемая технология очистки Proposed treatment technology
Объём промышленного раствора Volume of industrial solution: – за месяц, т - per month, tons – в смену, т - per shift, tons	4500 75	4500 75 3800,00
Капитальные затраты, руб. Capital expenditures, rub. Эксплуатационные затраты: Operating costs: – на 1 т. раствора, руб. - per 1 ton of solution, rubles.	215,00	167,80
Эффект от очистки раствора: Effect from solution cleaning: – 1 т. раствора, руб. - 1 t of solution, rub. – на весь объём очистки, тыс. руб. - for the whole volume of cleaning, thousand rubles.		20,00 195,50

Для дальнейшего использования отходов производства ООО «РКС-Тамбов» предложено её предварительное концентрирование (обезвоживание) мембранным процессом, с использованием специально разработанного электромембранного аппарата.

На Тамбовском рынке концентрат стоков подобных производств оценивается по 10 380 руб./т. Прибыль предприятия от реализации 1 т. сконцентрированного осадка сточных вод рассчитаем по формуле:

$$P_{\text{пл.}} = C_{\text{отп}} - C_{\text{пол}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{пл.}}$ – прибыль от реализации 1 т. концентрата, руб.; $C_{\text{отп}}$ – цена рыночная за 1 т., руб.; $C_{\text{пол}}$ – полная себестоимость 1 т. концентрата, руб.

$$\Pi = 10380 - 6716 = 3664 \text{ руб.},$$

где 6716 руб. – это себестоимость концентрата, рассчитанная по данным предприятия и исходя из действующих цен на сырье и материалы, требуемые для его (концентрата) переработки.

Тогда прибыль предприятия от реализации всего объёма концентрата за год составит:

$$\Pi = 3664 \times 48,75 \text{ т. (объём концентрата в месяце)} \times 12 \text{ мес.} = 2143440 \text{ руб.}$$

Отходы ООО «РКС-Тамбов» относятся к 1 классу опасности, по которым норматив платы за размещение отходов производства и потребления установлен 716,26 руб./т.

Расчёт суммы платежа за размещение отходов: сумма платы за размещение отходов ($\Pi_{\text{л.отх}}$ руб.) в пределах установленных лимитов находится по выражению:

$$\Pi_{\text{л.отх}} = \sum_{i=1}^n H_{\text{бл.отх}} M_{\text{л.отх}} K_{\text{л.отх}} K_{\text{инф}} K_{\text{доп}} K_{\text{мро}}, \quad (6)$$

при $M_{\text{л.отх}} \leq M_{\text{л.отх.}}^{\text{л.}}$

При размещении отходов в границах городов, населённых пунктов, водоёмов, рекреационных зон и водоохранных территорий применяется коэффициент 5, менее 3 км от границ вышеперечисленных объектов коэффициент 3.

Сумма выплаты за сверхлимитное размещение отходов ($\Pi_{\text{сл.отх}}$ руб.) находится по выражению:

$$\Pi_{\text{л.отх}} = \sum_{i=1}^n H_{\text{бл.отх}} M_{\text{сл.отх}} K_{\text{э.отх}} K_{\text{инф}} K_{\text{доп}} K_{\text{мро}}, \quad (7)$$

где $K_{\text{инф}}$ – коэффициент учитывающий инфляцию в 2022 г. = 1,08; $K_{\text{доп}}$ – дополнительный коэффициент = 1; $K_{\text{мро}}$ – коэффициент месторасположения объекта размещения отходов = 0,3 (так как объект размещения отходов расположен на территории города); $K_{\text{э.отх}}$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния почв в рассматриваемом регионе = 2 (для ЦЧР); $H_{\text{бл.отх}}$ – базовый норматив платы за размещение 1 т. отходов i -го вида в пределах установленных лимитом, руб./т.: $M_{\text{л.отх}}$ – фактическое количество размещённых отходов i -го вида в пределах установленных лимитом. $M_{\text{сл.отх}}$ – годовой лимит на размещение отходов, установленный для предприятия, равен 0,762 т.

Рассчитаем общую сумму платы за размещение отходов ($\Pi_{\text{отх.проект}}$):

$$\Pi_{\text{отх.}} = 0,762 \times 716,26 \times 1,08 \times 1 \times 0,3 \times 2 = 353,67 \text{ руб.}$$

Уменьшение суммы платы за производственные отходы после внедрения проекта: экономия в сумме платы за размещение отходов ($\Delta\Pi$) находится по формуле:

$$\Delta\Pi = \Pi_{\text{отх.}}^{\text{баз}} - \Pi_{\text{отх.}}^{\text{проект}}, \quad (8)$$

где $\Pi_{\text{отх.}}^{\text{баз}}$ – плата за отходы при существующей технологии очистки, руб.; $\Pi_{\text{отх.}}^{\text{проект}}$ – плата за отходы при мембранной технологии, руб.

По данным предприятия плата за размещение отходов составляет в среднем за год 1615,5 руб.

Тогда экономия за год от внедрения программы составит:

$$\Delta = 353,67 - 1615,5 = -1261,83 \text{ руб.}$$

Используя доходный подход в расчёте экономической эффективности проекта электробаромембранной очистки вод на предприятии, рассчитаем:

Денежный поток за первый год реализации проекта найдём по формуле:

$$ДП_1 = П_Г^{РЕАЛ. ПОР} + \Delta П + Р_{УТИЛ} + П_Г^{ЕДИН}, \quad (9)$$

где $П_Г^{РЕАЛ. ПОР}$ – прибыль от реализации всего объема концентрата за год, руб.; $\Delta П$ – экономия в сумме платы за размещение отходов, руб.; $Р_{УТИЛ}$ – расходы на сторонние организации, утилизирующие осадок сточных вод, руб.; $П_Г^{ЕДИН}$ – прибыль единовременная от реализации всего объема концентрата за базовый год, руб.

$$ДП_1 = 2143440 + 3432,63 = 2146872,63 \text{ руб.}$$

Денежный поток за последующие годы найдем без $П_Г^{ЕДИН}$ по формуле:

$$ДП_2 = П_Г^{РЕАЛ. ПОР} + \Delta П + Р_{УТИЛ}, \quad (10)$$

$$ДП_1 = 2143440 + 3432,63 = 2146872,63 \text{ руб.}$$

Индекс доходности: анализируя соотношения суммы приведённых экономических эффектов к величине приведённых капитальных вложений найдём индекс доходности:

$$ИД = \frac{1}{K_{ДОП}} \sum_{i=1}^n ДП_i \frac{1}{(1+E)^i}, \quad (11)$$

где $ДП_1$ – денежный поток программы, руб.; E – норма дисконта = 11%, обычно принимается на уровне среднего банковского процента, %; $K_{ДОП}$ – дополнительные капиталовложения, руб.;

$$ИД = 1/3080000 \times [2146872,63 / (1+0,11)^1 + 2146872,63 / (1+0,11)^2 + 2146872,63 / (1+0,11)^3] = 1,703.$$

$ИД > 1$ – следовательно, проект рентабелен.

Рентабельность продукции: показатель рентабельности характеризует полученную прибыль по отношению к затраченным производственным ресурсам.

Рентабельность продукции (норма прибыли) – относительный уровень прибыли, приходящийся на 1 руб. текущих затрат.

Рентабельность продукции рассчитывается по формуле:

$$R_{ПРОД} = \frac{100 \times П_P}{C_{ПОЛ}}, \quad (12)$$

где $П_P$ – прибыль от реализации 1 т. концентрата, руб.; $C_{ПОЛ}$ – полная себестоимость 1 т. концентрата, руб.

$$R_{ПРОД} = (100 \times 3664) / 6716 = 54,56\%$$

Чистый дисконтированный доход:

$$ЧДД = \sum_{i=1}^n ДП_i \frac{1}{(1+E)^i} - K_{ДОП}, \quad (13)$$

где E – норма дисконта равная приемлемой для инвесторов норме дохода на капитал, принимается = 11%. $ДП_1$ – денежный поток проекта, руб.; $K_{ДОП}$ – дополнительные капиталовложения, руб.

$$ЧДД = [2146872,63 / (1+0,11)^1 + 2146872,63 / (1+0,11)^2 + 2146872,63 / (1+0,11)^3] = 5\,246\,379 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости капитальных вложений ($T_{ОКУП}$) – это время, в течение которого капитальные вложения окупятся приростом прибыли, вызванной данными капитальными вложениями. Он определяется по формуле:

$$T_{ОКУП} = \frac{T \times K_{ДОП}}{\sum_{i=1}^T ДП_i \frac{1}{(1+E)^i}}, \quad (14)$$

где E – норма дисконта%; $ДП$ – денежный поток проекта, руб.; T – количество шагов расчёта; $K_{ДОП}$ – дополнительные капиталовложения, руб.

$$T_{ОКУП} = (3 \times 3080000) / 5246379 = 1,76 \text{ или } 2 \text{ года.}$$

Результаты расчета экономической эффективности электромембранной технологии в сравнении с существующей технологией на предприятии сведём в итоговую таблицу 6.

Таблица 6.

Результаты экономического расчёта базового и проектного вариантов

Table 6.

The results of the economic calculation of the base and design options

Технико-экономические показатели Technical and economic indicators	Существующая схема очистки Existing scheme	Предлагаемая Proposed scheme	Затраты на весь объем очистки, руб. Costs for the entire purification volume, rubles	Изменение величины Change of value
	Затраты на 1 т. очистки, руб. Costs per 1 ton of cleaning, rubles			
Себестоимость Cost of sales	215	167,80		– 212400 *
Прибыль от реализации концентрата Profit from concentrate sales	0	3664	+2143440	+2143440
Плата за размещение отходов (экологический эффект) Waste disposal fee (environmental effect)	1615,5	353,67		-1261,83*
Индекс доходности Profitability index				1,703
Рентабельность продукции Product profitability				54,56%
Чистый дисконтированный доход, руб. Net discounted income, rubles.				5246379
Срок окупаемости, лет Payback period, years				2
Итого: Total:				~200000 руб.

* Знак "минус" в расчётах означает экономию, то есть эффект от внедрения электромембранной технологии, выражается в снижении затрат на очистку и уменьшении платы за размещение отходов.

Как показывают данные вышеприведенной таблицы, внедрение проекта очистки сточных вод позволит получить эффект в общей сумме 200 000 руб., в том числе экономический – 212 400 руб. и экологический – около 1300 руб.

Прибыль от реализации концентрата в сумме 3664 руб. с 1 тонны, а на весь объем – 2 143 440 руб.

При этом уменьшится плата за экологию до 353,67 руб. В суммарном выражении эффект по этой составляющей составит 2 143 794 руб.

Индекс доходности составит 1,703, то есть больше 1, что считается рентабельным бизнесом. Высокий показатель и рентабельности продукции. Он равен 54,56%, то есть с каждого рубля затрат предприятие сможет получить прибыль в размере 54,56 коп. Срок окупаемости проекта составляет 2 года, что следует признать хорошим показателем, то есть через 2 года вложенные в проект денежные ресурсы вернутся в хозяйственный оборот. Рассчитанный срок окупаемости предположительно может быть уменьшен, так как цена концентрата нами не проиндексирована на величину инфляции.

Заключение

В результате проведенных экспериментальных исследований по электромембранному разделению технологических растворов очистных сооружений ООО «РКС – Тамбов» можно сделать следующие выводы:

Получены и интерпретированы экспериментальные данные по коэффициенту задержания и выходному удельному потоку растворителя технологических растворов в зависимости от концентрации разделяемого раствора, трансмембранного давления и плотности тока.

Выявлены аппроксимационные зависимости и вычислены значения эмпирических коэффициентов для теоретического расчета удельного потока и коэффициента задержания электрохимического мембранного процесса разделения технологических растворов в зависимости от физико-химической природы мембраны, концентрации, трансмембранного давления и плотности тока.

Представленные критериальные зависимости могут быть использованы при прогнозировании и разработке лабораторных, пилотных и промышленных электромембранных аппаратов и установок.

Проведен расчет экономической эффективности технологической схемы очистки сточных вод ООО «РКС – Тамбов» с использованием электромембранного аппарата и оценена ее рентабельность.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания.

Литература

- 1 Gogina E., Makisha N. Information technologies in view of complex solution of waste water problems // Appl. Mech. Mater. 2014. V. 587–589. P. 636–639. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.587-589.636
- 2 Сажия В.В., Полковников А.Б., Селдиас И. Проблемы экологии и рационального природопользования в контексте экономического развития России // Успехи в химии и химической технологии. 2009. №. 12(105). С. 94–108. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20211358>
- 3 Павлов Д.В. Разработка новых технологий и оборудования для систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий // Водоснабжение и канализация. 2011. № 1–2. С. 84–89.
- 4 Paidar M., Fateev V., Bouzek K. Membrane electrolysis – History, current status and perspective // Electrochim. Acta. 2016. V. 209. P. 737–756. doi: 10.1016/j.electacta.2016.05.209
- 5 Ярославцев А.Б. Мембраны и мембранные технологии. 2013. 602 с.
- 6 Aliano A., Cicero G. AC Electroosmosis: Basics and lab-on-a-chip applications // Encyclopedia of Nanotechnology. 2012. P. 25–30. doi: 10.1007/978-90-481-9751-4_125
- 7 Кононенко Н.А., Демина О.А., Лоза Н.В., Долгополов С.В. и др. Теоретическое и экспериментальное исследование предельного диффузионного тока в системах с модифицированными перфторированными сульфокатионитовыми мембранами // Электрохимия. 2021. Т. 57. № 5. С. 283–300. doi: 10.31857/S0424857021050066
- 8 Юрова П.А., Стенина И.А., Ярославцев А.Б. Влияние на транспортные свойства катионообменных мембран МК-40 модификации перфторсульфополимером и оксидом церия // Электрохимия. 2020. Т. 56. № 6. С. 568–573. doi: 10.31857/S0424857020060158
- 9 Шапошник В.А., Анисимова Н.О., Коровкина А.С. Электропроводность многослойных монополярных ионообменных мембран // Сорбционные и хроматографические процессы. 2018. Т. 18. № 3. С. 346–351.
- 10 Елисеева Т.В., Харина А.Ю., Черникова Е.Н., Чарушина О.Е. Деминерализация растворов гетероциклической аминокислоты электромембранным методом // Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т. 21. № 4. С. 492–497. doi: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3633
- 11 Мавлетов М.Н., Яруллин А.З., Березин Н.Б., Межевич Ж.В. Локальная очистка сточных вод гальванических производств комбинированным способом с использованием электродиализной установки и ионообменных колонн // Вестник Технологического университета. 2019. Т. 22. № 6. С. 63–66.
- 12 Васильева В.И., Сауд А.М., Акберова Э.М. Разделение водно-солевых растворов фенилаланина электродиализом при использовании мембран с разной массовой долей сульфокатионообменной смолы // Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т. 21. № 4. С. 498–509. doi: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3634
- 13 Чигаев И.Г., Комарова Л.Ф. Исследование нанофильтрации и ионного обмена как комплексных методов очистки природных подземных вод // Вестник Технологического университета. 2019. Т. 22. № 4. С. 99–102.

14 Винницкий В.А., Чугунов А.С., Ершов М.В. Влияние расхода ретентата на мембранное разделение бинарных растворов хлоридов натрия, магния и кальция // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2021. Т. 64. № 10. С. 46–55. doi: 10.6060/ivkkt.20216410.6456

15 Лазарев С.И., Ковалев С.В., Коновалов Д.Н., Ковалева О.А. Анализ кинетических характеристик баромембранного и электробаромембранного разделения раствора нитрата аммония // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2020. Т. 63. № 9. С. 28–36. doi: 10.6060/ivkkt.20206309.6196

16 Абоносимов О.А., Кузнецов М.А., Ковалева О.А., Поликарпов В.М. и др. Кинетические зависимости и технологическая эффективность электрохимического мембранного разделения сточных вод на очистных предприятиях // Вестник ТГТУ. 2017. № 4. Т. 23. С. 641–655. doi: 10.17277/vestnik.2017.04.pp.641–655

17 Абоносимов О.А. Исследование гидродинамической проницаемости обратноосмотических мембран в растворах солей тяжелых металлов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2016. Т. 1. № 59. С. 187–191. doi: 10.17277/voprosy.2016.01.pp.187–191

18 Лазарев С.И., Ковалев С.В., Коновалов Д.Н., Луа П. Электрохимические и транспортные характеристики мембранных систем при электронанофильтрационном разделении растворов, содержащих нитрат аммония и сульфат калия // Электрохимия. 2021. Т. 57. № 6. С. 355–376. doi:10.31857/S0424857021050091

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

20 Дубяга В.П., Бесфамильный И.Б. Нанотехнологии и мембраны // Крит. технологии. Мембраны. 2005. № 3. С. 11–16. doi: 10.1016/0011–9164(91)85060–8

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

22 Абоносимов О.А., Лазарев С.И., Зарапина И.В., Котенев С.И. и др. Критериальные зависимости процесса массопереноса электробаромембранного разделения технологических растворов от тяжелых металлов // Вестник ТГТУ. 2019. Т. 25. № 3. С. 442–452. doi: 10.17277/vestnik.2019.03.pp.442–452

References

1 Gogina E., Makisha N. Information technologies in view of complex solution of waste water problems. Appl. Mech. Mater. 2014. vol. 587–589. pp. 636–639. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.587-589.636

2 Sazhiya V.V., Polkovnikov A.B., Seldias I. Problems of ecology and environmental management in the context of economic development of Russia. Advances in chemistry and chemical technology. 2009. no. 12(105). pp. 94–108. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20211358> (in Russian).

3 Pavlov D.V. Development of new technologies and equipment for recycling water supply systems of industrial enterprises. Water supply and sewerage. 2011. no. 1–2. pp. 84–89. (in Russian).

4 Paidar M., Fateev V., Bouzek K. Membrane electrolysis – History, current status and perspective. Electrochim. Acta. 2016. vol. 209. pp. 737–756. doi: 10.1016/j.electacta.2016.05.209

5 Yaroslavl'tsev A.B. Membranes and membrane technologies. 2013. 602 p. (in Russian).

6 Aliano A., Cicero G. AC Electroosmosis: Basics and lab-on-a-chip applications. Encyclopedia of Nanotechnology. 2012. pp. 25–30. doi: 10.1007/978–90–481–9751–4_125

7 Kononenko N.A., Demina O.A., Loza N.V., Dolgoplov S.V. et al. Theoretical and experimental study of the limiting diffusion current in systems with modified perfluorinated sulfonic cation exchange membranes. Electrochemistry. 2021. vol. 57. no. 5. pp. 283–300. doi: 10.31857/S0424857021050066 (in Russian).

8 Yurova P.A., Stenina I.A., Yaroslavl'tsev A.B. Influence on the transport properties of cation exchange membranes MK 40 modification with perfluorosulfopolymer and cerium oxide. Electrochemistry. 2020. vol. 56. no. 6. pp. 568–573. doi: 10.31857/S0424857020060158 (in Russian).

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

10 Eliseeva T.V., Kharina A.Yu., Chernikova E.N., Charushina O.E. Demineralization of heterocyclic amino acid solutions by the electromembrane method. Sorption and chromatographic processes. 2021. vol. 21. no. 4. pp. 492–497. doi: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3633 (in Russian).

11 Mavletov M.N., Yarul'lin A.Z., Berezin N.B., Mezhevich Zh.V. Local treatment of wastewater from galvanic production using a combined method using an electrodialysis unit and ion exchange columns. Bulletin of the Technological University. 2019. vol. 22. no. 6. pp. 63–66. (in Russian).

12 Vasilyeva V.I., Saud A.M., Akberova E.M. Separation of aqueous-salt solutions of phenylalanine by electrodialysis using membranes with different mass fractions of sulfonic cation exchange resin. Sorption and chromatographic processes. 2021. vol. 21. no. 4. pp. 498–509. doi: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3634 (in Russian).

13 Chigaev I.G., Komarova L.F. Study of nanofiltration and ion exchange as complex methods for purifying natural groundwater. Bulletin of the Technological University. 2019. vol. 22. no. 4. pp. 99–102. (in Russian).

14 Vinnitsky V.A., Chugunov A.S., Ershov M.V. Influence of retentate consumption on membrane separation of binary solutions of sodium, magnesium and calcium chlorides. News of higher educational institutions. Series: Chemistry and chemical technology. 2021. vol. 64. no. 10. pp. 46–55. doi: 10.6060/ivkkt.20216410.6456 (in Russian).

15 Lazarev S.I., Kovalev S.V., Konovalov D.N., Kovaleva O.A. Analysis of the kinetic characteristics of baromembrane and electric baromembrane separation of ammonium nitrate solution. Izv. universities Chemistry and chem. technology. 2020. vol. 63. no. 9. pp. 28–36. doi: 10.6060/ivkkt.20206309.6196 (in Russian).

16 Abonosimov O.A., Kuznetsov M.A., Kovaleva O.A., Polikarpov V.M. et al. Kinetic dependencies and technological efficiency of electrochemical membrane separation of wastewater at treatment plants. Vestnik TSTU. 2017. no. 4. vol. 23. pp. 641–655. doi: 10.17277/vestnik.2017.04.pp.641–655 (in Russian).

17 Abonosimov O.A. Study of hydrodynamic permeability of reverse osmosis membranes in solutions of heavy metal salts. Questions of modern science and practice. University named after IN AND. Vernadsky. 2016. vol. 1. no. 59. pp. 187–191. doi: 10.17277/voprosy.2016.01.pp.187–191 (in Russian).

18 Lazarev S.I., Kovalev S.V., Konovalov D.N., Lua P. Electrochemical and transport characteristics of membrane systems during electron nanofiltration separation of solutions containing ammonium nitrate and potassium sulfate. Electrochemistry. 2021. vol. 57. no. 6. pp. 355–376. doi:10.31857/S0424857021050091 (in Russian).

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

20 Dubyaga V.P., Besfamilny I.B. Nanotechnologies and membranes. Crit. technologies. Membranes. 2005. no. 3. pp. 11–16. doi: 10.1016/0011–9164(91)85060–8 (in Russian).

21 Konovalov D.N., Lazarev S.I., Lua Pepe, Polyansky K.K. Studies of the kinetic and sorption characteristics of OFAM-K and OPMN-P membranes in the process of electron nanofiltration separation of an aqueous solution of potassium sulfate. Proceedings of VSUET. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 24–32. (in Russian).

22 Abonosimov O.A., Lazarev S.I., Zarapina I.V., Kotenev S.I. et al. Criteria dependences of the mass transfer process of electric pressure membrane separation of technological solutions from heavy metals. Vestnik TSTU. 2019. vol. 25. no. 3. pp. 442–452. doi: 10.17277/vestnik.2019.03.pp.442–452 (in Russian).

Сведения об авторах

Олег А. Абоносимов д.т.н., профессор, кафедра механики и инженерной графики, Тамбовский государственный технический университет, Советская, 106, Тамбов, 392000, Россия, abontam@inbox.ru

<https://orcid.org/0000-0002-51057782>

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

<https://orcid.org/0000-0003-07465161>

Марина А. Хребтова аспирант, кафедра механики и инженерной графики, Тамбовский государственный технический университет, Советская, 106, Тамбов, 392000, Россия, hrebtowa@icloud.com

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

Сергей И. Котенев аспирант, кафедра механики и инженерной графики, Тамбовский государственный технический университет, Советская, 106, Тамбов, 392000, Россия, kotenev.igor@yandex.ru

Дмитрий С. Лазарев аспирант, кафедра механики и инженерной графики, Тамбовский государственный технический университет, Советская, 106, Тамбов, 392000, Россия, sergey.lazarev.1962@mail.ru

Вклад авторов

Олег А. Абоносимов обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты, написал рукопись

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

Марина А. Хребтова провела эксперимент

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

Сергей И. Котенев обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Дмитрий С. Лазарев провел эксперимент, выполнил расчёты

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Oleg N. Abonosimov Dr. Sci. (Engin.), professor, mechanics and engineering graphics department, Tambov State Technical University, Sovetskaya 106, Tambov, 392000 Russia, abontam@inbox.ru

<https://orcid.org/0000-0002-51057782>

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

<https://orcid.org/0000-0003-07465161>

Marina A. Hrebtova graduate student, mechanics and engineering graphics department, Tambov State Technical University, Sovetskaya 106, Tambov, 392000 Russia, hrebtowa@icloud.com

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

Sergey I. Kotenev graduate student, mechanics and engineering graphics department, Tambov State Technical University, Sovetskaya 106, Tambov, 392000 Russia, kotenev.igor@yandex.ru

Dmitriy S. Lazarev graduate student, mechanics and engineering graphics department, Tambov State Technical University, Sovetskaya 106, Tambov, 392000 Russia, sergey.lazarev.1962@mail.ru

Contribution

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

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

Marina A. Hrebtova conducted an experiment

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

Sergey I. Kotenev review of the literature on an investigated problem

Dmitriy S. Lazarev conducted an experiment, performed computations

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 30/06/2023	После редакции 16/07/2023	Принята в печать 18/08/2023
Received 30/06/2023	Accepted in revised 16/07/2023	Accepted 18/08/2023

Food packaging Bio-based plastics: Properties, Renewable Biomass resources, Synthesis, and Applications

Emiru Y. Melesse ¹	emydms12@gmail.com	 0000-0002-0871-787X
Yulia A. Filinskaya ¹	filinskayaya@mgupp.ru	 0000-0002-2307-6046
Irina A. Kirsh ¹	irina-kirsh@ya.ru	 0000-0003-3370-4226
Ali Y. Alkhair ¹	alkheerali@gmail.com	 0000-0002-9518-7781
Olga A. Bannikova ¹	bannikovaoa@mgupp.ru	 0000-0003-0633-0003

¹ Russian Biotechnology University, postal code 125080, Moscow, Russia

Abstract. The current trend in food packaging technology necessitates the development of novel packaging materials in order to extend the shelf life of food and reduce spoilage. To preserve the food product, the construction material of the packaging played a key role. In the emerging field of food packaging technology, using biobased plastics for food packaging shown a comparative advantage. At this moment, bioplastics have shown measurable benefits and are receiving more and more attention from business organizations, political figures, scientific communities, and in the whole public. This was as a result of looking for new plastic profiles brands. Besides, the environmental impact (ecological concerns) of convective materials, the depletion of natural resources specifically the petrochemical, and consumer concerns have necessitated alternative bio-based food packaging items. Therefore, the aim of this study was to review the properties of food packaging materials such as thermal, mechanical, barrier, surface, antimicrobial, optical, and environmental, as well as their synthesis type and applications. The cellulose and starch components of the common agricultural wastes for the synthesis of biopolymers were elaborated. In addition to that, different microalgae species were justified in the manufacturing of bio-based plastics. This review article also included examples of sustainable filler and reinforcement materials used in the food packaging industry. Therefore, this review work contributes to opening up the entire body of scientific knowledge on bio-based plastics used for food packaging and helps to develop important results for further investigation.

Keywords: renewable biomass resources, bio-based plastics, properties, food packaging application.

Introduction

Current issues with food packaging materials are different perspectives depending on their utility and operation. Environmental concerns such as the impact of petrochemical plastics, non-biodegradability, non-recyclability, and well disposal methods are current art of research [1]. Plastic waste released worldwide exceeds 400 million tons per year and their non-sustainability and non-recyclability are the current issues. In addition, expects the production rate of plastic waste is expected to increase fourfold in 2050 [1]. Additionally, plastic wastes used for agriculture purposes such as pesticide containers, shading nets, and mulching materials are incremented globally [2, 3]. The second phase concerns food packaging materials to which consumers pertain. The ultimate goal and concern of the current food industry are shelf life and packaging-related issues of materials. Therefore, new bio-based packaging plastics are the main issue for this type of industry. It follows a clean, sustainable chain, good quality, and biodegradability as the needs and criteria of the global food production industries in the application environment. Furthermore, low ecological impact, low cost, easy fit, high economic

value, and recyclability can be achieved by compostable or degradable bio-based plastics [4].

Furthermore, the sustainability and recyclability of food packaging materials can be generated by manufacturing bio-based plastics and polymers. Current methods for synthesizing bio-based plastics are classified into two routes. The first phase generates bio-based precursors from starch, cellulose, and agro-wastes [5], and polylactic acid (PLA) and polyhydroxyalkanoates (PHA) are synthesized from renewable materials by gram-positive and gram-negative bacteria [6]. The second phase of bio-based polymers and plastics is manufactured from non-biodegradable plastics through modification techniques. Antioxidants can be utilized to change the structure of non-biodegradable polymers, and the rate of photo-oxidation biodegradability can also be improved by adding pro-oxidant additives that are exposed to ultraviolet light. So, different agro-wastes used as sources of biobased are investigated, such as horticultural plants, sugarcane bagasse, cotton stalk, rice husks, wheat straw, onion peels, carrot tops, and lemon peel [2]. Indeed, the materials that are used as containers, handled, transported, and used for disposal

Для цитирования

Мелессе И.Й., Филинская Ю.А., Кириш И.А., Альхаир А.Ю., Банникова О.А. Биопластик: свойства, возобновляемые ресурсы биомассы, синтез и применение // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 199–212. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-199-212

For citation

Melesse E.Y., Filinskaya Yu.A., Kirsh I.A., Alkhair A.Y., Bannikova O.A. Food packaging Bio-based plastics: Properties, Renewable Biomass resources, Synthesis, and Applications. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 199–212. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-199-212

as waste after usage are called packaging. Packaging is a critical technique in the food processing industry for keeping food quality and safety while also protecting the food, presenting food, and preventing food degradation by physical, chemical, or biological contamination. Food packaging materials must have excellent quality and full safety standards and should meet the requirements of the government's regulations and policies [7]. The gap in food packaging materials currently research articles have a limitation in comparative representation of microalga, agricultural wastes, and agricultural crops (generally agricultural fresh products), a lack of full information about the bio-plastic properties, and a lack of a well-developed synthesis scheme. By selecting excellent fillers and methodology that have a low cost of production and are comfortable for customers, filling this gap helps to develop novel food packaging bio-plastic materials with excellent properties.

The goal of this review study was to examine previously published work on bio-based polymers critically, as well as to suggest research gaps and future directions. Furthermore, the goal of this review was to go through the features of food packaging materials, renewable biomass resources, bio-based plastics synthesis, application, limitations, and future possibilities. For background information on bio-based plastics, researchers should

read this review paper, which contains an important synopsis of the research on bio-based plastics. Besides, the reference list in this review article can be utilized to locate other articles on bio-based plastic, making it an excellent beginning point for a research study.

1.1 Properties of food packaging materials

Food packaging bio-based materials must have chemical, mechanical, and long shelf life, safety, protection of food loss, and biological protection. The materials used in the development of food packaging are influenced by the use of the package. The selection of food packaging materials is highly dependent on the nature of the food to be packed, the type of design, and shelf-life [7]. Several vital factors must be considered when selecting the packaging materials. The manufacturer or engineer should consider the following primary criteria for choosing materials for food packaging operations: These are economic value, properties, method of manufacturing, end product properties, design type, and market values (needs). The best food packaging material must have excellent properties such as suitable optical properties, good thermal properties, good surface properties, excellent antimicrobial characteristics, good mechanical properties, low barrier properties, and environmental friendliness, which presented in figure 1 [8].

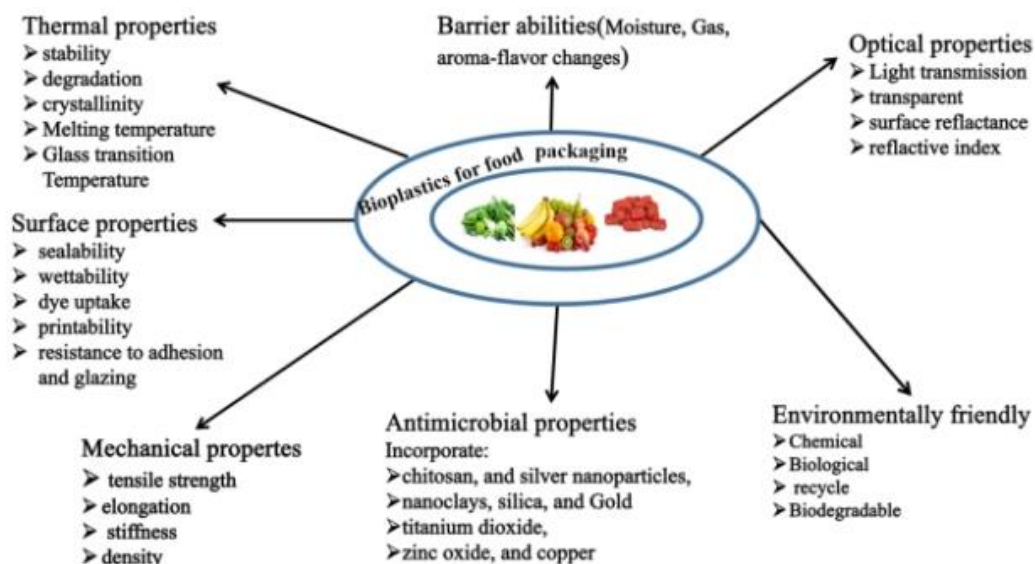


Figure 1. Properties: Bio-plastic of food packaging/Свойства: Пластик пищевой упаковки

1.2 Barrier properties

Food packaging materials are chosen based on their mechanical, thermal, and barrier qualities. The main properties of barriers in packaging are aroma, gas, grease, and vapor, such as water and oxygen. The material should be non-permeable to these barriers [9]. Likewise, the food packaging materials act as good resistance for vapors and gases,

protective layers for food, and act as excellent resistance for vapors, grease, and moisture from the external spaces. Furthermore, maintaining the quality and shelf-life of food by providing enough barriers is the ultimate aim of food packaging materials (both conventional and biobased materials). Rancidity (unpleasant taste and smell) of food is caused by a lack of excellent barriers such as grease,

moisture, or gas barrier properties. The oxidation of fats, as well as the oxidation of oil, occurs by hydration with water and oxidation with oxygen, and this reaction is called rancidity [10]. In addition to gases, grease, and moisture, the aroma properties are also some of the barriers in food packaging. When the packaging bio-based materials have poor or weak aroma protection or barrier, aroma scalping occurs. This enhanced flavor changes through the food aroma diffusing out or the environmental aroma effect. The barrier properties such as gas, grease, aroma, and moisture in food packaging can be improved through nanotechnology integration and improvement techniques. Due to very low production costs in large-scale operations, nano-based composites have great potential to modify and improve the constraint/barrier properties of food packaging materials. The packaging bio-based materials' chemical sustainability and recyclability, showing off while maintaining the desired mechanical and barrier properties, has been elaborated [11].

1.3 Surface properties

The chemical composition and combination of bio-based materials can be customized to be biodegradable films, which are integrated with the optical, mechanical, water transmission rate, and surface properties of the films. Food packaging bio-based polymers with surface properties such as sealability, wettability, dye uptake, printability, and resistance to adhesion and glazing for food surfaces are crucial elements for maintaining the shelf life of products while ensuring excellent quality appearance [12]. In addition, the bio-compatibility of bio-based polymers and plastics depends on the polarity, wettability, modification of the surface, and surface roughness [13].

1.4 Antimicrobial properties

Food safety is one of the basic human rights issues. Without food safety, food is blemished by insects, pathogens, and microbial cells, and it is not good for a human being to consume because it causes illness if consumed. Hence, the prioritized goals of the food industry for end-users/consumers are food safety and food quality. Antimicrobial packaging materials should be combined with antimicrobial treatments to protect foods from germs [14]. By killing and decreasing microbial cell growth, the function of antimicrobial agents can greatly contribute to food preservation and confirm food safety to consumers by killing and decreasing microbial cell growth. Organic and inorganic nano composites are the most effective antibacterial nano materials. These include copper, nano-tubes, cellulose fibers, nano clays, zinc oxide, gold, chitosan, silver nano-particles, and silica [15].

1.5 Environmentally friendly

The packaging materials generated from cellulose, starch, protein, microalgae, and agro-waste should be biodegradable and benign. Currently, the sustainability and green economy of biobased materials is a major concern. Polymers produced during the treatment can be catalyzed by microbial enzymes. Microbes may totally break down environmentally beneficial bioplastics in a fair amount of time and under certain conditions [16].

2 Bio-polymers/plastics Non-biodegradable and Biodegradable polymers

Due to the diversity, properties, and sources of bio-based polymers, their applications are currently increasing. Classifications of plastics and polymers are grouped into (i) petroleum-based and biodegradable, (ii) bio-based and non-biodegradable, and (iii) bio-based and biodegradable. Except for poly (ϵ -caprolactone) (PCL), polybutylene adipate terephthalate (PBAT), and poly (butylene succinate) (PBS), all traditional petroleum-based polymers are generally non-biodegradable [17]. Renewable biomass resources (animals, plants, and microorganisms) are a source of bio-based polymers. Production of Bio-plastics from renewable biomass resources includes plants, microorganisms, and animals have been elaborated. Bio-based polymers can either be directly derived from renewable monomers (e.g., PLA) or produced by microorganisms (e.g., PHAs). The unique characteristics of biodegradable plastics and polymers are that they are ecologically benign (biocompatible and biodegradable). According to figure 2, biopolymers, which are divided into chemical synthesis methods, bacterial synthesis methods, biopolymer blends, and renewable sources, were developed based on the intended product and available ingredients. Non-biodegradable and biodegradable polymers are the two types of polymers. Non-biodegradable polymers are synthesized by chemical methods, but biodegradable polymers are synthesized by microbial, bio-polymer blending, and chemical techniques of production [18]. Chemical synthesis generates two types of end products: convectional and biobased. Polyethylene, Polypropylene, high-density polyethylene, low-density polyethylene, polyethylene terephthalate are generated using the conventional method of synthesis. Next, the PHAs, Bacterial cellulose, and polybutylene succinate are synthesis using the microbial technique. Additionally, the starch blends and polyester blends are synthesized using bio-polymer blending methodology, but cellulose nitrate, polybutylene adipate-co-terephthalate (PBAT), polybutylene succinate, polycaprolactone, and polyvinyl alcohol are produced using a chemical route [16].

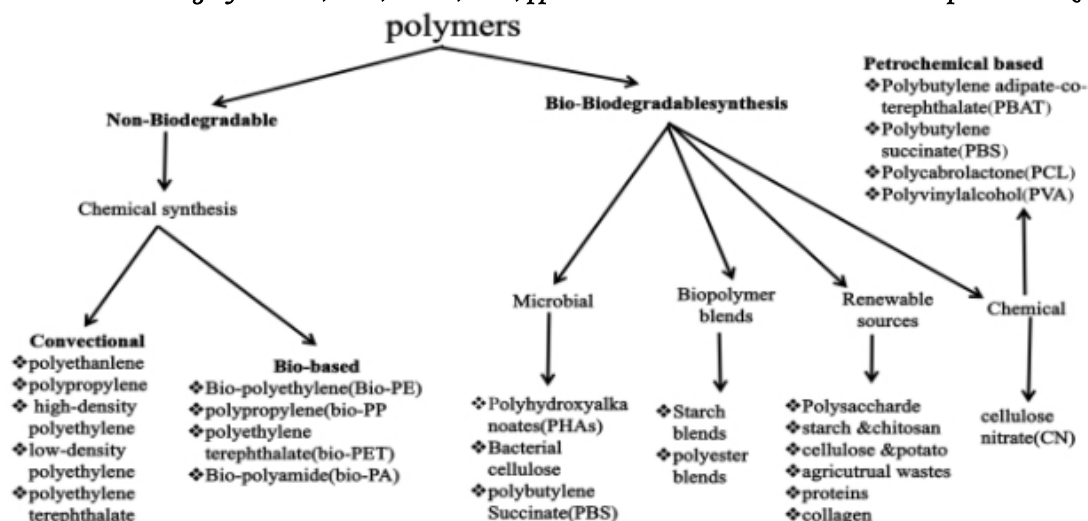


Figure 2. Sources, biodegradability, classification of production, and components of Bio-polymer materials/Источники, биоразлагаемость, классификация производства и компоненты био полимерных материалов

The application of bio-based polymers in the construction, medical, electronic, agricultural, and food sectors depends on the physical properties of the materials. The key criterion for selection in construction are physical attributes such tensile strength, high tensile strength, and yield strength, but for food application, the percentage (%) elongation of the bio-based polymer gives the highest property for utility and operation. In accordance with table 1, the physical properties of the selected

polymers are presented. Starch, PLA, Poly-L-lactide (l-PLA), Poly-D, L-lactide (dl-PLA), PHB, poly (glycolic acid) (PGA), and PCL have different properties [48]. PHB and PGA have the highest Young's modulus and tensile strength. However, they have the lowest percentage of elongation at break [17]. Bio-polymers with the highest densities have high mechanical strength. Therefore, for food packaging, starch and PCL are the best-selected materials because of their highest elongation at break.

Table 1.

Distinct varieties of bio-polymer physical characteristics

property	Kind of biopolymer						
	Starch	PLA	l-PLA	dl-PLA	PHB	PGA	PCL
Melting Temperature [°C]	-	150	170	-	168	220	58
Density [kg/m ³]	1.11	1210	1240	1250	1180	1500	1110
Glass Transition Temperature [°C]	-	45	55	50	5	35	-65
Young's Modulus [MPa]	0.125	0.35	2.7	1	3.5	6	0.21
Tensile strength [MPa]	5	21	15.5	27.6	40	60	20.7
Elongation [%]	31	2.5	3	2	5	1.5	300

3 Sources of bioplastics/polymers Cellulose

Cellulose is the first abundant source of biopolymer on the earth, and algae, microbial cells (fungi and bacteria), plants, and animals are sources of cellulose. It's a syndiotactic homopolymer made up of D-anhydroglucopyranose units connected by β-glycosidic linkages [19]. Cellulose materials' properties and sources depend on the polymerization degree of the structure of the cellulose. As a result, cellulose chains have massive hydrogen bonding, such as intra-molecular and inter-molecular bonds, and a group of glucose units with a large number of hydroxyl groups (Figure 3). The cellulose chain's main structure can be divided into amorphous and crystalline portions. This enhances the high stiffness, strength, durability, and bio-compatibility of the cellulose structure [19,20]. The hydrophilicity, biodegradability, and chirality properties of cellulose depend on the three hydroxyl groups and reactivity. The hydroxyl groups assist the chemical alteration of cellulose through reaction

pathways in order to develop cellulose derivatives for food packaging applications. The reaction mechanisms for chemical fictionalization for altered properties are grouped into cyanoethylation, etherication, hydroxypropylation, and carboxymethylation. A method of synthesis and substituent is used for the cellulose derivatives classification criteria items. Additionally, cotton (90%) and wood (50%) are the main sources of cellulose materials.

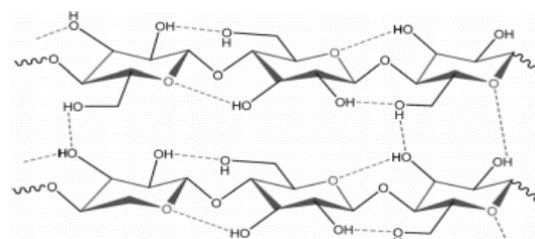


Figure 3. Molecular structure of cellulose linked by hydrogen bonds/Молекулярная структура целлюлозы, связанной водородными связями

The nature of the raw materials and the end product's application influence the biobased polymer's manufacturing process. According to figure 4, the production process of different biobased polymers through microbial fermentation systems has been presented. Renewable resources such as starch-based and cellulosic materials are used as raw materials for bio-polymer synthesis [22]. Corn, cassava, potato, wheat flour, sugar cane, and sugar beet are the most commonly utilized bio-polymers [23]. Pretreatment, chemical/enzyme hydrolysis, fermentation, purification, and polymerization are the crucial steps for biobased polymers [22]. The function of pretreatment is to remove the cover part of the raw materials, exposing the starch or sugar to the enzyme. Next,

the pretreated materials are hydrolyzed by chemical or enzymatic methods. Hydrolysis is responsible for the production of simple sugars. Continuously, the glucose unit is fermented using a positive or negative bacterial cell fermentation scheme. The end product of fermentation is lactic acid. It can be used as an input for different bio-polymer products. After fermentation, the lactic acid is dehydrated, filtration, purification, and polymerization, PLA, biobased polyethylene terephthalate (Bio-PeT), polytrimethylene terephthalate (PTT), Polyamide (PA6), Poly (butylene succinate-co-butylene adipate) (PBSA), PHB, and bio-polyethylene (Bio-PE) are generated [57].

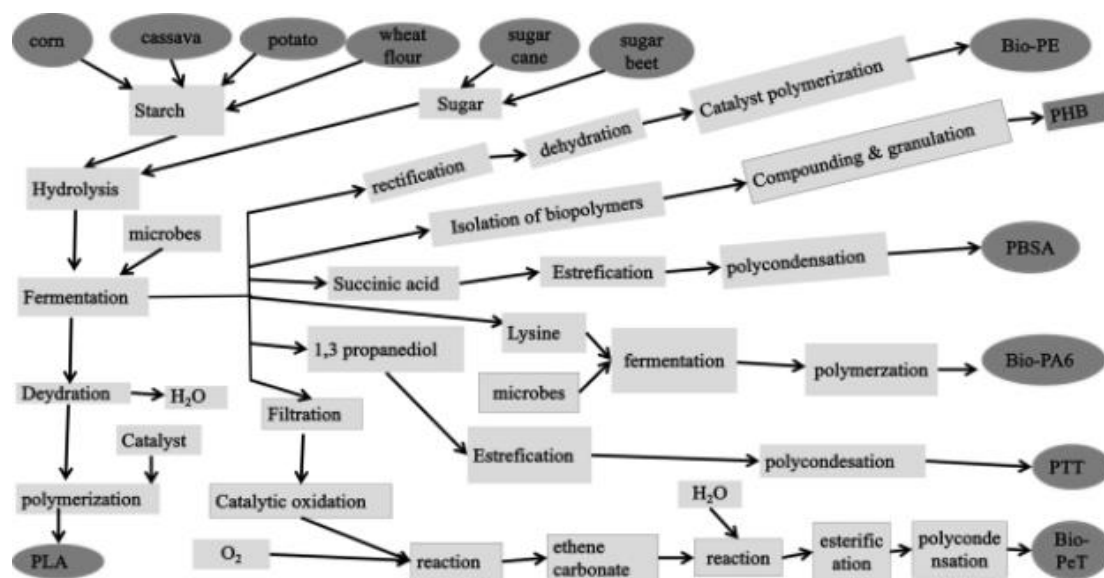


Figure 4. The manufacturing method for bio-based polymers/Способ производства биополимеров

The resultant properties of cellulose interaction in the composites of cellulose-based composites depend on the nature of the material, type of processing, compositions, and additives (figure 5) [24]. There are numerous advantages to using cellulose fibers and derivatives as a filler. The advantages of composites of cellulose fiber/high-density polyethylene and cellulose lyocell fibers/PLA are that they improve thermal and mechanical properties and have unexpectedly high biodegradability and significantly high mechanical characteristics [25]. Significantly, the cellulose fiber/polystyrene and cellulose acetate butyrate composites have the advantage of increased flexural storage modulus, processing speed, increased tensile properties, biodegradability, dimensional stability, and fiber compatibility. Further, the cellulose particles/chitosan composite has a good filler by enhancing the mechanical properties and adsorption capacities of the chitosan film [26]. The functions of cellulose-based composites as matrix are cellulose/MMT clay composite films, cellulose paper/carbon nanotube, carboxymethyl cellulose/carbon fiber composites, cellulose acetate/

hydroxyapatite mineral composites, and methylcellulose/ keratin hydrolysate composite membranes. The function of cellulose/MMT clay composite films and cellulose paper/carbon nanotube in matrix form are high-strength cellulose composite films with excellent antibacterial activities. The resulting matrix is highly flexible, mechanically tough, thermally stable, and suitable for biotechnological applications and has uniform electrical conductivity [27]. Furthermore, the function of carboxymethyl cellulose/carbon fibers and cellulose acetate/hydroxyapatite mineral composites, cellulose gives functional composites a great potential in sensing elements in paper electronics and a useful application of pollutants absorption resulting from a cellulosic polymer's uniform and good ductility. HPA and the cellulose polymer have strong interactions. Indeed, by integrating the protein and polysaccharides of agricultural waste-based biopolymers in food packaging applications, the function of methylcellulose/keratin hydrolysate composite membranes increases the mechanical and thermal properties [28].

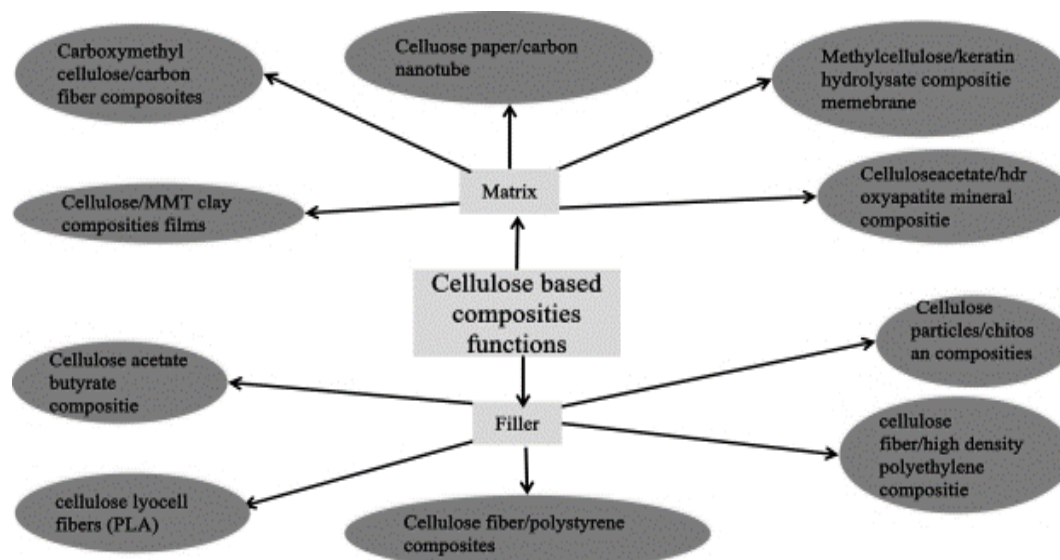


Figure 5. The function of common types of cellulose-based composites/Функция распространенных типов композитов на основе целлюлозы

3.2 Starch sources

Starch is found in plant cell granules that have crystalline (containing amylose linear chains and amylopectin branching points) and amorphous (mainly composed of long amylopectin side chains) structures. According to figure 6, it has two main combined branches of homo-polymers. They're termed amylose and amylopectin, respectively. Amylose is a linearly organized polymer of D-glucose monomers, and amylopectin is a – D-(1-4)-glucan, which has – D(1-6) linkages at the branch point [29]. The main sources of starch from biomass resources are rice, corn, yam root, potato, cassava, wheat, and tapioca. The ratios of starch branches (amylose/amylopectin) depend on the source of plant materials, that is, between 10% to 20% of amylose and 80 to 90% of amylopectin. Starch is easily diffused in water because of its

characteristics. Whether it is cold or hot. At high temperatures, starch forms a gel after cooling. The de-structure(plasticize) of starch can be enhanced by the integration of molecules (concentration between 15–30wt%) that interact via hydrogen bonding. Those interacted molecules are sorbitol, glycerol, and water. They can greatly improve the barrier and mechanical properties of the materials. This thermoplastic starch (TPS) is ideal for making foams and solid molded bio-based materials because of its high temperature and pressure resistance properties. However, because of retrogradation, they become brittle over time. Starch-based materials are also biodegradable, meaning they decompose under the control of microorganisms, fungi cells, temperature, light, water, pressure, and oxygen [30]. Different sources of starch materials and production processes, as well as the products, are presented in figure 4.

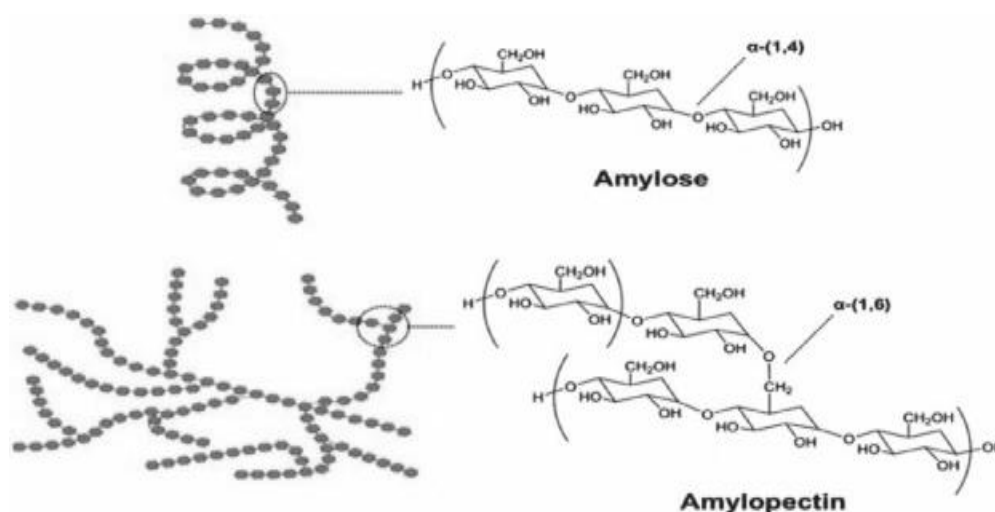


Figure 6. Graphical representation of Amylose and Amylopectin branches/Графическое изображение ветвей амилозы и амилопектина

3.3 Algae sources

Currently, the best and promising alternative inputs for Biobased polymers due to the rate of high growth and non-competition with food are algae. Heretofore, the generation and characterization of bio-based plastics from microalgae materials are evaluated [31]. It can be used as raw material directly or indirectly (extraction of PHBs and starch) for the synthesis of bioplastics. The different routes also incorporated for production such as melt mixing, twin-screw extrusion, hot/compression molding, injection molding, or solvent casting are used for the blend of microalgae with others [32]. The better bio-based plastic behavior (*Chlorella*) with different species and the better blending properties (*Spirulina*) type of microalgae have been examined more than other microalgae's. Besides, extraction of bio-based plastics from *Chlorella pyrenoidosa* was justified bio-based plastic and *Chlorella sorokiniana*-derived starch granules [33]. Using as additive of polyvinyl alcohol for salt-rich *Spirulina* sp. residues were produced different bio-based plastic films. Cyanobacteria such as *Chlorogloea fritschii* species also investigated for the source of bioplastics, *Calothrix scytonemica* and *Neochloris oleoabundans*, residual *Nannochloropsis* after oil extraction [34], and *Nannochloropsis gaditana* [35]. Likewise, for starch synthesis and its derivatives of biobased plastic generation, ten green microalgae were selected as raw materials. The most promising

(*C. reinhardtii* 11–32A) microalgae were responded for starch generating an excellent plasticize incorporated with glycerol at 120 °C [36]. Bioplastics are made from microalgae found in wastewater treatment plants. Consortium microalgae were propagated using nutrients, light, CO₂, and water and harvested from water bodies, and hybrid with a plasticizer (glycerol) for the synthesis of bioplastics. Currently, the biomass of microalgae was combined with petroleum materials for the synthesis of new composites. According to figure 7, the microalgae biomass used for the production of Polyhydroxy butyrate (PHB) through bioreactor is presented and feasible with aid of bacteria microbial cells. The production process of the polyhydroxy butyrate (PHB) consists of upstream, fermentation, and downstream parts. In the upstream such as the cultivation of microalgae, harvesting, and drying is proceeding to the next step (hydrolysis). The dissolution of biomass into individual components is known as hydrolysis. After hydrolysis, the bacterial cells fermentation is performed and given the polyhydroxy butyrate (PHB). The aquatic plants such as Sea weeds and macroalgae are rich in polysaccharides also used as promising biomass sources for bio-based plastics in addition to microalgae. Likewise, recently for the production of bioplastics aided polyethylene glycol as plasticizer the whole red macroalga *Kappaphycus alvarezii* as input material was explored for food packaging applications [37].

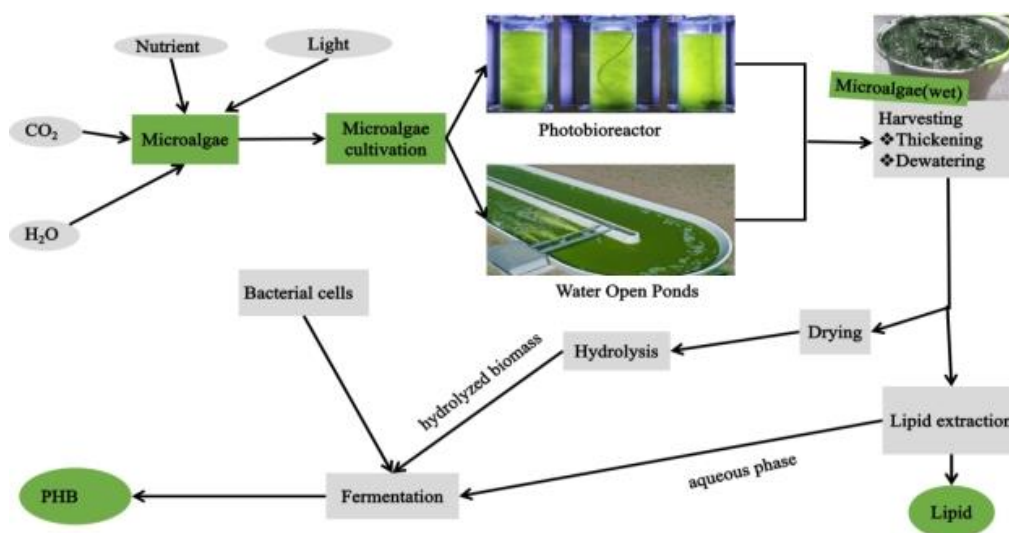


Figure 7. A synthesis scheme of Polyhydroxy butyrate from microalgae/Схема синтеза полигидроксибутирата из микроводорослей

3.4 Agricultural sources

Today, agricultural wastes are the best solution for reducing carbon footprint and environmental concerns used for the synthesis of bio-based polymers. The PCL, PBAT, and PBSA are biodegradable bio-based Polymers as well as carbon chains are susceptible to enzymatic degradation [38]. Groups of butyl rubber, PLAs, CA, polyols, Bio-based

counterpart of bio-PET, PA6, and PHAs polymers are commercially procurable [39]. Chain branches PHAs polymers are classified into short, medium, and long [39]. The strength, stiffness, brittleness, and degree of crystallinity and depend on the length of chains, and the chains types predict the utility in commercial applications. The low chain of the length of bio-based polymers are brittle, less elastic

modulus, however medium-chain of the length of bio-polymers have low crystalline and flexibility (longer elongation). But, the bio-polymers generated from medium agricultural wastes resources are not resistant to high-temperature operations [38].

The main criteria for selection and use of agricultural wastes for biobased plastics are such as food security, bio-availability selection, the complexity of development scheme, starch, and lignocellulosic contents, and end-product properties and eco-friendly. The cellulose content of the agricultural wastes is critical-stage for producing high-strength polymer. According to table 2 the cellulose concentration (% w/w) of hemp, banana

pseudo stem, cotton stalks are highest compared to wheat straw, soya stalks, and coir. The tradeoff in the synthesis of bio-based polymers depends on the content of the cellulose and the eco-friendly (biodegradability) are explained from the Experimental data. Plant cellulose enhances high mechanical strength, but it takes time to degrade by microbes. The biodegradability of cellulose plant polymers has now been determined. The successful replacement of plant cellulose by bacterial cellulose was reported in some studies[40]. The crucial limiting reactants(factors) for the selection of precursors from agriculture waste are cellulose and starch contents.

Table 2.

Ordinary agricultural wastes: chemical compositions

Agricultural waste	Chemical composition (%w/w)					Reference
	Cellulose (%)	Lignin (%)	Hemicellulose (%)	Ash (%)	Total Solids (%)	
Banana pseudo stem	41.45	10.46	23.37	12.4	-	[41]
Hemp	75	15	3	-	-	[42]
Wheat straw	32.9	8.9	24.0	6.7	95.6	[43]
Cotton stalks	58.5	21.5	21.9	11	-	[44]
Rice straw	39.2	36.1	23.5	12.4	98.62	
Sunflower stalks	42.1	13.4	29.7	11.17	-	
sawdust	45.1	24.2	28.1	1.2	98.54	
Soya stalks	34.5	19.8	24.8	10.39	-	
Oat straw	39.4	17.5	27.1	10.39	-	
Coir	36-43	41-45	0.15-0.25	-	-	
Oil palm	47.91	24.45	19.06	-	-	

Bio-based polymers derived from agricultural waste offer a variety of properties. The agro-wastes cellulose content predicts the strength of the polymer, but the thickness of the Bio-based polymer film depends on starch content. The optimum thickness of polymer films is approximately from 0.099 up to 0.1599 mm and correlated with the starch content of agricultural wastes due to the presence of amylose and amylopectin compounds [45]. Excellent mechanical properties of biopolymers are synthesized from thick films than thin films of agro-wastes. Hence, the starch content of ago-waste materials is the first criteria used as a precursor, and micro-algae such as *Scenedesmus sp* and *Chlorella variabilis* have low precursors for the synthesis of bio-degradable polymers than *Chlamydomonas reinhardtii*

micro-algae. The yield of starch depends on the Incubation time, type of the micro-algae, and agricultural precursors. For instance, at 800 h of incubation, the highest yield of starch was produced through *Chlamydomonas reinhardtii* microalgae species. The preference for species with a high starch content comes at the expense of the rate at which the culture grows. A larger cellulose concentration, on the other hand, increases mechanical strength while slowing biodegradation. The general scheme of bio-based plastics from selective agricultural and food wastes is presented in figure 8 [46].

Compared to the agricultural crops (fresh materials) the advantage and disadvantage of the microalgae and agricultural (organic) wastes are elaborated according figure 9.

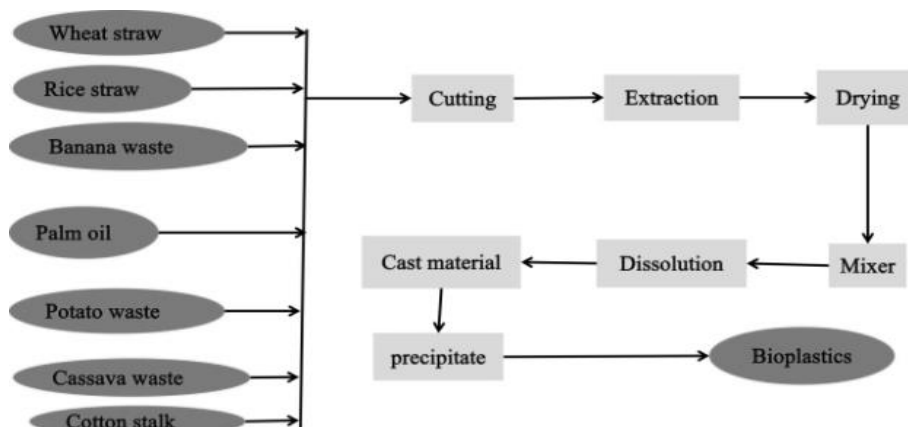


Figure 8. Scheme of Bio-based plastics from selective agricultural and food wastes/Схема производства пластиков на биооснове из селективных сельскохозяйственных и пищевых отходов

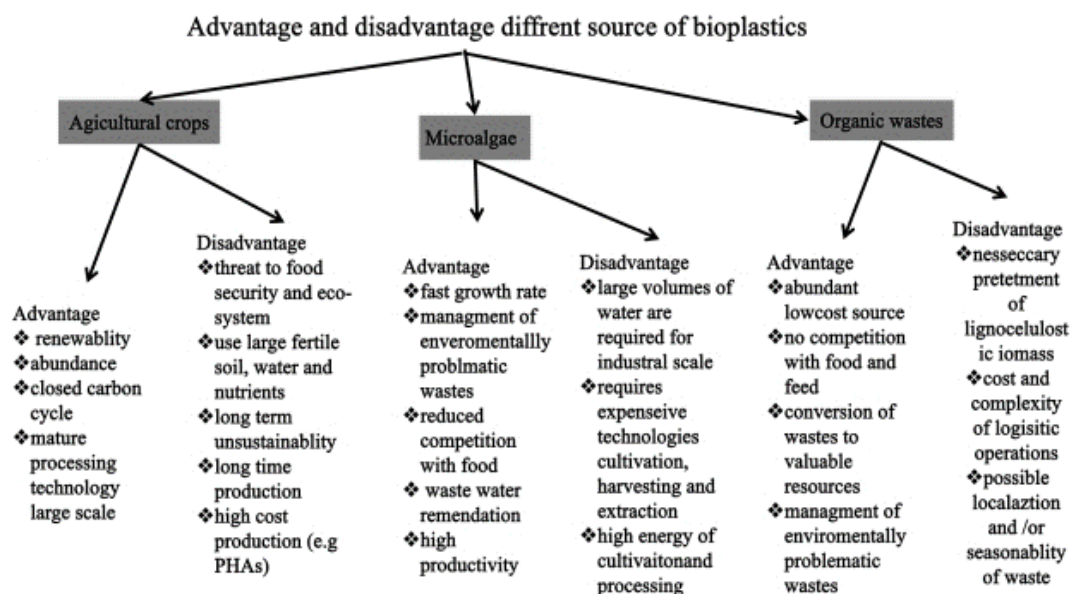


Figure 9. Different Biomass resources for Bioplastics: its advantages and disadvantages/Различные ресурсы биомассы для биопластиков: их преимущества и недостатки

3.5 Application in Food Packaging

Bio-based polymers are increasingly being used in food packaging around the world. The selection of agricultural wastes, algae, and renewable biomass resources for food packaging depends on their sustainability such as cost, social impact, environmental impact, and properties of the materials. Among them, corn starch, PLA, coffee grounds-PBAT composites, blueberry agro-industrial waste, sugar palm nano-fibrillated cellulose, cellulose-based bio-polymers are the most effective [47]. The low tensile strength and low mechanical properties of bio-based plastics are not the only criteria for food packaging applications. In food packaging application, the data following in Table 3 shows that PLA and cellulose acetate have a good substitution for conventional plastics such as polyethylene and

polypropylene other than PHA, PBAT, PEF, and PTT [48]. The un-blended biobased polymers having a high rate of water permeability, high rate of biodegradability, and poor mechanical properties are haven't impact in food packaging sectors. The mechanical and physical properties of biofilms produced from agro-wastes can be modified by incorporating nano-fibrillated cellulose (SPNFCs) materials. Adding 0.1 to 1.0 wt% concentration of SPNFCs showed a significant change in the properties of sugar palm Biofilms. The chitosan, PLA, and lignocellulosic composites are the main reinforces and fillers for materials synthesized from agricultural wastes such as coffee grounds having hydrophobicity properties in the food packaging applications. The limitation with starch and blueberry agro-wastes Bio-films can be improved through the photo-bleaching techniques [47].

Table 3.

Comparison between petrochemical and bio-based polymers properties

	material	Glass transition Temperature (°C)	Melting temperature (°C)	Elongation at break (%)	Tensile strength (MPa)
Plant-based	Cellulose acetate	110	230	25	90
	Corn starch	112	-	9	40
	polylactides	55	165	2–7	59
	Polyhydroxyalkanoates	12–13	100–173	1–800	15–50
	PBAT	-29	110	800	22
	Polyethylene Furanoate	85	211	3–4	35–67
Petrochemical	PTT	50	228	160	49
	Polyethylene	-125	110–130	100	15–30
	Polypropylene	-13	176	400	36
	Polyethylene terephthalate	72	265	20	86
	polystyrene	100	-	1–5	30–60
	Polyvinyl chloride	-18	200	35	52

The best bio-based plastic that is greatly applicable in food packaging is PLA. According to table 4, the application of PLA in coffee, beverage, dairy drinks, potato chips, bread, fresh salads, fresh-cut fruits, vegetables, and organic poultry are published in different countries [49]. Organic tomatoes and milk chocolate food products are packed with

starch-based polymers. The application of cellulose-based polymers in food packaging is for the packing of organic pasta, kiwi, potato chips, and sweets products. The utilize of agro-wastes in food packaging application depend on the mechanical and thermal properties of the bio-based polymers.

Table 4.

The most common uses of bioplastics in the food sector

	Application	Bio-polymer	Company/user
PLA	Coffee and other beverages	Cardboard and cups with PLA coating	KLM
	Beverages	Cups made with PLA	Musburger (JP)
	Fresh salads	Bowls made with PLA	McDonald's
	Carbonated water, juices, and dairy drinks	Bottles cups made with PLA	Biota, noble
	Fresh cut fruits, vegetables, bakery goods	Trays and packs made with PLA	Asda(retailer)
	Organic pretzels, potato chips	Bags made with PLA	Snyder's of Hanover, PepsiCo's Frito-lay
	Bread	Paper bags with PLA window	Delhaize (retailer)
	Organic poultry	bowls made with PLA, absorb pads	Delhaize (retailer)
Starch-based	Milk chocolate	Corn starch trays	Cadbury food group, Marks and Spencer
	Organic tomatoes	Packaging based on Corn	Iper supermarkets (Italy), Coop in Italy
Cellulose-based	Kiwi	Bio-based trays wrapped whit cellulose film	Wal-Mar
	Potato chips	Metalized cellulose film	Boulder Canyon
	Organic pasta	Cellulose-based packaging	Birkel
	Sweets	Metalized cellulose film	Quality street, Thorn ton

3.6 Challenges of materials for food packaging

The cost of manufacture and non-biodegradability are the key challenges facing bio-based polymers in present research and development. According to table 5, the cost bio-based plastics are slightly expensive than convectional/petrochemical plastics [50]. The average cost of manufacturing for starch, polylactic acid (PLA), and starch blends biopolymers from renewable biomass/plants are up to 1. 1,1, and 2euro per kg respectively, but for petrochemical plastics, the cost of production is 1.865, 1.855, 1.455, 2.2, and 1.755 euro per kg for PVC, PP, PE, PS, and PET and three-layer co-extruded film (3L) respectively[51]. However, averagely upto12.02, and 8.00 € per kg of Cellulose esters/

ethers (CEs) and PHA are required costs of manufacturing respectively. As a result, bio-based polymers (PHA and CEs) have a greater manufacturing cost than conventional plastics. All in one, in terms of economical visibility/dimensions starch, PLA, and starch/polymer blends are greatly suitable than PHA and Cellulose Esters for replacing the petrochemical. Nevertheless, the higher cost of PHA and Cellulose esters are compensated through bio-based properties such as tensile strength, density, elongation at break, and heating temperature, and the glass transition temperature. The cost factors and biodegradability of bio-based plastics can be resolved through research and development and modifying or manufacturing of new bio-based materials.

Table 5.

Cost comparison of selective bio-based and petrol-chemical plastics

Source	Materials	Price(€/kg)
Renewable natural resources	starch	0.2–2.0
	Starch/polymer blends	2.0–4.0
	Cellulose esters/ethers (CEs)	4.0–20.04
	Polylactic acid (PLA)	0–2.0
	Lignocellulose fiber (LCF)	0.4–1.2
	Polyhydroxyalkanoates (PHA)	4.0–12.02
Convectional based	Polyvinylchloride (PVC)	1.71–2.02
	Polypropylene (PP)	1.71–2.0
	Polyethylene (PE)	1.31–1.6
	Polystyrene (PS)	2.0–2.4
	polyethylene terephthalate (PET)	1.71–1.8

Conclusions

In this review, the biomass resources such as cellulose, starch, micro-algae, and agricultural wastes production to bio-based polymers are selected to elaborate on the synthesis, properties, yields, and application in food packaging areas. The PLA, PCL, and starch blend polymers in food packaging applications have great attention for replacing petrochemical plastics such as polyethylene and polypropylene because they have similar elongation at break, biodegradability, and economic positive. Despite the fact that the PHA and PHBA have low moisture and oxygen permeability and good mechanical qualities, their synthesis method is expensive. Among the agricultural wastes, hemp, banana

pseudo steam, and cotton stalks are good sources of bio-based plastics compared to wheat straw, soya stalks, sunflower stalks, sawdust, oat straw, and coir, because they have the highest cellulose concentration. Chitosan, PLA, and lignocellulosic composites are the main reinforcements and fillers for materials synthesized from agricultural wastes having hydrophobic properties in food packaging applications. Furthermore, researchers and academicians can design novel food packaging applications by developing, re-configuring, blending with low-cost polymers, and nano-biotechnology integration systems of bio-based plastics from cellulosic, starch component of agro-wastes, and microalgae with low-cost fillers, sustainable and reinforcers.

References

- 1 Hong L.G., Yuhana N.Y., Zawawi E.Z.E. Review of bioplastics as food packaging materials. *AIMS Materials Science*. 2021. vol. 8. no. 2. pp. 166-184. doi: 10.3934/matricsci.2021012
- 2 Ayrova Ya.O., Voronina M.S. processing food waste to create biodegradable packaging. *News of the Far Eastern Federal University. Economics and Management*. 2021. vol. 100. no. 4. pp. 87–97. (in Russian).
- 3 Chan J.X., Wong J.F., Hassan A., Zakaria Z. Bioplastics from agricultural waste, Biopolymers and Biocomposites from Agro-Waste for Packaging Applications. *Food packaging*. 2021. pp. 223–263.
- 4 Jabeen N., Majid I., Nayik G. A. Bioplastics and food packaging: A review. *Cogent Food & Agriculture*. 2015. no. 1. no. 1. pp. 1117749.
- 5 Zhang B., Qiao D., Zhao S., Lin Q. et al. Starch-based food matrices containing protein: Recent understanding of morphology, structure, and properties. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. vol. 114. pp. 212-231. doi: 10.1016/j.tifs.2021.05.033
- 6 Venkatesh S., Mahboob S., Govindarajan M., Al-Ghanim K.A. et al. Microbial degradation of plastics: Sustainable approach to tackling environmental threats facing big cities of the future. *Journal of King Saud University-Science*. 2021. vol. 33. pp. 101362. doi: 10.1016/j.jksus.2021.101362
- 7 Tsang Y.F., Kumar V., Samadar P., Yang Y. et al. Production of bioplastic through food waste valorization. *Environment international*. 2019. vol. 127. pp. 625-644. doi: 10.1016/j.envint.2019.03.076
- 8 Kudryakova G.Kh., Kuznetsova L.S., Shevchenko E.G., Ivanova T.V. Biodegradable packaging in the food industry. *Food industry*. 2006. no. 7. (in Russian).
- 9 Nazrin A. et al. Water barrier and mechanical properties of sugar palm crystalline nanocellulose reinforced thermoplastic sugar palm starch (TPS)/poly (lactic acid)(PLA) blend bionanocomposites. *Nanotechnology Reviews*. 2021. vol. 10. no. 1. pp. 431-442. doi: 10.1515/ntrev-2021-0033
- 10 Minh N.P., Pham T., van Hung L., Thuan N.T. et al. Effectiveness of *Pouzolzia zeylanica*, *Curcuma longa*, *Piper nigrum*, *Capsicum annum* to stability of dried salted tilapia during storage. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2019. vol. 11. pp. 1469–1473.
- 11 Briassoulis D., Pikasi A., Hiskakis M. Recirculation potential of post-consumer/industrial bio-based plastics through mechanical recycling-Techno-economic sustainability criteria and indicators. *Polymer Degradation and Stability*. 2021. vol. 183. pp. 109217. doi: 10.1016/j.polydegradstab.2020.109217
- 12 Tyuftin A.A., Kerry J.P. Review of surface treatment methods for polyamide films for potential application as smart packaging materials: surface structure, antimicrobial and spectral properties. *Food Packaging and Shelf life*. 2020. vol. 24. pp. 100475. doi: 10.1016/j.fpsl.2020.100475
- 13 Sionkowska A., Planecka A. Surface properties of thin films based on the mixtures of chitosan and silk fibroin. *Journal of Molecular Liquids*. 2013. vol. 186. pp. 157-162. doi: 10.1016/j.molliq.2013.07.008
- 14 Orlova E.S., Al-Suhaimi S.A., Rebezov M.B. Assessment of antioxidant and antimicrobial activity of plant bioactive compounds as natural preservatives. *Agrarian Science*. 2023. vol. 1. no. 8. pp. 143-150. (in Russian).
- 15 Omerović N., Djislov M., Živojević K., Mladenović M. et al. Antimicrobial nanoparticles and biodegradable polymer composites for active food packaging applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2021. vol. 20. no. 3. pp. 2428-2454. doi: 10.1111/1541-4337.12727
- 16 Moshood T.D. et al. Sustainability of biodegradable plastics: New problem or solution to solve the global plastic pollution? *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. 2022. vol. 5. pp. 100273. doi: 10.1016/j.crgsc.2022.100273
- 17 Al-Jahwari F.S., Pervez T. The Potential of Environmental-Friendly Biopolymers as an Alternative to Conventional Petroleum-Based Polymers. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*. 2020. vol. 5. pp. 200–206. doi: 10.1016/j.crgsc.2022.100273
- 18 Nduko J.M., Taguchi S. Microbial Production of Biodegradable Lactate-Based Polymers and Oligomeric Building Blocks From Renewable and Waste Resources. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2021. V. 8. P. 618077. doi: 10.3389/fbioe.2020.618077
- 19 Cao L., Gong Z., Xu C., Chen Y. Mechanical strong and recyclable rubber nanocomposites with sustainable cellulose nanocrystals and interfacial exchangeable bonds. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2021. vol. 9. no. 28. pp. 9409-9417.
- 20 Li C., Ju B., Zhang S. Construction of a new green vitrimer material: introducing dynamic covalent bond into carboxymethyl cellulose. *Cellulose*. 2021. vol. 28. pp. 2879-2888.
- 21 Mukherjee S., Mukherjee G. Bacterial cellulose production from industrial waste and its applications. *Plant Cell Biotechnol. Mol. Biol*. 2021. vol. 22. pp. 104–113.

- 22 Pinto L., Bonifacio M.A., de Giglio E., Santovito E. et al. Biopolymer hybrid materials: Development, characterization, and food packaging applications. 2021. vol. 28. pp. 100676. doi: 10.1016/j.fpsl.2021.100676
- 23 Shafqat A., Tahir A., Khan W.U., Mahmood A. et al. Production and characterization of rice starch and corn starch based biodegradable bioplastic using various plasticizers and natural reinforcing fillers. *Cellulose Chemistry and Technology*. 2021. vol. 55. pp. 867-881.
- 24 Shaghaleh H., Xu X., Wang S. Current progress in production of biopolymeric materials based on cellulose, cellulose nanofibers, and cellulose derivatives. *RSC Advances*. 2018. vol. 8. no. 2. pp. 825-842. doi: 10.1039/C7RA11157F
- 25 Vorawongsagul S., Pratumpong P., Pechyen C. Preparation and foaming behavior of poly (lactic acid)/poly (butylene succinate)/cellulose fiber composite for hot cups packaging application. *Food Packaging and Shelf Life*. 2021. vol. 27. pp. 100608. doi: 10.1016/j.fpsl.2020.100608
- 26 Zahiri Oghani F., Tahvildari K., Nozari M. Novel antibacterial food packaging based on chitosan loaded ZnO nano particles prepared by green synthesis from Nettle leaf extract. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*. 2021. vol. 31. pp. 43-54.
- 27 Yotprayoosak P., Virtanen J., Kangas V., Promarak V. Facile fabrication of flexible and conductive cellulose paper from aqueous carbon nanotube/hemicellulose compound. *Synthetic Metals*. 2021. vol. 271. pp. 116646. doi: 10.1016/j.synthmet.2020.116646
- 28 Liebeck B.M., Hidalgo N., Roth G., Popescu C. et al. Synthesis and characterization of methyl cellulose/keratin hydrolysate composite membranes. *Polymers*. 2017. vol. 9. no. 3. pp. 91. doi: 10.3390/polym9030091
- 29 Reichert C.L., Bugnicourt E., Coltelli M.B., Cinelli P. et al. Bio-based packaging: Materials, modifications, industrial applications and sustainability. *Polymers*. 2020. vol. 12. no. 7. pp. 1558. doi: 10.3390/polym12071558
- 30 Lackner M., Ivanič F., Kováčová M., Chodák I. Mechanical properties and structure of mixtures of poly(butylene-adipate-co-terephthalate) (PBAT) with thermoplastic starch (TPS). *International Journal of Biobased Plastics*. 2021. vol. 3. no. 1. pp. 126-138.
- 31 Madadi R., Maljaee H., Serafim L.S., Ventura S.P. Microalgae as contributors to produce biopolymers. *Marine Drugs*. 2021. vol. 19. no. 8. pp. 466. doi: 10.3390/md19080466
- 32 Onen Cinar S., Chong Z.K., Kucuker M.A., Wiecezorek N. et al. Bioplastic production from microalgae: a review. *International journal of environmental research and public health*. 2020. vol. 17. №. 11. pp. 3842.
- 33 Sunday N.F. Microplastics: Holistic overview of source, identification, interaction, health and environmental implications and strategies of abatement. *Acta Chemica Malaysia*. 2020. vol. 5. no. 1. pp. 18-23.
- 34 Gallego R., Bueno M., Chourio A.M., Ibáñez E. et al. Use of high and ultra-high pressure based-processes for the effective recovery of bioactive compounds from *Nannochloropsis oceanica* microalgae. *The Journal of Supercritical Fluids*. 2021. vol. 167. pp. 105039. doi: 10.1016/j.supflu.2020.105039
- 35 Sánchez-Bayo A., Rodríguez R., Morales V., Nasirian N. et al. Hydrothermal liquefaction of microalga using metal oxide catalyst. *Processes*. 2019. vol. 8. no. 1. pp. 15.
- 36 Alshehri W.A., Khalel A., Elbanna K., Ahmad I. et al. Bio-plastic Films Production from Feather Waste Degradation by Keratinolytic Bacteria *Bacillus cereus*. *J Pure Appl Microbiol*. 2021. The Author (s) 2021. Open Access. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution. 2021. vol. 4.
- 37 Ng J.S., Kiew P.L., Lam M.K., Yeoh W.M. et al. Preliminary evaluation of the properties and biodegradability of glycerol- and sorbitol-plasticized potato-based bioplastics. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2022. pp. 1-10.
- 38 Soares R.M.D., Siqueira N.M., Prabhakaram M.P., Ramakrishna S. Electrospinning and electrospray of bio-based and natural polymers for biomaterials development. *Materials Science and Engineering: C*. 2018. vol. 92. pp. 969-982. doi: 10.1016/j.msec.2018.08.004
- 39 Li M., Ma Y., Zhang X., Zhang L. et al. Tailor-Made Polyhydroxyalkanoates by Reconstructing *Pseudomonas Entomophila*. *Advanced Materials*. 2021. vol. 33. no. 41. pp. 2102766. doi: 10.1002/adma.202102766
- 40 Xie Y., Niu, X., Yang J., Fan R. et al. Active biodegradable films based on the whole potato peel incorporated with bacterial cellulose and curcumin. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. vol. 150. pp. 480-491. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.01.291
- 41 Melesse E.Y., Bedru T.K., Meshesha B.T. Production and Characterization of Pulp from Banana Pseudo Stem for Paper Making Via Soda Anthraquinone Pulping Process. *International Journal of Engineering Research in Africa*. 2022. vol. 58. pp. 63-76. doi: 10.4028/www.scientific.net/JERA.58.63
- 42 Loiacono S., Crini G., Martel B., Chanet G. et al. Simultaneous removal of Cd, Co, Cu, Mn, Ni, and Zn from synthetic solutions on a hemp-based felt. II. Chemical modification. *Journal of applied polymer science*. 2017. vol. 134. no. 32. pp. 45138. doi: 10.1002/app.45138
- 43 Pallem C. Utilization of wheat straw for the production of L-asparaginase in solid-state fermentation. *J. Exp. Biol. Agric. Sci*. 2019. vol. 7. no. 1. pp. 51-56.
- 44 Maraveas C. Production of sustainable and biodegradable polymers from agricultural waste. *Polymers*. 2020. vol. 12. no. 5. pp. 1127. doi: 10.3390/polym12051127
- 45 Santana R.F., Bonomo R.C.F., Gandolfi O.R.R., Rodrigues L.B. et al. Characterization of starch-based bioplastics from jackfruit seed plasticized with glycerol. *Journal of food science and technology*. 2018. vol. 55. pp. 278-286.
- 46 Ramadani M.O., Handayani M.N. The potential of food waste as bioplastic material to promote environmental sustainability: A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2020. vol. 980. no. 1. pp. 012082. doi: 10.1088/1757-899X/980/1/012082
- 47 Luchese C.L., Sperotto N., Spada J.C., Tessaro I.C. Effect of blueberry agro-industrial waste addition to corn starch-based films for the production of a pH-indicator film. *International journal of biological macromolecules*. 2017. vol. 104. pp. 11-18. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.05.149
- 48 Bárcena A., Graciano C., Luca T., Guiamet J.J. et al. Shade cloths and polyethylene covers have opposite effects on tipburn development in greenhouse grown lettuce. *Scientia Horticulturae*. 2019. vol. 249. pp. 93-99. doi: 10.1016/j.scienta.2019.01.023
- 49 Coppola G., Gaudio M.T., Lopresto C.G., Calabro V. et al. Bioplastic from renewable biomass: a facile solution for a greener environment. *Earth systems and environment*. 2021. vol. 5. pp. 231-251.
- 50 Maraveas C. Environmental sustainability of greenhouse covering materials. *Sustainability*. 2019. vol. 11. no. 21. pp. 6129.
- 51 Baxevanou C., Fidaros D., Bartzanas T., Kittas C. Yearly numerical evaluation of greenhouse cover materials. *Computers and electronics in agriculture*. 2018. vol. 149. pp. 54-70. doi: 10.1016/j.compag.2017.12.006

Information about authors

Contribution

Emiru Y. Melesse graduate student, industrial design packaging technologies and expertise department, Russian Biotechnology University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, emydms12@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-0871-787X>

Yulia A. Filinskaya Cand. Sci. (Engin.), associate professor, industrial design packaging technologies and expertise department, Russian Biotechnology University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, filinskayaya@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2307-6046>

Irina A. Kirsh Dr. Sci. (Chem.), professor, industrial design packaging technologies and expertise department, Russian Biotechnology University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, irina-kirsh@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3370-4226>

Ali Y. Alkhair graduate student, industrial design packaging technologies and expertise department, Russian Biotechnology University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, alkheerali@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9518-7781>

Olga A. Bannikova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, industrial design packaging technologies and expertise department, Russian Biotechnology University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, bannikovaoa@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0633-0003>

wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

consultation during the study

conducted an experiment, performed computations

consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 18/07/2023

Accepted in revised 09/08/2023

Accepted 28/08/2023

Биопластик: свойства, возобновляемые ресурсы биомассы, синтез и применение

Аннотация. Современные тенденции в технологии упаковки пищевых продуктов обуславливают необходимость разработки новых упаковочных материалов с целью продления срока хранения продуктов питания и уменьшения их порчи. Для сохранения пищевого продукта, конструкционный материал упаковки играет ключевую роль. В развивающейся области технологии упаковки пищевых продуктов, использование биобазных пластиков для упаковки пищевых продуктов показало сравнительное преимущество. На данный момент, биопластики показали измеримые преимущества и получают все больше внимания со стороны деловых организаций, политических деятелей, научных сообществ, и в целом общественности. Это стало результатом поиска новых марок пластиковых профилей. Кроме того, воздействие на окружающую среду (экологические проблемы) конвективных материалов, истощение природных ресурсов, в частности, нефтехимических, и озабоченность потребителей вызвали необходимость в альтернативных средствах упаковки пищевых продуктов на биооснове. Поэтому целью данного исследования был обзор свойств упаковочных материалов для пищевых продуктов, таких как тепловые, механические, барьерные, поверхностные, антимикробные, оптические и экологические, а также их тип синтеза и применение. Были разработаны компоненты целлюлозы и крахмала из распространенных сельскохозяйственных отходов для синтеза биополимеров. Кроме того, различные виды микроводорослей были обоснованы в производстве пластмасс на биооснове. В данной обзорной статье также приведены примеры устойчивых наполнителей и армирующих материалов, используемых в индустрии пищевой упаковки. Таким образом, данная обзорная работа способствует раскрытию всего объема научных знаний о пластиках на биооснове, используемых для упаковки пищевых продуктов, и помогает получить важные результаты для дальнейших исследований.

Ключевые слова: возобновляемые источники биомассы, пластики на основе биоматериалов, свойства, применение в пищевой упаковке.

Имру И. Мелессе аспирант, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Российский биотехнологический университет, 125080, Москва, Россия, emydms12@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-0871-787X>

Ирина А. Кириш д.х.н., профессор, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Российский биотехнологический университет, 125080, Москва, Россия, irina-kirsh@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3370-4226>

Ольга А. Банникова к.т.н., доцент, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Российский биотехнологический университет, 125080, Москва, Россия, bannikovaoa@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0633-0003>

Юлия А. Филинская к.т.н., доцент, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Российский биотехнологический университет, 125080, Москва, Россия, filinskayaya@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2307-6046>

Али Я. Альхаир аспирант, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Российский биотехнологический университет, 125080, Москва, Россия, alkheerali@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9518-7781>

Требования к оформлению материалов для журнала «Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий»

Редакция просит авторов в подготовке рукописей руководствоваться изложенными ниже правилами. Рукописи, оформленные без соблюдения данных правил, редакцией рассматриваться не будут.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РУКОПИСЕЙ И ЗАЯВЛЕНИЕ НА РАССМОТРЕНИЕ

Представление рукописи в журнал «ВЕСТНИК ВГУИТ» для печати предполагает, что:

- 1) описанная в ней работа ранее не была опубликована;

- 2) она не рассматривается для публикации в ином издательстве;

- 3) ее публикация была одобрена всеми авторами и так или иначе взаимосвязанными организациями, в которых эта работа проводилась;

- 4) в случае принятия к публикации эта статья не будет опубликована где-либо еще в той же форме, на английском или на любом другом языке, в том числе и в электронном виде.

Представление статьи проводят через официальный сайт издания путем прохождения регистрации (<http://www.vestnik-vsu.ru/vguit/user/register>).

В состав электронной версии статьи должны входить:

1. Рукопись статьи оформленная строго в шаблоне редакции в формате Word 2007–2016. Word 2003 – **НЕ Принимается**
2. табличный материал в виде отдельного файла (**только при условии** когда объем одной таблицы превышает полную страницу журнальной статьи)
3. иллюстрации **в исходном формате данных с возможностью редактирования (программах для черчения/рисования/создания диаграмм и прочее, ТО ЕСТЬ НЕ сохранен в формате с потерей качества)** предпочтение, при этом отдается векторным форматам: **eps, svg, ai, pdf**, растровый формат изображений (с сжатием): форматы **png, jpeg и пр.** не прикреплять. Минимальное разрешение рисунков и графиков **600 dpi**. Это требование необходимо для повышения типографского качества печатной версии издания.

Если авторов несколько, то необходимо указать автора, которому будет адресована корреспонденция, и его контактные данные: адрес, номер телефона/факса, а также адреса электронной почты всех авторов.

ВНИМАНИЕ: Авторы несут полную ответственность за достоверность и оригинальность информации, предоставленной в рукописи. Все рукописи проходят проверку на наличие заимствований в системе «Антиплагиат». Оригинальность рукописи должна быть не менее 80%, в противном случае рукопись будет возвращена без права опубликования. При обнаружении нарушения авторских прав или плагиата будет проведена ретракция опубликованных статей в соответствии с правилами COPE.

ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ

Статьи в журнале «ВЕСТНИК ВГУИТ» издаются на русском языке с реферат на английском языке. По согласованию с редакцией допускается публикация статьи и на английском языке.

Вся статья (текст, таблицы, примечания, заголовки, иностранные вставки, список литературы, 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 подписи, не должен превышать: для работ, имеющих общее значение 5–20 страниц текста, для кратких сообщений до 3 стр.

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ СТАТЬИ

I. ОСНОВНОЙ ТЕКСТ СТАТЬИ

Рукописи оригинальных исследований представляются по общепринятой международной схеме (IMRAD format - Introduction, Methods, Results and Discussion) и в статье должны найти отражение следующие рубрики:

Введение - кратко излагается современное состояние вопроса и обосновывается актуальность исследования. Дается критическая оценка литературы, имеющей отношение к рассматриваемой проблеме. Данная оценка разграничивает нерешенные вопросы. Ставятся четко сформулированные цели и задачи, поясняющие дальнейшее исследование в конкретной области;

Материалы и методы - дается достаточно подробное описание работы, для ее возможного воспроизведения. Методы, опубликованные ранее, должны сопровождаться ссылками: автором описываются только относящиеся к теме изменения.

Результаты - описываются в логической последовательности в виде отдельных фрагментов, разделенных подзаголовками, без элементов обсуждения, без повторения методических подробностей, без дублирования цифровых данных, приведенных в таблицах и рисунках.

Обсуждение - в разделе проводится детальный анализ полученных данных в сопоставлении с данными литературы, что служит обоснованием выводов и заключений авторов.

Заключение - подводятся основные итоги работы, приводятся рекомендации и указание на дальнейшие возможные направления исследований.

Для обзорных статей должны быть указаны *Введение* и в соответствии со стандартом PRISMA указать стратегию поиска литературы (<http://www.prisma-statement.org>).

Таблицы объема больше одной страницы указывать как Приложение в виде отдельного файла, так как они не будут опубликованы в печатной версии, а будут прикладываться в виде отдельного файла к электронной версии.

Названия и содержание рисунков (все подписи внутри) и таблиц (столбцов и строк) должны быть приведены как на русском, так и на английском языках.

Графический материал представляется в исходном формате данных с возможностью редактирования (программах для черчения/рисования/создания диаграмм и прочее, ТО ЕСТЬ НЕ сохранен в формате с потерей качества) предпочтение, при этом отдается векторным форматам: eps, svg, ai, pdf, исключение фотографии в растровом формате (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.vsu.ru/>

III. ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА

Статьи, принимаемые к публикации в журнале «*ВЕСТНИК ВГУИТ*», должны излагать наиболее существенные, законченные и еще ранее неопубликованные результаты научных исследований.

О публикационной этике и этических нормах для публикации в журнале «*ВЕСТНИК ВГУИТ*» см.: <http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/about/editorialPolicies#custom-2>

Журнал «Вестник ВГУИТ» выходит 4 раза в год: № 1 – март; № 2 – июнь; № 3 – сентябрь; № 4 – декабрь.

Статья должна быть тщательно проверена и подписана всеми авторами.

К статье должны прилагаться сопроводительные документы:

- сопроводительное письмо;
- экспертное заключение;
- положительная рецензия ведущего ученого в данной области или члена редакционной коллегии серии, заверенная подписью и печатью.

Вопрос об опубликовании статьи, ее отклонении решает редакционная коллегия журнала и ее решение является окончательным. В случае возвращения статьи для исправления датой представления считается день получения исправленного текста. Срок доработки - не более 1 месяца.

Материалы, не соответствующие данным требованиям оформления, к публикации не принимаются. Рукописи авторам не возвращаются.

Плата с аспирантов и докторантов за публикацию рукописей не взимается.

IV. КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Информацию о стоимости публикации можно узнать в редакции журнала. Также редакция оказывает платные услуги профессионального перевода реферата и ключевых слов на английский язык.

По всем интересующим Вас вопросам обращаться в редакцию журнала по контактам:

Дерканосова Анна Александровна - кандидат технических наук, доцент кафедры Сервиса и ресторанного бизнеса, начальник Центра коллективного пользования «Контроль и управления энергоэффективными проектами»

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Телефон: 8 920 432 16 57

E-mail: post@vestnik-vsuet.ru, aa-derk@yandex.ru

Адрес 394000, г. Воронеж, пр. Революции, 19, ауд. 11.

Соответствие рубрик/разделов журнала Вестник ВГУИТ

Номенклатуре научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени.

1.1 Процессы и аппараты пищевых производств

1.2 Пищевая биотехнология

- **05.18.01** Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства
- **05.18.04** Технология мясных молочных и рыбных продуктов и холодильных производств
- **05.18.05** Технология сахара и сахаристых продуктов чая табака и субтропических культур
- **05.18.06** Технология жиров эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов
- **05.18.07** Биотехнология пищевых продуктов и биологически активных веществ
- **05.18.12** Процессы и аппараты пищевых производств
- **05.18.15** Товароведение пищевых продуктов и технология общественного питания

2. Химическая технология

- **05.17.01** Технология неорганических веществ
- **05.17.04** Технология органических веществ
- **05.17.06** Технология и переработка полимеров и композитов
- **05.17.07** Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ
- **05.17.08** Процессы и аппараты химических технологий

3. Экономика и управление

- **08.00.05** Экономика и управление народным хозяйством

ПОРЯДОК ОПИСАНИЯ ССЫЛОК НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

СТАТЬЯ В ЖУРНАЛЕ:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Буянова И.В., Имангалиева Ж.К. Агрегат для тонкого измельчения творога // Вестник Международной академии холода. 2016. № 3. С. 23–26.

(кол-во авторов более 4):

Семенов Е.В., Бабакин Б.С., Воронин М.И., Белозёров А.Г. и др. Математическое моделирование процесса охлаждения хладонотителя 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; Оpubл. 01.07.2019. Бюл. № 19.

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕСУРС:

порядок описания:

Фамилия И.О. автора (если указаны). Название ресурса. Место издания: Издательство, год издания (если указаны). Адрес локального сетевого ресурса.

пример:

Липидус Л.В. Центр компетенций цифровой экономики. Ассоциация граждан и организаций по содействию развитию корпоративного образования. URL: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/>

ПОРЯДОК ОПИСАНИЯ ССЫЛОК НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ:

СТАТЬЯ ИЗ ЖУРНАЛА:

порядок описания:

Фамилия И.О. автора (транслитерация). Перевод названия статьи на английский. Перевод названия источника на английский язык. Год, том, номер, страницы (от-до). Указание на язык статьи (in Russian) после описания статьи.

пример:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 3. pp. 23–26. (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozerov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 4. pp. 74–79. (in Russian).

СТАТЬЯ С DOI:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Iyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of Salmonella Culture. Bulletin of the Voronezh State University. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212 (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials. Food Industry. 2019. no. 4. pp. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058 (in Russian).

СТАТЬЯ ИЗ ЭЛЕКТРОННОГО ЖУРНАЛА:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. Journal of Computer Mediated Communication. 1999. vol. 5. no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/>

СТАТЬЯ ИЗ ПРОДОЛЖАЮЩЕГОСЯ ИЗДАНИЯ (СБОРНИКА ТРУДОВ):

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. Experimental study of the strength of joints “steel-composite”. Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”. 2006. no. 593. pp. 125–130. (in Russian).

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise. Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation. Simferopol, Arial, 2016. pp. 110–112. (in Russian).

КНИГИ (МОНОГРАФИИ, СБОРНИКИ):

(кол-во авторов от 1 до 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations: a monograph. Moscow, Infra-M, 2015. 432 p. (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Antipova L.V., Storublevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Ya.A. et al. Complex processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p. (in Russian).

ДИССЕРТАЦИЯ ИЛИ АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ:

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials. Kemerovo, Kemer. Technol. Institute of Food Industry, 2017. 22 p. (in Russian).

ГОСТ:

State Standard 5900–2014. Confectionery products. Determination of the mass fraction of moisture and dry matter. Moscow, Standartinform, 2015. 8 p. (in Russian).

ПАТЕНТ:

Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions. Patent RF, no. 2689672, 2019.

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕСУРС:

Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. Available at: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/> (in Russian).

List of requirements of drawing up materials in «Proceedings of the Voronezh state university of engineering technologies»

Editorial Board asks the authors to stick to the following rules in writing the papers, otherwise they may be rejected. Submitting the manuscripts for the review.

Submitting the article for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" includes: the paper has not been previously published; it is not being considered for publication in another publishing house; its publication has been approved by all authors and interlinked organizations in which this work was carried out; in case of the approval for publication the paper will not be published elsewhere in the same form, in English or any other language, including electronic form.

Submission form (application) for the publication of an article in a journal, filled up in accordance with the rules, should be sent to the following address: **19, Revolution av., 11 Voronezh 394000 Russia** and the electronic version of the paper with an attached manuscript file to an e-mail address vestnikvgta@mail.ru. Should specify the name of the first author of the article in the subject.

The electronic version of the paper should include: a file containing the text of the article, illustrations, tabular material in a separate file (if the amount of one table exceeds full page) and illustration (files in original format), preference is given to vector formats: eps, svg, ai, pdf.

If there are several authors, you must specify contact details of the authors to whom correspondence shall be addressed: address, phone / fax numbers and e-mail addresses.

The manuscript must be accompanied by a review from a specialist in this field, certified by signature and stamp.

Online application form is also available. The author can use the official website of the journal by completing registration at <http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/user/register>).

All articles received by the editorial board of the journal "Proceedings of the VSUET", are subject to mandatory unilateral anonymous ("blind") review (the authors do not know the names of reviewers of the manuscript, and will receive a letter with comments, signed by the chief editor).

After passing the review procedure and the approval of an article for publication, the authors' names and their listed order cannot be changed (addition, deletion, rearrangement). When submitting the final version of the article, please make sure that the list of authors is a complete and listed in a proper order.

ATTENTION: The author is solely responsible for the accuracy and originality of the information provided in the article. All manuscripts are checked for the presence of borrowings using "Antiplagiat" system. All manuscripts are tested with ANTIPLAGIAT for testing electronic documents for originality and reveal plagiarisms. The manuscript must comprise at least 80% of originality; otherwise the manuscript will be returned without the right to be published. Upon detection of copyright infringement or plagiarism in already published articles, they will be invalidated in accordance with the rules of COPE.

Requirements for structure of the paper

Articles in the journal "Proceedings of the VSUET" are published in Russian with English summary. In agreement with the editors, the publication may be done entirely in English.

By agreement, the editors accept publication of the article in English.

Full article (tables, text, footnotes, headers, inserts in a foreign language, references, captions, etc..) must be typed on a computer: in accordance with journal template formatting styles for MS Word 2007-2016..

The volume of the article, including references and captions must not exceed: for work of a common significance: from 5 to 20 pages, for news reports to 3 pages.

The manuscript should be structured to the following plan:

- *Type of article (original article, review article, short message or letter);*
- *UDC (Universal Decimal classification);*
- *DOI - numeric identifier (provided by the editors available for an extra fee);*
- *Full title of the article;*

- *First name (full), patronymic name (initials) and surname (full) of the author (s) e-mail;*
- *Name of the department (for a university) / laboratory (for Scientific Research Institute), the full name of the workplace, city, country;*
- *Abstract;*
- *Keywords;*
- *For reference (filled automatically);*
- *Structured text of the article;*
- *Thanks / acknowledgements;*
- *List of resources used (bibliography);*
- *Information about the authors;*
- *Contribution;*
- *Conflict of interest.*

The English version of the article title, first name, patronymic initial and last name of the authors, the full names of all workplaces, structured summaries and keywords must be given below a resume and keywords in Russian.

The editors reserve the right to correct the translation. It is recommended to take the help of a professional translator to avoid mistakes in compiling the English version of resume.

REQUIREMENTS TO THE CONTENT

I THE TITLE PAGE INCLUDES:

Article type

UDK

DOI:

TITLE OF THE ARTICLE. Title of work should be as short as possible (no more than 120 characters), and should accurately reflect its content. It is important to avoid titles in the form of interrogative sentences, as well as titles with an ambiguous meaning. Must use only standard abbreviations (acronyms). Must not use acronyms in the title. Full term should precede the first use of the acronym in the text.

FIRST NAME (FULL), PATRONYMIC (INITIAL) AND SURNAME (FULL) OF AUTHOR (S).

For example: **Aleksey D. Ivanov¹,**

Ivan A. Petrov²

FULL NAME OF ALL ORGANIZATIONS to which the authors are related. If the authors work in different institutions, the relationship of each author with his organization should be shown by using uppercase numbers, for example:

Example: Department (Laboratory), University (scientific research institute), city, country.

II. THE MAIN TEXT OF THE ARTICLE

The manuscripts of original research are submitted under the standard international scheme (IMRAD format - Introduction, Methods, Results and Discussion) and article should reflect the following headings:

Introduction - outlines the current state of the problem and the urgency of the study. It is necessary to give a critical assessment of the literature related to the issue. This assessment differentiates outstanding issues. Clear defined goals and objectives must be determined, explaining further research in a particular area;

Materials and methods - a fairly detailed description of the work is given. Previously published methods should be accompanied by a reference note: the author describes the changes related to the subject.

The results and discussion - the results should be clear and concise. Give a convincing explanation of the results and their significance so as the reader can not only independently assess the methodological advantages and disadvantages of the study, but also replicate if necessary.

Conclusion summarizes the main results of the research. The author gives recommendations and guidance on possible areas of further research.

The name and contents of figures and tables (rows and columns) should be given as in both Russian and English languages.

III ACKNOWLEDGEMENTS:

(when available - in Russian and English). The author should list persons, organizations, foundations, etc., who contributed help for a research, work and so on. (E.g. financial aid, language (linguistic) aid assistance in writing articles or editing proofreading, etc.)

IV. REFERENCES

Cited bibliography must contain at least 10 sources. Self-citations are allowed no more than 20 percent. At least 50 percent of the sources from the bibliography should be published in the last five years, including in the journals indexed in databases **ScienceDirect**, **Web of Science**, **Scopus**, **Science Index**. Only in case of need the references to earlier works are allowed. The bibliography does not include textbooks, regulatory and archival materials, statistical collections, newspaper notes without the author's name, monographs, abstracts and theses. In the cited literature, it is desirable to specify the sources with **DOI**.

Bibliography (list of resources) is presented in two ways:

1. *Russian along with foreign sources in accordance with GOST 7.0.5-2008 (All Union State standard).*
2. *Transliterated in the Latin alphabet with the translation of source publications into English for the international identification system.*

Style of links (references):

In the article, the number of a link is enclosed in square brackets and placed in line with the text. You can give the names of the authors, but the number(s) of the references must always be present. The reference numbers (numbers in brackets) shall be in the reference list in the order in which they appear in text.

Example:

«... as shown [3; 6] or Barnaby and Jones [8] obtained a different result ... »

The author is solely responsible for the accuracy of bibliographic sources, including the English translation.

1. Russian version - in accordance with *Appendix 1, 2*

References in the Russian version of the article are given in the original language. All references should be made uniformly: only a dot (full stop) without dashes between the parts of description. Symbols № and & are not used; for a number you should use Latin letter N with no point after it; double slash separates the description of a larger document, which refers to the fragment. You should not put dot (full stop) before the double slash // but spaces before and after the double slash // are required.

2. The English (REFERENCES) - in accordance with Harvard standard:

References in English are primarily necessary to track cited authors and journals. The correct description of the sources used in reference lists is the guarantee that the quoted publication will be taken into account when assessing the scientific work of its authors, and thus the organization, region and country. Quoting a journal determines its scientific level, the credibility, the effectiveness of its Editorial Board, etc.

The names of sources and works are specified in full, without abbreviations. The titles of monographs, collections of articles and conferences are transliterated into Latin alphabet, followed by an English translation in brackets. The website <http://www.translit.ru/> can be used for free transliteration of Russian text in Latin letters (version of BSI).

In the bibliography (**English version**), it is not allowed to use separating characters «//», «—» and «№»

Instead of references to materials of theses and abstracts, it is recommended to include references to the original articles on the subject of the thesis, as the theses themselves are viewed as the manuscripts and are not printed sources.

VI. BASIC ETHICAL PRINCIPLES

Articles accepted for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" must reveal the most significant, complete and previously unpublished research results.

To learn more on publication ethics and ethical standards for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" please visit the website.: <http://www.vestnik-vsuet.ru/vguir/about/editorialPolicies#custom-2>

The magazine «the Messenger ВГУИТ» leaves 4 times a year: № 1 – March; № 2 – June; № 3 – September; № 4 – December.

The article must be thoroughly checked and signed by all the authors. Name, middle name, last name, address, science degree, position, place of work, telephone number (office and home) E-mail, the person communicate to are pointed out on a separate sheet of paper.

Accompanying deeds should be applied on paper:

- The transmittal letter;
- An extract from the report of faculty meeting with paper recommendation for printing;
- The positive review of the leading scientist in the given area or a member of an editorial board of the series, authenticated by the signature and printing.

The question on paper publication, its deviation is solved by an editorial board of the log and the solution is definitive. In case of refund of paper for correction by representation date it is considered day of reception of the corrected text. Finishing term - no more than 1 month.

The materials mismatching given demands of registration, to the publication are not accepted. Manuscripts are not refunded to authors.

The pay for the publication of manuscripts is not raised from post-graduate students

VII. CONTACT INFORMATION

scientific and public journal "Proceedings of the VSUET"

If you have any questions, please contact the editorial office:

Anna A. Derkanosova - Ph.D., associate professor of department of Service and restaurant business, Head of the Centre for collective use "Control and management of energy efficient projects"

FSBEE HE "Voronezh state university of engineering technologies"

Tel.: 8 920 432 16 57

E-mail: vestnikvgta@mail.ru, aa-derk@yandex.ru

Address: 19, Revolution av., 11 Voronezh 394000 Russia

ORDER OF DESCRIPTION OF LINKS IN RUSSIAN

JOURNAL ARTICLE:

(number of authors from 1 to 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese // Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. № 3. P. 23–26.

(number of authors more than 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozarov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls // Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. № 4. P. 74–79.

ARTICLE WITH DOI:

(number of authors from 1 to 4):

Ilyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of *Salmonella* Culture // Bulletin of the Voronezh State University. 2018. V. 80. № 4. P. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212

(number of authors more than 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials // Food Industry. 2019. № 4. P. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS:

The content and technology of adult education: the problem of advanced education: collection of scientific papers / Institute for Adult Education Ros. Acad. education; under the editorship of A.E. Marona. M.: JOB, 2007. 118 p.

MATERIALS OF CONFERENCES, FORUMS, MEETINGS, SEMINARS:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise // Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation: mat. XVII scientific and practical. conf., Gurzuf, Yalta, December 4, 2015. Simferopol: Arial, 2016. P. 110–112.

BOOK, MONOGRAPH:

(number of authors from 1 to 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations. M.: Infra-M, 2015. 432 p.

(number of authors more than 4):

Antipova L.V., Storulevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Y.A. et al. Integrated processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p.

DISSERTATION:

Ponomarenko Yu.A. Unconventional feeds and biologically active substances in the diets of broilers and laying hens: dis ... Dr. S.-kh. sciences. Sergiev Posad: VNITIP, 2017. 443 p.

SUMMARY OF THE DISSERTATION

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials: abstract of the diss....cand. tech. sciences. Kemerovo: Kemer. technol. Institute of Food Industry, 2017. 22 p.

REGULATORY DOCUMENTS:

description order:

Title of an official document: information related to the title (decree, resolution), Date of adoption of the document / Title of publication. The year of publishing. Number of pages.

example:

GOST 5900–2014. Confectionery. Determination of the mass fraction of moisture and solids. M.: Standartinform, 2015. 8 p.

PATENT:

description order:

Designation of the type of document, number, name of the country, index of international classification of inventions. Title of invention / name of inventor, applicant, patent holder; Name of applicant institution. Registration number of the application; Date of application; Date of publication, information about the published document.

example:

7 Pat. no. 2689672, RU, A23L 5/00. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions / Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. no. 2018107149; Appl. 26.02.2018; Publ. 01.07.2019. Bull. Number 19.

ELECTRONIC RESOURCE:Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. URL: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/>

ENGLISH LANGUAGE DESCRIPTION PROCEDURE:**JOURNAL ARTICLE:**

description order:

Surname I.O. author (transliteration). Translation of the title of the article into English. Translation of the source name into English. Year, volume, number, pages (from-to). An indication of the language of the article (in Russian) after the description of the article.

example:

(number of authors from 1 to 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 3. pp. 23–26. (in Russian).

(number of authors more than 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., 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).